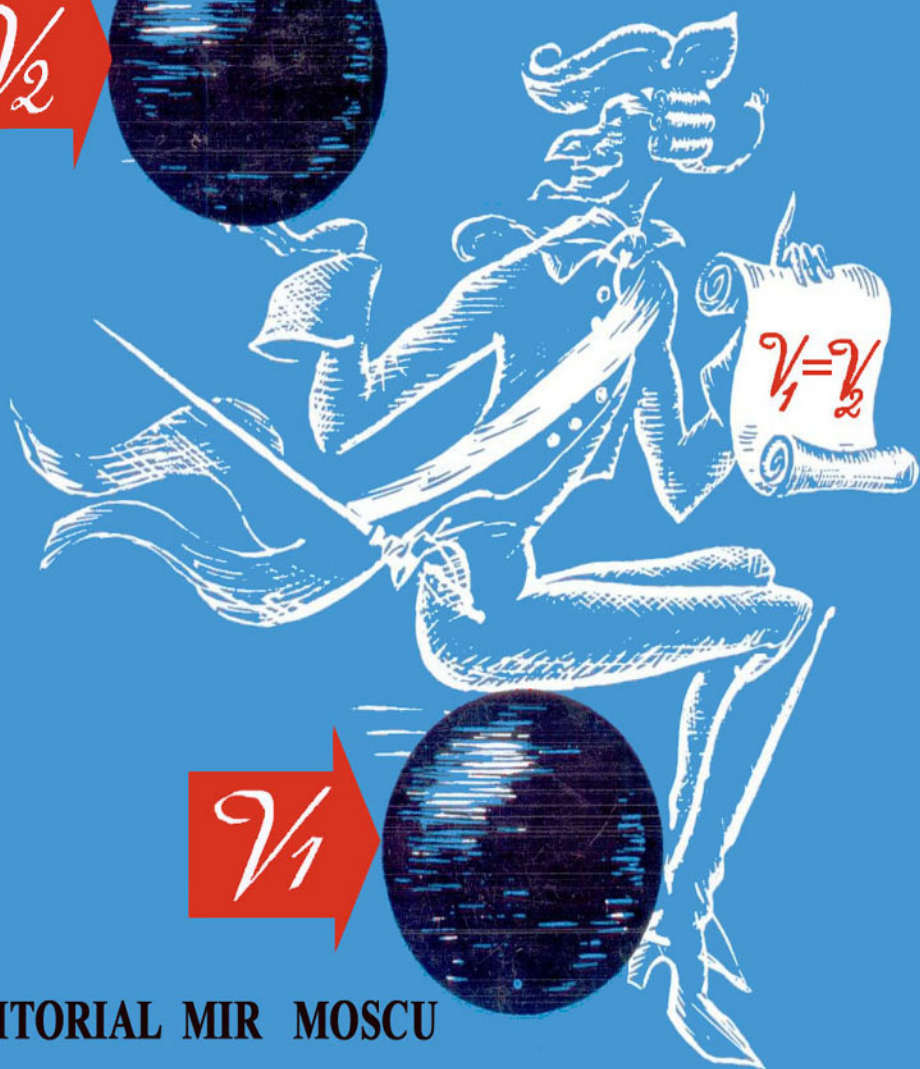
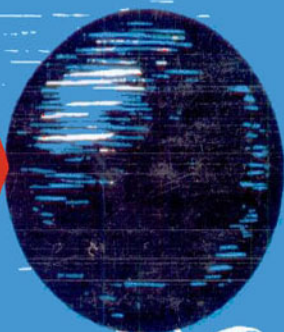


Y. PERELMAN

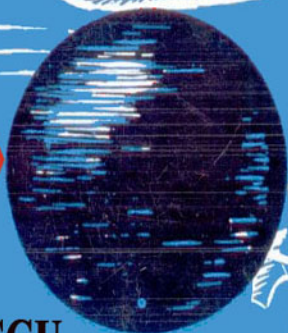
FISICA RECREATIVA

libro 1

$$v_2$$



$$v_1$$



EDITORIAL MIR MOSCU



EDITORIAL MIR

Я. ПЕРЕЛЬМАН • ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КНИГА I

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» МОСКВА

YAKOV PERELMAN • FISICA RECREATIVA

LIBRO I

TRADUCIDO DEL RUSO POR EL INGENIERO ANTONIO MOLINA GARCIA

Tercera edición

EDITORIAL MIR • MOSCU

Impreso en la URSS, 1975

Traducción al español, Editorial Mir, 1975

На испанском языке

Indice

DEL PROLOGO DEL AUTOR A LA DECIMOTERCERA EDICION	9
CAPITULO PRIMERO. VELOCIDAD.	12
SUMA DE MOVIMIENTOS	13
¿A qué velocidad nos movemos?	13
En persecución del tiempo	16
Una milésima de segundo	17
La cámara lenta	20
¿Cuándo nos movemos más de prisa alrededor del Sol, de día o de noche?	20
En enigma de la rueda del carro	22
El punto de la rueda que se mueve más despacio	23
Este problema no es de broma	24
¿De dónde partió la barca?	25
CAPITULO SEGUNDO. LA GRAVEDAD Y EL PESO.	28
LA PALANCA. LA PRESION	28
¡Levántese!	28
Andar y correr	30
¿Cómo hay que saltar de un vagón en marcha?	33
¡Coger con la mano una bala disparada!	35
Sandías-bombas	35
En la plataforma de la báscula	38
¿Dónde son los cuerpos más pesados?	39
¿Cuánto pesa un cuerpo cuando cae?	40
De la Tierra a la Luna	42
El viaje a la Luna según Julio Verne y tal como tendría que realizarse	45
¿Cómo pesar bien en balanzas inexactas?	47
Más fuerte que uno mismo	48
¿Por qué pinchan los objetos afilados?	49
Como Leviatán	51
CAPITULO TERCERO. LA RESISTENCIA DEL MEDIO	53
La bala y el aire	53
Tiro de gran alcance	54
¿Por qué se remontan las cometas?	55
Planeadores vivos	57
Los vuelos sin motor y las plantas	57
El salto retardado del paracaidista	59
El bumerang	60

CAPITULO CUARTO. LA ROTACION. EL "MOVIMIENTO

CONTINUO" 63

¿Cómo distinguir un huevo cocido de otro crudo?	63
«La rueda de la risa»	64
Remolinos de tinta	65
La planta engañada	66
El «movimiento continuo»	67
Un «atasco»	71
«La fuerza principal son las bolas»	72
El acumulador de Ufimtsev	74
«Un prodigio que no lo es»	74
Otros motores de «movimiento continuo»	76
Un «motor de «movimiento continuo» del tiempo de Pedro I	76

CAPITULO QUINTO. PROPIEDADES DE LOS LIQUIDOS

Y DE LOS GASES 81

El problema de las dos cafeteras	81
Lo que no sabían los antiguos	81
Los líquidos empujan ... ¡hacia arriba!	83
¿Qué pesa más?	84
La forma natural de los líquidos	85
¿Por qué son redondos los perdigones?	87
Una copa «sin fondo»	88
Una interesante peculiaridad del petróleo	90
Una moneda que no se hunde en el agua	91
Agua en una criba	92
La espuma al servicio de la técnica	93
Otro pseudo-«perpetuum mobile»	95
Pompas de jabón	97
¿Qué es más delgado?	100
¡Del agua y seca!	102
¿Cómo bebemos?	103
Un embudo mejorado	103
Una tonelada de madera y una tonelada de hierro	104
Un hombre, que no pesaba nada	105
Un reloj «eterno»	109

CAPITULO SEXTO. FENOMENOS TERMICOS 111

¿Cuándo es más larga la línea férrea de Octubre, en verano o en invierno?	111
Un robo que no se castiga	112
La altura de la torre Eiffel	113
Del vaso de té al tubo de nivel	114
La leyenda de la bota en el baño	116
¿Cómo se hacían los milagros?	116
Relojes sin cuerda	118
Un emboquillado aleccionador	121
Un hielo que no se funde en agua hirviendo	121
¿Encima del hielo o debajo de él?	122

¿Por qué sopla el viento cuando la ventana está cerrada?	123
Un molinete misterioso	123
¿Calienta el abrigo?	125
¿Qué estación del año tenemos debajo de los pies?	126
Una cacerola de papel	127
¿Por qué es resbaladizo el hielo?	129
El problema de los carámbanos	130

CAPITULO SEPTIMO. LOS RAYOS DE LUZ 133

Las sombras apresadas	133
El pollito en el huevo	135
Fotografías caricaturescas	136
El problema de la salida del Sol	137

CAPITULO OCTAVO. REFLEXION Y REFRACCION

DE LA LUZ 139

¿Cómo ver a través de las paredes?	139
La cabeza parlante	140
¿Delante o detrás?	141
¿Se puede ver un espejo?	142
¿A quién vemos cuando nos miramos al espejo?	142
El dibujo delante del espejo	143
Una precipitación económica	144
El vuelto de la corneja	146
Lo nuevo y lo viejo del caleidoscopio	146
Los palacios de ilusiones y de espejismos	148
¿Por qué y cómo se refracta la luz?	150
¿Cuándo se recorre más pronto un camino largo que otro corto?	152
Los nuevos Robinsones	157
¿Cómo hacer fuego con el hielo?	159
Con ayuda de los rayos solares	161
Lo viejo y lo nuevo del espejismo	162
El «rayo verde»	166

CAPITULO NOVENO. LA VISTA CON UNO

Y CON DOS OJOS 171

Antes de que existiera la fotografía	171
Lo que muchos no saben	172
El arte de mirar las fotografías	173
¿Desde qué distancia deben mirarse las fotografías?	174
Un efecto extraño del cristal de aumento	175
Ampliación de las fotografías	176
El mejor sitio en el cine	177
Un consejo a los lectores de revistas ilustradas	178
¿Cómo mirar los cuadros?	179
Representación de cuerpo en el plano	180
¿Qué es el estereoscopio?	181
Nuestro estereoscopio natural	182

Con un ojo y con los dos	185
Un procedimiento fácil de descubrir falsificaciones	187
Vista de gigantes	187
El universo en el estereoscopio	190
La vista con tres ojos	191
¿Que es el brillo?	192
La vision con movimiento rapido	194
Con gafas de color	195
Las «maravillas de las sombras»	196
Transformaciones inesperadas de los colores	197
La altura del libro	199
Las dimensiones de los relojes de las torres	199
Blanco y negro	200
¿Que letra es más negra?	202
Retratos vivos	203
Las líneas «hincadas» y otras ilusiones opticas	205
¿Cómo ven los miopes?	208

CAPITULO DECIMO. EL SONIDO Y EL OIDO 210

¿Cómo encontrar el eco?	210
El sonido en lugar de la cinta métrica	212
Espejos acusticos	213
Los sonidos en el teatro	215
El eco del fondo del mar	216
El zumbido de los insectos	218
Ilusiones acusticas	218
¿Donde chirria el grillo?	219
Curiosidades del oido	221
«Las maravillas de la ventriloquia»	222
Cien preguntas sobre el primer libro de «Física Recreativa»	223

*Del prólogo
del autor
a la decimotercera
edición*

Al escribir este libro no me propuse proporcionar al lector nuevos conocimientos, sino más bien ayudarle a «conocer aquello que ya sabe», es decir, a profundizar y animar los conocimientos de Física que ya posee y a estimularle a que los aplique de manera consciente y multifacética. Este propósito se logra examinando toda una serie abigarrada de rompecabezas, preguntas complicadas, cuentos, problemas divertidos, paradojas y comparaciones inesperadas del campo de la Física, relacionadas con fenómenos que observamos cotidianamente o que se toman de los libros de ciencia ficción más populares. Este último tipo de materiales es el que más ha utilizado el autor, por considerar que es el que mejor se presta a los fines de la obra. Entre ellos se mencionan trozos de novelas y cuentos de Julio Verne, Wells, Mark Twain, etc. Los fantásticos experimentos que en estas obras se describen, además de ser interesantes, pueden servir de magníficas y animadas ilustraciones para la enseñanza.

El autor ha procurado, en la medida de lo posible, darle a la exposición una forma interesante y hacer amena esta asignatura. Para ello ha partido del axioma psicológico que presupone, que el interés por una asignatura aumenta la atención, facilita la comprensión y, por consiguiente, hace que su asimilación sea más sólida y consciente.

En la «Física Recreativa» no se sigue el sistema comúnmente empleado en los libros de este tipo. En ella se dedica poco espacio a la descripción de *experimentos* físicos divertidos y espectaculares. Porque el fin de este libro no es el de proporcionar material para hacer experimentos. El objetivo fundamental de la «Física Recreativa» es el de estimular la fantasía científica, el de enseñar al lector a pensar en la esencia de la ciencia física y el de crear en su memoria numerosas asociaciones de conocimientos físicos relacionados con los fenómenos más diversos de la vida cotidiana y con todo aquello con que mantiene asiduo contacto. Al revisar el libro, el autor ha intentado seguir la orientación dada por V. Lenin en las siguientes palabras: «El escritor popular lleva al lector a un pensamiento profundo, a una doctrina profunda, partiendo de los datos más sencillos y notorios señalando — mediante razonamientos simples o ejemplos escogidos con acierto — las *conclusiones* principales que

se deducen de esos datos y empujando al lector que piensa a plantear nuevas y nuevas cuestiones. El escritor popular no presupone un lector que no piensa, que no desea o no sabe pensar; al contrario, en el lector poco desarrollado presupone el serio propósito de trabajar con la cabeza y le *ayuda* a efectuar esa seria y difícil labor, *le conduce* ayudándole a dar los primeros pasos y *enseñándole* a seguir adelante por su cuenta.*

Teniendo en cuenta el interés que han expresado los lectores por la historia de este libro, insertamos algunos de sus datos bibliográficos.

La «Física Recreativa» apareció hace un cuarto de siglo y fue el primero de los libros de la colección publicada por su autor, la cual consta actualmente de varias decenas de títulos.

La «Física Recreativa», según atestiguan las cartas de sus lectores, ha logrado penetrar hasta en los rincones más recónditos de la URSS.

La gran divulgación alcanzada por este libro, que demuestra el vivo interés que los amplios círculos de lectores sienten por los conocimientos de física, hace que sobre el autor recaiga una gran responsabilidad por la calidad del material que en él se expone. Este sentimiento de responsabilidad explica el gran número de modificaciones y complementos que se han ido introduciendo en el texto de la «Física Recreativa» en las sucesivas ediciones. Puede decirse que el presente libro ha sido escrito durante sus 25 años de existencia. En la última edición se ha conservado escasamente la mitad del texto de la primera. Las ilustraciones han sido totalmente renovadas.

Algunos lectores se han dirigido al autor rogándole que no modifique el texto, para evitar de esta forma que «por una decena de páginas nuevas tengan que adquirir cada edición». Semerjantes razones no pueden eximir al autor de la obligación de mejorar cuanto pueda su libro. La «Física Recreativa» no es una obra literaria, sino científica, a pesar de su carácter popular, y la materia a que se dedica (la Física), hasta en sus fundamentos más elementales, se enriquece constantemente con nuevos materiales, los cuales no pueden dejar de incluirse periódicamente en el libro.

Por otra parte hay quien nos reprocha que la «Física Recreativa» no dedica cierto espacio a temas tan importantes como son los nuevos adelantos de la radiotécnica, la fisión del núcleo atómico, las nuevas teorías físicas, etc. Estos reproches son re-

* V. I. Lenin, Recopilación «Acerca de la prensa», edición en lengua española, Moscú, pág. 59.

sultado de la incomprensión. Porque la «Física Recreativa» tiene un objetivo claro y determinado, que no alcanza a los antedichos temas, cuyo análisis corresponde a obras de otro género.

Con la «Física Recreativa» guardan estrecha relación, además de su libro segundo, otras obras del mismo autor. Una de ellas está dedicada a lectores relativamente poco preparados, es decir, que aún no han comenzado a estudiar Física sistemáticamente, y se titula «La Física a cada paso». Otras dos, por el contrario, se escribieron para aquellos que ya han terminado el curso de Física de la enseñanza secundaria o media. Sus títulos son: «Mecánica Recreativa» y «¿Sabe usted Física?». Esta última es una especie de conclusión de la «Física Recreativa».

1936

Y. Perelmán

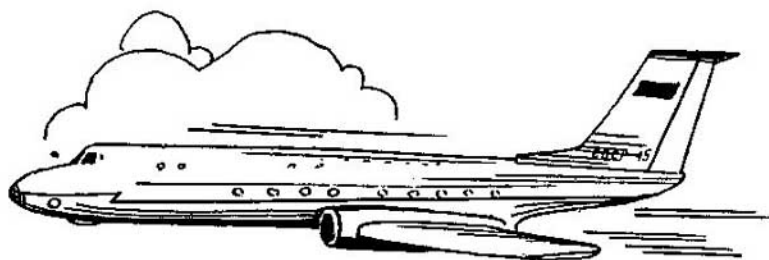
¿A QUE VELOCIDAD NOS MOVEMOS?

Un buen corredor puede cubrir la distancia de 1,5 km en 3 min 50 seg aproximadamente. El record mundial establecido en 1960 es de 3 min 35,6 seg. Para comparar esta velocidad con la ordinaria de un peatón — 1,5 m por seg — basta hacer un sencillo cálculo, del cual resulta, que el deportista recorre 7 m por seg. No obstante, la comparación de estas velocidades no da una idea exacta de ellas, ya que mientras el peatón puede andar horas enteras, recorriendo 5 km por hora, el deportista sólo puede mantener durante un corto espacio de tiempo la considerable velocidad a que corre. Una unidad de infantería, a paso ligero, marcha tres veces más despacio que el mencionado corredor, es decir, su velocidad será solamente de 2 m por seg o de 7 km y pico por hora, pero tiene sobre él la ventaja de que sus recorridos pueden ser considerablemente mayores.

Es interesante comparar la velocidad normal del hombre con la de aquellos animales cuyas lentitudes se han hecho proverbiales, como son las del caracol y de la tortuga. El caracol tiene bien merecida la fama que se le atribuye en los refranes. Su velocidad es de 1,5 mm por seg, o de 5,4 m por h, es decir, exactamente mil veces menor que la del hombre al paso. El otro animal clásicamente lento, la tortuga, no adelanta en mucho al caracol, porque su velocidad ordinaria es de 70 m por h.

El hombre, tan ágil al lado del caracol o de la tortuga, parece distinto cuando comparamos sus movimientos con otros característicos de la naturaleza que nos rodea, aunque éstos no sean muy rápidos. Es verdad que el hombre adelanta con facilidad a la corriente del agua de la mayoría de los ríos de llanura y que no se retrasa mucho con relación a la velocidad del viento bonancible. Pero con una mosca, que vuela a 5 m por seg, el hombre solamente puede competir cuando esquía, y a una liebre o un galgo, no los alcanza ni a caballo. Para competir con la velocidad del águila el hombre necesita un avión.

Sin embargo, el hombre ha inventado máquinas que le convierten en el ser más rápido del mundo.



Estos últimos años se han creado en la URSS varios tipos de motonaves de turismo, con alas sumergidas (fig. 3), que alcanzan velocidades de 60-70 km por hora. Por tierra, el hombre puede trasladarse aún más de prisa que por el agua. En muchas líneas férreas de la URSS, los trenes de pasajeros marchan a 140 km/h. El automóvil de siete plazas «Chaika», desarrolla hasta 160 km/h.

Estas velocidades han sido muy superadas por la aviación moderna. En muchas líneas aéreas de la URSS y de otros países funcionan los aviones a reacción soviéticos TU-104 (fig. 1), TU-114, IL-18 y otros, cuyas velocidades medias de vuelo son de 800-1 000 km/h. No hace mucho, ante los constructores de

El caracol	1,5 mm/seg	5,4 m/h
La tortuga	20 mm/seg	72 m/h
Los peces	1 m/seg	3,6 km/h
El hombre al paso	1,4 m/seg	5 km/h
La caballería al paso	1,7 m/seg	6 km/h
La caballería al trote	3,5 m/seg	12,6 km/h
Las moscas	5 m/seg	18 km/h
Los esquiadores	5 m/seg	18 km/h
La caballería a la carrera	8,5 m/seg	30 km/h
Las motonaves con alas sumergidas	16 m/seg	58 km/h
Las liebres	18 m/seg	65 km/h
Las águilas	24 m/seg	86 km/h
Los galgos	25 m/seg	90 km/h
Los trenes	28 m/seg	100 km/h
Los automóviles de carreras	174 m/seg	633 km/h
El avión TU-104	220 m/seg	800 km/h
El sonido en el aire	330 m/seg	1 200 km/h
Los aviones a reacción ligeros	550 m/seg	2 000 km/h
La Tierra por su órbita	30 000 m/seg	108 000 km/h

aviones se planteaba el problema de pasar la «barra del sonido», es decir, de superar la velocidad del sonido (330 m/seg o 1 200 km/h). Hoy día, la velocidad de los aviones militares, tanto de caza como de bombardeo, supera dos o tres veces esta velocidad. En los próximos años estas velocidades llegarán a ser también ordinarias para los aviones de pasajeros.

Otros aparatos fabricados por el hombre pueden alcanzar velocidades todavía mayores. El primer satélite artificial soviético (Spútnik) fue lanzado

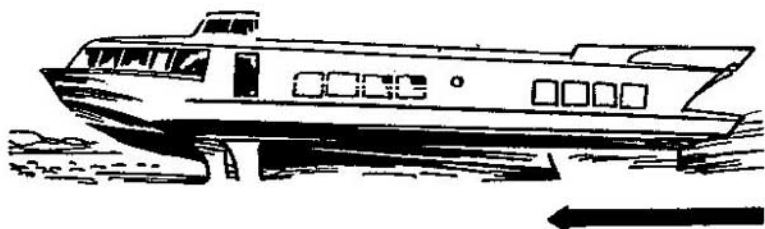
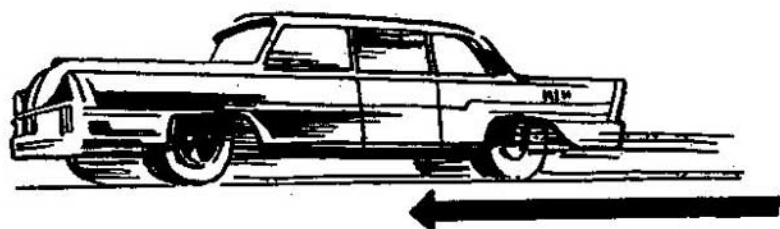


Fig. 1. Avión turborreactor de pasajeros TU-104.

Fig. 2. Automóvil «Chaika».

Fig. 3. Motonave de pasajeros rápida con alas sumergidas.

Fig. 3. a. Caracol.

con una velocidad inicial de cerca de 8 km/seg. Los cohetes cósmicos soviéticos sobrepasaron la llamada segunda velocidad cósmica, igual a 11,2 km/seg junto a la superficie de la Tierra, con lo cual consiguieron llegar hasta la Luna y, más tarde, hasta Venus y Marte.

Ofrecemos al lector una tabla de velocidades características (véase la pág. 14).

EN PERSECUCION DEL TIEMPO

Si salimos de Vladivostok a las 8 de la mañana en avión, ¿podemos llegar a Moscú a las 8 de la mañana del mismo día? Esta pregunta, en primer lugar, no es absurda, y, en segundo, puede contestarse afirmativamente. Para comprender esta respuesta basta recordar que la diferencia entre los husos horarios correspondientes a Vladivostok y a Moscú es de nueve horas. Por consiguiente, si el avión puede recorrer la distancia entre estas dos ciudades en nueve horas, cuando llegue a Moscú, los relojes de esta ciudad marcarán la misma hora que la que indicaban de Vladivostok al emprender el vuelo.

La distancia entre Vladivostok y Moscú es de 9 000 km. Es decir, la velocidad del avión deberá ser igual a $9\,000 : 9 = 1\,000$ km/h. Esta velocidad es fácil de conseguir en la actualidad.

Para «adelantar al Sol» (o, mejor dicho, a la Tierra) en las latitudes polares, se necesita una velocidad mucho menor. Así, en el paralelo 77 (Nueva Zembla), un avión que desarrolle 450 km/h puede volar una distancia igual a la que, durante el mismo intervalo de tiempo, recorre un punto de la superficie de la Tierra al girar ésta alrededor de su eje. Para los pasajeros de este avión el Sol estará quieto y parecerá colgado en el cielo, sin aproximarse al ocaso (claro que, para que esto ocurra, el avión tendrá que moverse en la dirección conveniente).

Más fácil aún es «adelantar a la Luna» en su rotación en torno a la Tierra. La Luna se mueve alrededor de la Tierra 29 veces más despacio que ésta alrededor de su eje (comparando, naturalmente, las llamadas velocidades angulares y no las velocidades lineales). Por esto, un barco ordinario, que haga 25 ó 30 km/h, puede, incluso en las latitudes medias, «adelantar a la Luna».

Mark Twain menciona este fenómeno en uno de sus ensayos «Innocents Abroad» (Inocentes en el Extranjero). Durante la travesía del Atlántico, desde Nueva York a las Azores «hacia un magnífico tiempo estival, y las noches eran mejores aún que los días. Durante ellas observábamos un fenómeno extraño: la

Luna aparecía cada noche a una misma hora y en un mismo lugar del firmamento. La causa de este original comportamiento de la Luna fue para nosotros un misterio al principio, pero después la comprendimos. Era que íbamos avanzando a razón de 20 minutos de longitud geográfica por hora, es decir, a una velocidad suficiente para que no nos adelantase la Luna».

UNA MILESIMA DE SEGUNDO

Para los que estamos acostumbrados a medir el tiempo de la forma usual, una milésima de segundo es igual a cero. Estos intervalos de tiempo empezaron a utilizarse en la práctica hace poco relativamente. Cuando el tiempo se determinaba por la altura del Sol o por la longitud de las sombras, no podía hablarse ni siquiera de minutos de exactitud (fig. 4). Se consideraba que un minuto era una magnitud demasiado pequeña para que hubiera necesidad de medirla. En la antigüedad, la vida del hombre no era apresurada y sus relojes, de sol, de agua o de arena, carecían de divisiones especiales para contar los minutos (fig. 5). Hasta principios del siglo XVIII los relojes no tenían minuterios. Pero a comienzos del siglo XIX aparece ya hasta el segundero.

¿Qué puede ocurrir en una milésima de segundo? ¡Muchas cosas! Es verdad que, en este tiempo, un tren solamente puede avanzar unos tres centímetros, pero el sonido recorre ya 33 cm; un avión, cerca de medio metro; la Tierra, en este intervalo de tiempo, recorre 30 m de su órbita alrededor del Sol, y la luz, 300 km.

Los pequeños seres que nos rodean, si pudieran razonar, probablemente no considerarían insignificante el intervalo de tiempo que representa una milésima de segundo. Para los insectos, este espacio de tiempo es perfectamente apreciable. Un mosquito bate sus alas 500—600 veces por segundo, es decir, una milésima de segundo es suficiente para que suba o baje las alas.

El hombre es incapaz de hacer con sus extremidades movimientos tan rápidos. El más rápido de los movimientos humanos es el parpadeo o «abrir y cerrar de ojos», el cual se realiza con tanta rapidez, que ni lo notamos con la vista. No obstante, son pocos los que saben que este movimiento, sinónimo de rapidez «insuperable», si se mide en milésimas de segundo resulta bastante lento. Según los datos aportados por mediciones precisas, un «abrir y cerrar de ojos» dura, aproximadamente, $2/5$ de segundo, es decir, 400 milésimas de segundo. El parpadeo consta de las siguientes fases: el descenso del párpado (que dura 75-90 milésimas de segundo), el tiempo en que el ojo permanece

cerrado (130-170 milésimas de segundo) y la elevación del párpado (cerca de 170 milésimas de segundo). Como puede verse, un «abrir y cerrar de ojos», en el sentido literal de la expresión, es un espacio de tiempo bastante considerable, durante el cual, el párpado puede hasta descansar. Y si pudiéramos percibir aisladamente impresiones de una milésima de segundo de duración, en un «abrir y cerrar de ojos» distinguiríamos perfectamente los dos suaves movimientos del párpado, separados entre sí por una pausa.

Si nuestro sistema nervioso funcionase en estas condiciones, el mundo que nos rodea nos parecería completamente distinto. El escritor inglés Wells, en su cuento «Un acelerador ultramoderno», describe los cuadros tan extraños que en este caso se ofrecerían a nuestra vista. Los protagonistas de este cuento beben una mixtura fantástica, cuya influencia sobre el sistema nervioso hace que los sentidos puedan percibir, por partes, fenómenos que se realizan con rapidez. He aquí algunos ejemplos tomados de este cuento:

«—¿Ha visto usted alguna vez que una cortina se quede sujeta a su ventana de esta forma?

Me fijé en la cortina y vi que parecía inmóvil, y que uno de sus ángulos, que el viento había levantado, seguía así.

— No, nunca — dije yo —. ¡Qué extraño!

— ¿Y esto? — me dijo él, al mismo tiempo que abría la mano con que sostenía el vaso.

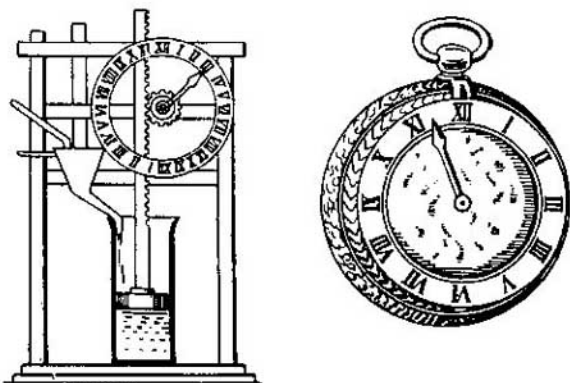
Yo pensé que el vaso caería y se haría añicos, pero ni se movió: se quedó inmóvil, como si estuviera colgado en el aire.

— Usted sabe, naturalmente — dijo Gibbern —, que los obje-



Fig. 4. Determinación de la hora por la posición del Sol en el cielo (a la izquierda) y por la longitud de las sombras (a la derecha).

Fig. 5. Reloj de agua (a la izquierda) que se utilizó en la antigüedad. A la derecha un antiguo reloj de bolsillo. Tanto el uno como el otro carecen de minuto.



tos al caer recorren 5 m en el primer segundo. El vaso también recorre ahora estos 5 m; pero, comprenda usted, aún no ha transcurrido ni una centésima de segundo*. Esto le dará idea de la fuerza de mi «acelerador».

El vaso bajaba despacio. Gibbern pasó su mano alrededor de él, por encima y por debajo...

Yo miré por la ventana y vi un ciclista, inmóvil en su sitio, seguido por una nube de polvo, también inmóvil, el cual intentaba alcanzar a una carretela, que tampoco avanzaba ni una pulgada.

...Nos llamó la atención un ómnibus, absolutamente petrificado. La parte superior de las ruedas, las patas de los caballos, el extremo del látigo y el maxilar inferior del cochero (que en este instante comenzó a bostezar), se movían, aunque muy despacio; mientras que todas las demás partes de este extraño carruaje permanecían inmóviles. Las personas que iban en él parecían estatuas.

...Un hombre se había quedado pasmado en el preciso momento en que se esforzaba por doblar un periódico azotado por el viento. Pero un viento que no existía para nosotros.

...Todo lo que dije, pensé e hice desde que ingerí el «acelerador», se realizó en un «abrir y cerrar de ojos» de las demás personas y de todo el universo».

Al lector quizá le interese saber cuál es el menor intervalo

* Hay que tener presente que, durante la primera centésima parte del primer segundo, el cuerpo no recorre la centésima parte de los 5 m, sino únicamente la diezmilésima parte de los mismos (según la fórmula $S = \frac{1}{2}gt^2$, es decir, medio milímetro, y durante la primera milésima de segundo, nada más que 1/100 mm.

de tiempo que puede medirse con los medios de que dispone la ciencia moderna. A comienzos de siglo, este intervalo era igual a una diezmilésima de segundo; pero en la actualidad los físicos pueden medir en sus laboratorios hasta cienmilmillonésimas ($1/100\ 000\ 000\ 000$) de segundo. Aproximadamente, puede decirse, que este espacio de tiempo es menor que un segundo, tantas veces como un segundo es menor que 3 000 años!

LA CAMARA LENTA

Cuando Wells escribió «Un acelerador ultramoderno», lo más probable es que no pensara que algo semejante podría realizarse jamás. No obstante, vivió lo suficiente para ver con sus propios ojos, aunque solamente en la pantalla, escenas como aquellas que creó su fantasía. La llamada «cámara lenta» muestra en la pantalla, con ritmo retardado, muchos fenómenos que, generalmente, se desarrollan muy de prisa.

La «cámara lenta» no es más que un tomavistas que efectúa, no 24 exposiciones por segundo, como los aparatos ordinarios, sino muchas más. Cuando las escenas tomadas con él se proyectan en la pantalla, haciendo pasar la película a la velocidad normal de 24 cuadros por segundo, el observador ve los movimientos «alargados», es decir, realizándose un número proporcional de veces más despacio que lo normal. El lector habrá tenido, seguramente, ocasión de ver en la pantalla saltos extraordinariamente lentos y otros movimientos retardados. Con aparatos de este tipo, pero más complicados, se consigue retardar aún más los procesos, de forma, que casi puede reproducirse lo descrito por Wells.

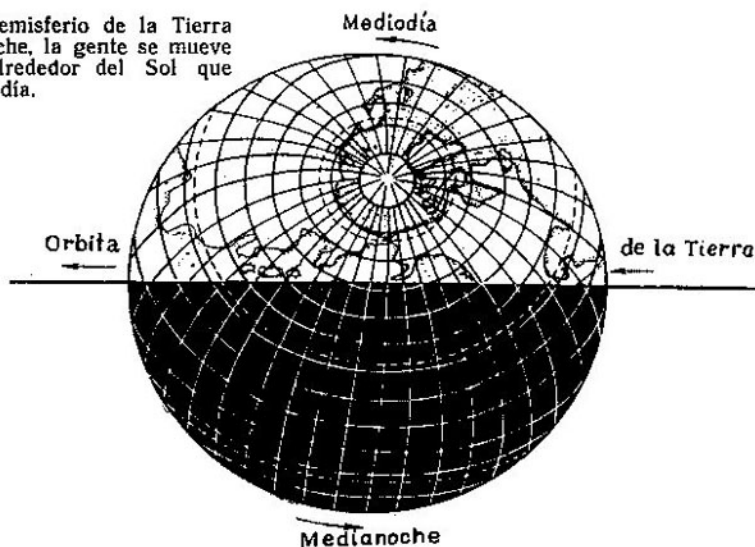
¿CUANDO NOS MOVEMOS MAS DE PRISA ALREDEDOR DEL SOL, DE DIA O DE NOCHE?

En una ocasión, los periódicos parisinos publicaron un anuncio según el cual, por 25 céntimos, se ofrecía dar a conocer un procedimiento de viajar barato y sin el menor cansancio. No faltaron crédulos que enviaron sus 25 céntimos. Cada uno de ellos recibió por correo una carta en la que se decía:

«Ciudadano, quédese usted en su casa tranquilamente y recuerde que la Tierra da vueltas. Encontrándose en el paralelo de París, es decir, en el 49, usted recorre cada día 25 000 km. Si gusta disfrutar vistas pintorescas, abra los visillos de su ventana y contemple el cuadro conmovedor del firmamento».

El autor del anuncio fue juzgado por estafa, y cuando le leyeron la sentencia y pagó la multa correspondiente, dicen

Fig. 6. En el hemisferio de la Tierra en que es de noche, la gente se mueve más de prisa alrededor del Sol que en el que es de día.



que adoptó una postura dramática y repitió solemnemente la célebre frase de Galileo:

— ¡Eppur, si muove!*

En cierto sentido, el acusado llevaba razón, ya que cada habitante de la esfera terrestre, no sólo «viaja» al girar ésta alrededor de su eje, sino también, y con mayor velocidad, al realizar la Tierra su movimiento de traslación alrededor del Sol. Nuestro planeta, con todos sus habitantes, recorre en el espacio 30 km *por segundo*, además de girar alrededor de su eje.

A propósito de esto se puede hacer una pregunta interesante: ¿cuándo nos movemos más de prisa alrededor del Sol, de día o de noche?

Esta pregunta puede parecer extraña, puesto que, en todo momento, mientras en un lado de la Tierra es de día, en el otro es de noche. Entonces, ¿qué sentido puede tener dicha pregunta? Al parecer, ninguno.

Sin embargo, no es así. El quid está en que lo que se pregunta no es cuándo la Tierra en su conjunto se traslada más de prisa, sino cuándo nos trasladamos más de prisa entre las estrellas nosotros, es decir, sus habitantes. Así formulada no se trata de una pregunta sin sentido, porque dentro del sistema solar nosotros tenemos dos movimientos: uno de traslación alrededor

*¡ Y sin embargo, se mueve!

del Sol y otro, simultáneo, de rotación alrededor del eje de la Tierra. Estos dos movimientos se combinan, pero cuando nos encontramos en el hemisferio en que es de día, el resultado de esta combinación es diferente del que se obtiene cuando estamos en el hemisferio en que es de noche. Véase la fig. 6 y se comprenderá, que a medianoche, la velocidad de rotación *se suma* a la de traslación de la Tierra, mientras que a mediodía, al revés, *se resta* de ella. Es decir, *a medianoche nos movemos, en el sistema solar, más de prisa que a mediodía.*

Como quiera que los puntos situados en el ecuador recorren cerca de medio kilómetro por segundo, la diferencia entre las velocidades correspondientes a la medianoche y al mediodía, en la zona ecuatorial, llega a ser de todo un kilómetro por segundo.

EL ENIGMA DE LA RUEDA DEL CARRO

Peguemos a la llanta de la rueda de un carro (o de una bicicleta) un papel de color y fijémosnos en él cuando se mueva el carro (o la bicicleta). Notaremos un fenómeno extraño: al girar la rueda, el papel se ve bastante bien mientras se encuentra en la parte inferior de la misma, pero su paso por la parte superior es tan fugaz, que no da tiempo a distinguirlo.

Da la sensación de que la parte superior de la rueda se mueve más de prisa que la inferior. Este mismo fenómeno se puede observar comparando entre sí los radios superiores e inferiores de las ruedas de cualquier carruaje. Se notará que los radios superiores se corren y confunden, como si formaran uno solo y continuo, mientras que los inferiores se distinguen aisladamente. En este caso también parece que la parte superior de la rueda se mueve más de prisa que la inferior.

¿En qué consiste el secreto de este fenómeno tan extraño? Muy sencillo; en que la parte superior de la rueda *se mueve*

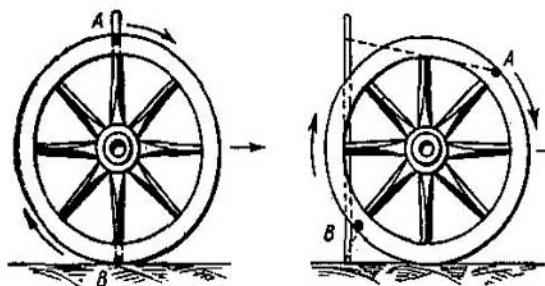


Fig. 7. Demostración de que la parte superior de la rueda se mueve más de prisa que la inferior. Compárese la distancia entre los puntos A y B de la rueda móvil (dibujo de la derecha) con respecto al palo fijo.

efectivamente más de prisa que la inferior. Este hecho parece inverosímil a primera vista, pero bastará un simple razonamiento para convencernos de su realidad. Es el caso, que cada punto de la rueda realiza simultáneamente dos movimientos: uno de rotación, alrededor de su eje, y otro de avance, junto con este mismo eje. Tiene lugar, pues, lo mismo que en el caso de la esfera terrestre, una combinación de dos movimientos, pero el resultado de esta combinación es diferente para las partes inferior y superior de la rueda. En la parte superior, el movimiento de rotación de la rueda *se suma* al de avance, ya que estos dos movimientos van en el mismo sentido. En la parte inferior, al revés, el movimiento de rotación tiene dirección *contraria* al de avance y, por consiguiente, *se resta* de este último. He aquí por qué la parte superior de la rueda se mueve más de prisa, con relación a un observador fijo, que la parte inferior de la misma.

Para demostrar que esto efectivamente es así, puede hacerse un sencillo experimento. Hinquemos un palo junto a la rueda de un carro parado, de manera, que quede frente al eje de aquélla (fig. 7). En la parte más alta y más baja de la rueda, hagamos con tiza unas señales de referencia. Estas señales se encontrarán también enfrente del palo. Hecho esto, desplazemos el carro hacia la derecha, hasta que el eje de la rueda se aleje del palo unos 20 ó 30 centímetros, y observemos cómo se han desplazado las señales de referencia. Está claro, que la señal superior *A* ha experimentado un avance mucho mayor que el de la señal inferior *B*, la cual apenas si se ha separado del palo.

EL PUNTO DE LA RUEDA QUE SE MUEVE MAS DESPACIO

Como hemos visto, no todos los puntos de la rueda se mueven a igual velocidad. Pero, ¿cuál es la parte de la rueda que se mueve más despacio?

Se comprende fácilmente, que los puntos de la rueda que se mueven más despacio son aquellos que en el momento dado están en contacto con el suelo. Hablando con propiedad, en el momento de su contacto con el suelo, los puntos de la rueda se encuentran totalmente inmóviles.

Todo lo que hemos dicho hasta ahora se refiere exclusivamente a las ruedas *que ruedan*, y no a aquellas que solamente giran sobre un eje fijo. Los puntos de la llanta de una rueda volante, por ejemplo, estén en su parte superior o inferior, se mueven a una misma velocidad.

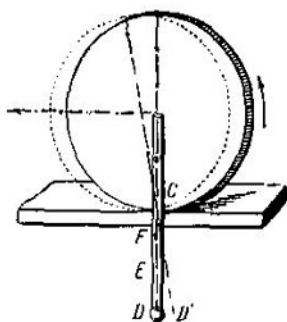


Fig. 8. Experimento con un objeto redondo y una cerilla. Cuando el objeto rueda hacia la izquierda, los puntos *F*, *E* y *D*, de la parte sobresaliente de la cerilla, se mueven en sentido contrario.

ESTE PROBLEMA NO ES DE BROMA

He aquí otro problema no menos curioso:

Un tren va, por ejemplo, de Leningrado a Moscú, ¿puede tener este tren puntos que, con relación a la vía, se muevan al contrario, es decir, de Moscú a Leningrado?

Resulta que sí, que en cada momento, y en cada una de las ruedas, hay puntos de éstos. Pero, ¿dónde se encuentran?

Todos sabemos que las ruedas de ferrocarril tienen en sus bandajes un reborde saliente. Pues bien, cuando el tren se mueve, el punto inferior de este reborde no se desplaza hacia adelante, sino ¡hacia atrás! Este hecho es fácil de comprobar haciendo el siguiente experimento. Tomemos un objeto redondo cualquiera, por ejemplo, una moneda o un botón, y sujetemos a él, con un poco de cera, un palillo o una cerilla, de tal forma, que, coincidiendo con la dirección de su radio, sobresalga bastante de su borde. Si apoyamos este objeto redondo (fig. 8) sobre el canto de una regla, en el punto *C*, y comenzamos a roarlo de derecha a izquierda, tendremos, que los puntos *F*, *E* y *D* de la parte sobresaliente no se desplazarán hacia adelante, sino hacia atrás. Cuanto más lejos esté el punto del borde del objeto redondo, tanto mejor se notará su desplazamiento hacia atrás al rodar aquél (el punto *D* ocupará la posición *D'*).

Los puntos de los rebordes de las ruedas de ferrocarril se mueven de igual manera que la parte sobresaliente de la cerilla antedicha. Sabiendo esto, no debe llamarnos la atención, que en un tren haya puntos que se mueven, no hacia adelante, sino hacia atrás. Es verdad, que este movimiento dura una insignificante fracción de segundo; pero sea como

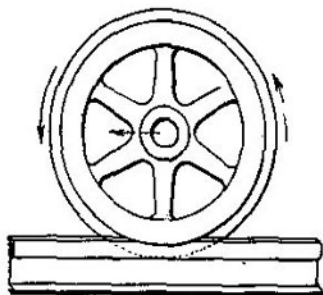
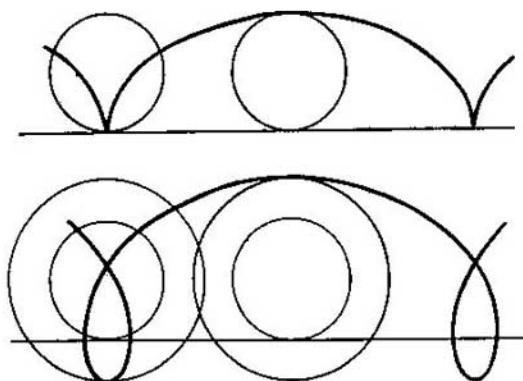


Fig. 9. Cuando la rueda de ferrocarril avanza hacia la izquierda, la parte inferior de su reborde se mueve hacia la derecha, es decir, en dirección contraria.

Fig. 10. Arriba se representa la curva («cicloide») que describe al girar cada uno de los puntos de la llanta de una rueda de carro. Abajo, la curva que describe cada punto exterior del reborde de una rueda de ferrocarril.



fuere, y en contra de lo que generalmente nos parece, este movimiento, contrario a la dirección del tren, existe.

Todo lo dicho se explica gráficamente en las figs. 9 y 10.

¿DE DONDE PARTIO LA BARCA?

Supongamos que una barquilla de remos navega por un lago y que la flecha *a* (fig. 11) representa el sentido y la velocidad de su movimiento. Supongamos también, que, al encuentro de esta barquilla, y perpendicularmente a su rumbo, viene una barca de vela y que la flecha *b* representa su dirección y velocidad. Si le preguntasen al lector de qué sitio partió la barca de vela, respondería en el acto que del punto *M* de la costa. Pero si le hiciéramos esta misma pregunta a los tripulantes de la barca de remos, nos indicarían un punto completamente distinto. ¿Por qué?

Porque para estos tripulantes, la barca de vela no avanza en ángulo recto a la dirección que sigue la suya. Ellos no se dan cuenta de su propio movimiento. Al contrario, a ellos les parece que están fijos en un sitio, mientras que todo lo que hay a su alrededor se mueve, con la velocidad que ellos llevan, y en sentido contrario. Por esta razón, *para ellos*, la barca de vela, además de avanzar en la dirección de la flecha *b*, lo hace en la dirección que indica la línea de puntos *a*, contraria a la de la barquilla de remos (fig. 12). Estos dos movimientos de la barca de vela, es decir, el real y el aparente, se combinan de acuerdo con la regla del paralelogramo. Como resultado de esta combinación, a los tripulantes de la barquilla de remos les parece, que la de vela avanza por la diagonal del paralelogramo construido sobre los lados *b* y *a*. He aquí por qué estos tripulantes se figuran que

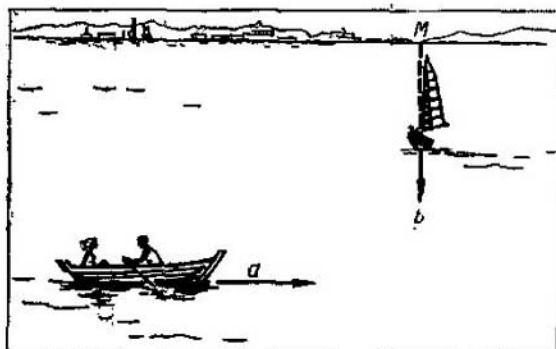


Fig 11. La barca de vela navega perpendicularmente a la dirección de la deremos. Las flechas a y b indican las velocidades respectivas. ¿Qué ven los pasajeros de la barca de remos?

dicha barca no partió del punto M de la costa, sino de otro punto de la misma, N , que se encuentra bastante más adelante que el primero, en la dirección que sigue su propia barca (fig. 12).

Al movernos junto con la Tierra, siguiendo su órbita, y encontrarnos con los rayos de luz de las estrellas, juzgamos erróneamente sobre la posición que ocupan los puntos de procedencia de estos rayos, de la misma manera que los tripulantes de la barca de remos se equivocaban al determinar el sitio de partida de la barca de vela. Por esto, nos parece que las estrellas están un poco desplazadas hacia adelante, siguiendo la trayectoria de la Tierra. Claro, que como la velocidad de traslación de la Tierra es insignificante en comparación con la velocidad de la luz (10 000 veces menor), la desviación aparente de las estrellas es muy pequeña. No obstante, esta desviación puede de-

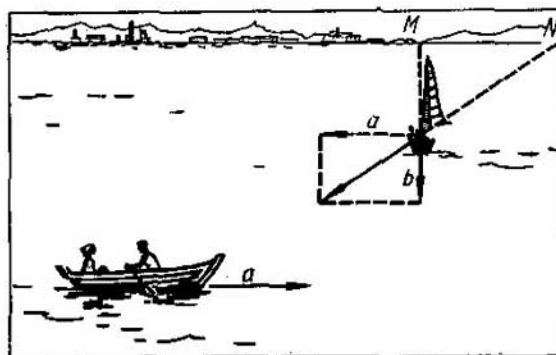


Fig. 12. A los pasajeros de la barca de remos les parece que el avance de la de vela es oblicuo, y no perpendicular a su propia dirección, y que partió del punto N , en vez del M .

terminarse con ayuda de aparatos astronómicos. Este fenómeno se conoce con el nombre de aberración de la luz.

Si al lector le interesan estos problemas, le proponemos, que, sin variar las condiciones indicadas en el problema de las barcas, conteste a las siguientes preguntas:

1) Para los tripulantes de la barca de vela, ¿qué dirección seguirá la barca de remos?

2) ¿Hacia dónde se dirigirá la barquilla de remos, según los tripulantes de la de vela?

Para contestar a estas preguntas hay que construir, sobre la línea a (fig. 12), el paralelogramo de velocidades. La diagonal de este paralelogramo indicará, como a los tripulantes de la barca de vela les parece, que la de remos navega en dirección oblicua, como si quisiera atracar a la costa.

LEVANTESE!

Si le dijéramos a alguien: «Ahora se sentará usted en esa silla de tal manera, que, sin estar atado, no podrá levantarse», lo más probable es que lo tomase a broma.

Pero hagamos la prueba. Sentémonos como indica la fig. 13, es decir, con el cuerpo en posición vertical y *sin meter las piernas debajo de la silla* e intentemos ponernos de pie, sin cambiar la posición de las piernas y sin echar el cuerpo hacia adelante.

¿Qué, no hay manera? Por más que tensemos nuestros músculos, no conseguiremos levantarnos de la silla, mientras no pongamos los pies debajo de ella y no inclinemos el cuerpo hacia adelante.

Para comprender por qué ocurre esto, tendremos que hablar un poco del equilibrio de los cuerpos en general y del equilibrio del cuerpo humano en particular. Para que un objeto cualquiera colocado verticalmente no se vuelque, es necesario que la vertical que pasa por su centro de gravedad no se salga fuera de la base de dicho objeto. Por esta razón, el cilindro inclinado de la fig. 14 tiene que volcarse. Pero si este mismo cilindro fuera tan ancho, que la vertical trazada por su centro de gravedad no se saliera de los límites de su base, no se volcaría. Las llamadas torres inclinadas de Pisa, Bolonia o Arcángel (fig. 15) no se caen, a pesar de su inclinación, porque la vertical de sus centros de gravedad no rebasa los límites de sus bases (otro motivo, pero de segundo orden, es la profundidad a que sus cimientos se hunden en tierra).

Una persona puesta de pie no se cae, mientras la vertical de su centro de gravedad está comprendida dentro de la superficie limitada por los bordes exteriores de las plantas de sus pies (fig. 16). Por esto es tan difícil mantenerse sobre un solo pie y aún más sobre guardar el equilibrio en el alambre, ya que en estas condiciones la base es muy pequeña y la vertical del centro de gravedad puede rebasar sus límites fácilmente. ¿Os habéis fijado en la manera de andar que tiene los "lobos de mar"? Pues se explica, porque toda su vida la pasan en el barco, cuyo suelo se balancea y hace que la vertical de sus centros de

Fig. 13. En esta postura es imposible levantarse de la silla.



gravedad pueda salirse en cualquier momento de los límites del espacio limitado por las plantas de sus pies. Por esto, los marineros adquieren la costumbre de andar de manera que su cuerpo tenga la mayor base posible, es decir, separando mucho los pies. De esta forma consiguen tener la estabilidad necesaria cuando están en la cubierta de su barco y ésta se balancea, pero, como es natural, esta costumbre de andar la conservan cuando lo hacen por tierra firme. Podemos citar ejemplos de lo contrario, es decir, de cómo la necesidad de guardar el equilibrio obliga a adoptar bellas posturas. Adviértase el aspecto elegante que tienen las personas que llevan algún peso sobre la cabeza (un cántaro, por ejemplo). Para poder llevar este peso hay que mantener la cabeza y el cuerpo derechos, ya que la más pequeña inclinación representa un peligro de que el centro de gravedad (que en estos casos se encuentra más alto que de ordinario) se desplace y se salga del contorno de la base del cuerpo, con lo cual la figura perderá el equilibrio.

Volvamos a ocuparnos ahora del experimento con la persona sentada que no puede ponerse en pie. El centro de gravedad de una persona sentada se encuentra dentro de su cuerpo, cerca de la columna vertebral y a unos 20 centímetros sobre el nivel del ombligo. Si trazamos desde este punto una vertical hacia abajo, esta línea pasará por debajo de la silla y más atrás que las plantas de los pies. Pero para que esta persona pueda levantarse, la línea en cuestión deberá pasar *entre dichas plantas*.

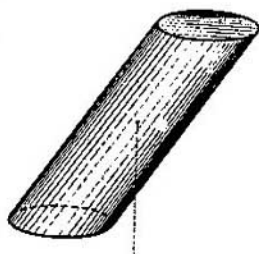


Fig. 14. Este cilindro debe volcarse, puesto que la vertical de su centro de gravedad no pasa por la base.

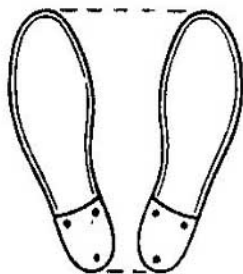


Fig. 16. Cuando una persona está en pie, la vertical de su centro de gravedad pasa por la superficie limitada por las plantas de sus pies.

Es decir, que para levantarnos tenemos que echar nuestro cuerpo hacia adelante, desplazando así nuestro centro de gravedad en esta misma dirección, o correr los pies hacia atrás, para hacer que el punto de apoyo se encuentre debajo del centro de gravedad. Esto es lo que generalmente hacemos cuando nos levantamos de una silla. Pero cuando no se nos permite ni lo uno ni lo otro, como en el caso del experimento anteriormente descrito, es muy difícil levantarse.

ANDAR Y CORRER

Lo que hacemos decenas de millares de veces cada día, durante toda la vida, son cosas bien sabidas. Esta es la opinión general, pero no siempre es justa. Un buen ejemplo, que confirma lo dicho, lo tenemos en el andar y el correr. ¿Que podemos saber mejor que estos dos tipos de movimiento? Sin embargo, ¿son acaso muchas las personas que tienen una idea clara de como se desplaza nuestro cuerpo al andar y al correr y de la diferencia que hay entre estos dos tipos de movimiento? Veamos lo que dice sobre el andar y el correr la fisiología*. Para la mayoría de los lectores esta descripción será algo completamente nuevo.

«Supongamos que un hombre descansa sobre uno de sus pies, por ejemplo, sobre el derecho. Figurémonos ahora que este hombre levanta el talón, al mismo tiempo que inclina el cuerpo hacia adelante**. En esta situación, la perpendicular bajada des-

* El trozo que citamos a continuación está tomado de las «Conferencias sobre zoología» del profesor Paul Bier; las ilustraciones han sido añadidas por el autor.

** En este momento, el pie del peatón, al desprenderse de la superficie en que se apoya, ejerce sobre ella una presión complementaria de cerca de 20 kg. De aquí se deduce, que, las personas que andan, presionan más sobre la tierra que las que están paradas. — Y. P.

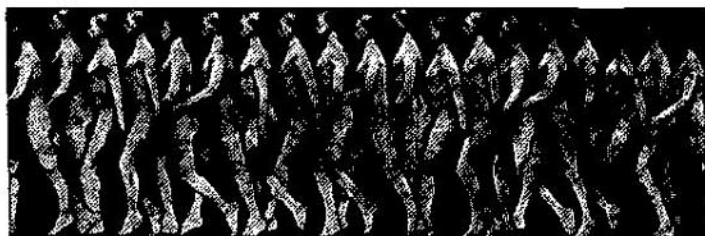
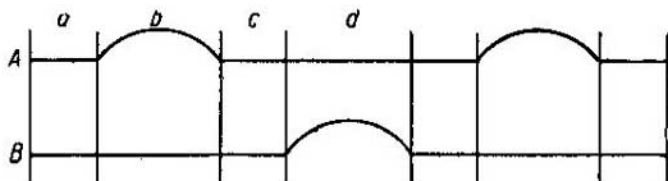


Fig. 17. Así anda el hombre. (Posiciones sucesivas del cuerpo al andar.

de su centro de gravedad se sale, lógicamente, de la superficie básica de apoyo y el hombre debe caerse también hacia adelante. Pero en cuanto se inicia esta caída, la pierna izquierda, que está en el aire, se adelanta rápidamente y va a posarse en el suelo por delante de la perpendicular del centro de gravedad, de forma, que ésta queda dentro de los límites de la superficie comprendida entre las líneas que unen entre sí los puntos de apoyo de ambos pies. De esta manera se restablece el equilibrio y el hombre termina de dar un paso.

El peatón puede pararse en esta posición, aunque es bastante incómoda. Pero si quiere seguir avanzando, inclina aún más su cuerpo hacia adelante, traslada la perpendicular de su centro de gravedad fuera de los límites de la superficie de apoyo y, en el momento en que siente el peligro de caerse, vuelve a lanzar hacia adelante la pierna correspondiente, es decir, la derecha, dando así un nuevo paso, etc. Por consiguiente, el andar no es más

Fig. 18. Representación gráfica del movimiento de los pies al andar. La línea superior (A) corresponde a un pie; la inferior (B), al otro. Las partes rectas representan los momentos en que el pie se apoya en el suelo; los arcos, los momentos en que el pie se mueve sin apoyarse en ninguna parte. En este gráfico puede verse, cómo durante el período de tiempo *a* ambos pies se apoyan en el suelo; durante *b*, el pie *A* está en el aire, mientras que el *B* sigue apoyándose en el suelo; durante *c*, otra vez se apoyan ambos pies. Cuanto más de prisa se ande, más cortos serán los intervalos *a* y *c* (compárese con el gráfico del movimiento de los pies al correr).



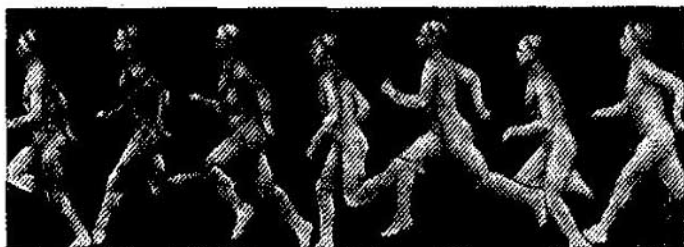


Fig. 19. Así corre el hombre (Posiciones consecutivas del cuerpo durante la carrera. Obsérvese que en algunos momentos ambos pies están en el aire).

que una sucesión de caídas hacia adelante, las cuales se evitan a su debido tiempo trasladando la pierna que se había quedado atrás y apoyándose en ella.

Examinemos más de cerca este proceso. Supongamos que se ha dado el primer paso. En este momento el pie derecho está aún en contacto con el suelo y el izquierdo acaba de posarse en él. Pero si el paso no ha sido demasiado corto, el talón derecho debe haberse levantado, ya que este levantamiento del talón es el que obliga al cuerpo a inclinarse hacia adelante y a perder el equilibrio. Al dar el paso, lo primero que toca el suelo es el talón del pie izquierdo. Más tarde, cuando toda la planta de este pie se sienta en el suelo, el pie derecho se levanta y queda totalmente en el aire. Al mismo tiempo, la pierna izquierda, que estaba algo doblada por la rodilla, se endereza, al contraerse el músculo anterior del muslo (cuadriceps crural), y momentáneamente toma la posición vertical. Esto permite a la pierna derecha, que está medio doblada, desplazarse hacia adelante sin tocar el

Fig. 20. Representación gráfica del movimiento de los pies al correr (compárese con la fig. 18). Este gráfico muestra cómo hay algunos momentos (b, d, f) en que la persona que corre tiene ambos pies en el aire. En esto consiste la diferencia entre correr y andar.



Fig. 15 a. Campanario de Arcángel.

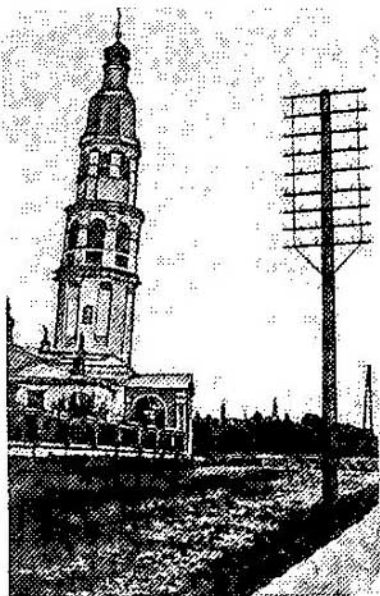
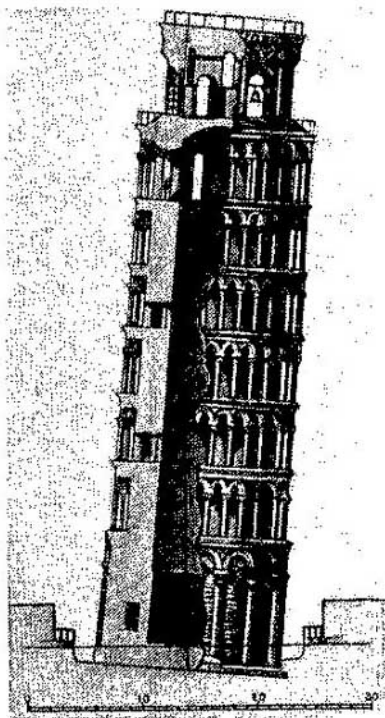


Fig. 15 b. Torre inclinada de Pisa.



suelo, y, siguiendo el movimiento del cuerpo, posar su talón en el preciso momento en que comienza el paso siguiente.

Con esto, comienza una nueva serie de idénticos movimientos con la pierna izquierda, la cual, en este momento, se apoya en tierra solamente con los dedos y poco después tiene que levantarse y quedar suspendida en el aire.

El correr se distingue del andar, en que la pierna que se apoya en el suelo, mediante una contracción instantánea de sus músculos, se extiende con energía y lanza todo el cuerpo hacia adelante, de forma, que este último queda *durante un momento totalmente separado de la tierra*. Después, vuelve a caer sobre la otra pierna, la cual, mientras el cuerpo se encontraba en el aire, se trasladó rápidamente hacia adelante. Es decir, la carrera consta de una serie de saltos de una pierna a otra.

En cuanto a la energía que emplea el hombre al ir andando por un camino horizontal, no es igual a cero, como piensan algunos, ya que el centro de gravedad del cuerpo del peatón se desplaza hacia arriba en varios centímetros cada vez que éste da un paso. Se puede calcular, que el trabajo que se realiza al andar por un camino horizontal, es igual a cerca de una quinceava parte del que se necesitaría para elevar el cuerpo del peatón a una altura igual al camino recorrido.

¿COMO HAY QUE SALTAR DE UN VAGON EN MARCHA?

Si hacemos esta pregunta a cualquier persona, nos contestará, con toda seguridad: "Hacia adelante, en la dirección del movimiento del vagón, de acuerdo con la ley de la inercia". Pero si insistimos en que nos diga más concretamente, qué tiene que ver con esto la ley de la inercia, es fácil adivinar lo que ocurrirá con nuestro interlocutor: empezará a demostrarnos su idea con toda seguridad; pero si no le interrumpimos, no tardará en detenerse perplejo. Resulta, que, a causa de la inercia, hay que saltar hacia atrás, es decir, contra la dirección que lleva el vagón.

Efectivamente, la ley de la inercia juega en este caso un papel secundario, mientras que el motivo principal es otro. Si nos olvidamos de este motivo principal, llegaremos a la conclusión de que siempre hay que saltar hacia atrás y nunca hacia adelante.

Sin embargo, supongamos que tenemos que saltar en marcha, ¿qué ocurrirá entonces?

Cuando saltamos del vagón en marcha, nuestro cuerpo, al separarse de aquél, tiene su misma velocidad (es decir, se mueve por inercia) y tiende a seguir moviéndose hacia adelante. Si sal-

tamos en esta dirección, en vez de anular la velocidad adquirida, la aumentaremos.

De aquí se deduce que hay que saltar *hacia atrás* y no hacia adelante. Porque al saltar hacia atrás, la velocidad que recibimos del salto *se resta* de la velocidad a que nuestro cuerpo se mueve por inercia y, por consiguiente, la fuerza que tiende a tirar nuestro cuerpo cuando éste toca el suelo, será menor.

No obstante, siempre que hay que saltar de algún vehículo en marcha, todo el mundo lo hace hacia adelante, es decir, en la dirección que lleva el vehículo. Indiscutiblemente, éste es el mejor procedimiento y, además, está tan bien comprobado, que aconsejamos seriamente a nuestros lectores, que no intenten probar los inconvenientes del salto hacia atrás.

¿Cómo se explica esto?

Esto se explica por la sencilla razón, de que la aclaración anterior no era ni justa ni completa. Porque tanto si saltamos hacia adelante, como si lo hacemos hacia atrás, nos amenaza el peligro de caernos, ya que la parte superior de nuestro cuerpo continuará moviéndose, mientras que nuestros pies, al tocar la tierra, se paran*. La velocidad con que sigue moviéndose nuestro cuerpo será mayor cuando saltamos hacia adelante. Pero lo esencial es, que caer hacia adelante es mucho menos *peligroso* que caer hacia atrás. En el primer caso, echaremos, como de costumbre, una pierna adelante (o si la velocidad del vehículo es grande, correremos varios pasos) y de esta forma evitaremos la caída. Este es un movimiento *corriente*, que practicamos constantemente al andar. Porque el andar, desde el punto de vista de la mecánica (como ya dijimos en el artículo anterior), no es más que una *serie de caídas de nuestro cuerpo hacia adelante, las cuales se evitan adelantando la pierna correspondiente*. Cuando nos caemos *hacia atrás*, este movimiento de piernas no nos puede salvar y, por lo tanto, el peligro es mayor. En último caso, también tiene importancia el hecho de que, cuando caemos hacia adelante, podemos poner las manos y hacernos menos daño que cuando caemos de espaldas.

De todo esto se deduce, que la seguridad que ofrece el salto hacia adelante se debe más a nosotros mismos que a la acción de la inercia. Está claro, que esta regla no es aplicable a los objetos *inanimados*: una botella lanzada de un vagón hacia adelante, es más probable que se rompa al caer que si se lanza

* En este caso, la caída puede explicarse desde otro punto de vista. (Léase «Mecánica Recreativa», cap. III, el artículo «¿Cuándo la línea horizontal no es horizontal?»).

hacia atrás. Por esta razón, si tenéis que saltar alguna vez de un vagón en marcha, tirando previamente vuestro equipaje, deberéis lanzar éste *hacia atrás* y después saltar *hacia adelante*.

Las personas que tienen experiencia, como los cobradores y revisores de los tranvías, *suelen saltar de espaldas hacia atrás*. Con ello consiguen dos ventajas: una, la de disminuir la velocidad que el cuerpo lleva por inercia, y la otra, la de evitar el peligro de caerse de espaldas, ya que saltan de cara a la dirección de la posible caída.

¡COGER CON LA MANO UNA BALA DISPARADA!

Durante la primera guerra mundial, según información de prensa, a un aviador francés le ocurrió un caso extraordinario. Cuando iba volando a dos kilómetros de altura, este aviador se dio cuenta de que junto a su cara se movía una cosa pequeña. Pensó que sería algún insecto, y, haciendo un ágil movimiento con la mano, lo cogió. Cual sería su sorpresa cuando comprendió, que lo que acababa de cazar era... ¡una bala de fusil alemana!

¿Verdad que esto recuerda los cuentos del legendario barón Münchhausen, que también aseguró haber cogido una bala de cañón con las manos?

No obstante, esta noticia sobre el piloto que cogió la bala, no tiene nada de imposible.

Las balas no se mueven durante todo el tiempo con la velocidad inicial de 800-900 m por segundo, sino que, debido a la resistencia del aire, van cada vez más despacio y al final de su trayectoria, pero antes de empezar a caer, recorren solamente 40 m por segundo. Esta era una velocidad factible para los aeroplanos de entonces. Por consiguiente, la bala y el aeroplano podían volar a una misma velocidad, en un momento dado, y, en estas condiciones, aquélla resultaría inmóvil o casi inmóvil con relación al piloto. Es decir, éste podría cogerla fácilmente con la mano, sobre todo con guante (porque las balas se calientan mucho al rozar con el aire).

SANDIAS-BOMBAS

Si en condiciones determinadas una bala puede resultar inofensiva, también se da el caso contrario, es decir, el de un «cuerpo pacífico», que lanzado a poca velocidad puede producir efectos destructores. Esto es lo que ocurrió cuando, durante la carrera automovilística Leningrado-Tiflis (en el año 1924), los campesinos de los pueblos del Cáucaso saludaban a los auto-

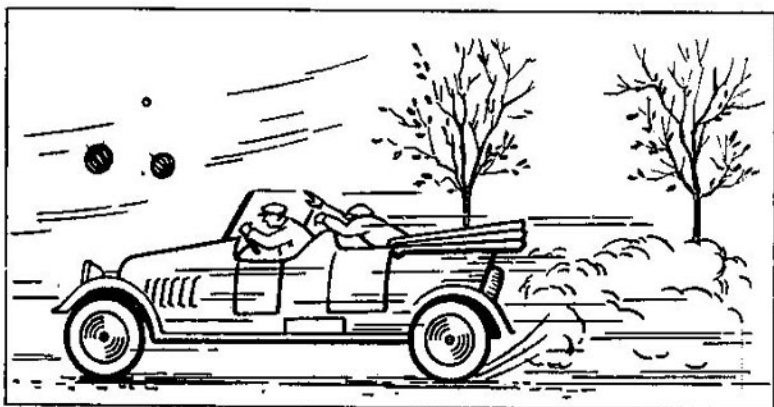


Fig. 21. Las sandías lanzadas en cuento de los veloces automóviles se convierten en «proyectiles».

movilistas, que junto a ellos pasaban a gran velocidad, arrojándoles sandías, melones y manzanas. El efecto que produjeron estos inesperados obsequios fue bastante desagradable. Las sandías y los melones abollaban, hundían y hasta rompían las carrocerías de los coches, mientras que las manzanas lesionaban seriamente a los pasajeros. La causa es comprensible. La velocidad que llevaban los automóviles se sumaba a la de las propias sandías o manzanas y convertía a éstas en peligrosos proyectiles destructores. No es difícil calcular, cómo una sandía de 4 kg, lanzada al encuentro de un automóvil que marcha a 120 km por hora, desarrolla la misma energía que una bala de 10 g de peso.

Claro que, en estas condiciones, el efecto de penetración de la sandía no puede compararse con el de la bala, ya que la primera carece de la dureza de la segunda.

Las grandes velocidades alcanzadas por la aviación a reacción han dado lugar a que, en algunos casos, los choques entre aviones y pájaros motiven averías e incluso catástrofes de aviación. Cabe preguntarse, ¿qué peligro puede representar un pajarillo para una aeronave capaz de transportar decenas de pasajeros? Sin embargo, cuando el avión desarrolla velocidades de 300-500 m/seg, el cuerpo del pájaro puede perforar la cubierta metálica de aquél o los cristales de la cabina del piloto o, si acierta a entrar por la tobera del motor, inutilizarlo por completo. A causa de un choque de este tipo, en 1964 pereció el cosmo-

nauta norteamericano Theodore Fryman, cuando realizaba un vuelo de entrenamiento en un avión a reacción. El peligro de estos encuentros se agrava por el hecho de que los pájaros no temen a los aviones y no se apartan de ellos.

Cuando dos cuerpos cualesquiera se mueven en una misma dirección y con la misma velocidad, no representan ningún peligro el uno para el otro. Cuando una bala disparada contra un avión lleva la misma velocidad que éste, como ya sabemos, es inofensiva para el piloto. El hecho de que los cuerpos que se mueven casi a la misma velocidad pueden ponerse en contacto sin golpe, fue magistralmente utilizado en 1935 por el maquinista Borshchev, el cual consiguió recibir con su tren un grupo de 36 vagones en marcha, sin que se produjera choque, y evitó así una catástrofe ferroviaria. Este suceso tuvo lugar en el ferrocarril del sur, trayecto Elnikov-Olshanka, en las siguientes condiciones: delante del tren que conducía Borshchev iba otro. Este primer tren tuvo que detenerse por falta de presión del vapor. Su maquinista, desenganchó varios vagones y siguió con resto hacia la estación inmediata, dejando los restantes 36 vagones parados en la vía. Estos vagones quedaron sin calzar y, como el terreno era algo pendiente, comenzaron a deslizarse hacia atrás con una velocidad de 15 km por hora, amenazando chocar con el tren de Borshchev. Pero este ingenioso maquinista, se dio cuenta del peligro, paró su tren y dio marcha atrás, haciendo que, poco a poco, tomara también la velocidad de 15 km por hora. Gracias a esta maniobra, consiguió recibir los 36 vagones sobre su tren, sin que se produjera ni el menor desperfecto.

Finalmente, queremos dar a conocer un aparato basado en este mismo principio, que sirve para facilitar extraordinariamente la escritura en los trenes. Cuando se va en tren es difícil

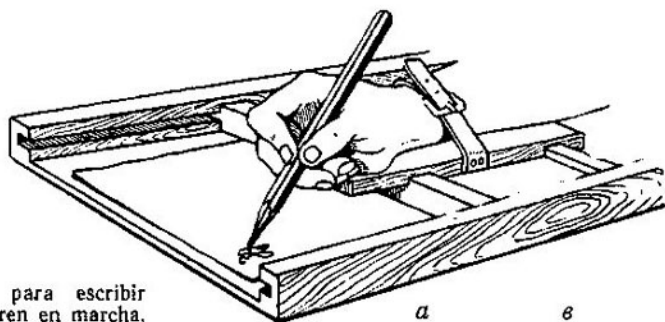


Fig. 22. Dispositivo para escribir cómodamente con el tren en marcha.

escribir, porque el golpeteo de las ruedas del vagón en las juntas de los raíles no se transmite simultáneamente al papel y a la punta de la pluma. Si hacemos que el papel y la pluma reciban la sacudida al mismo tiempo, conseguiremos que entre ellos exista un reposo relativo y, por consiguiente, que no sea difícil la escritura con el tren en marcha.

Esto es precisamente lo que se logra con el aparato representado en la fig. 22. La mano con la pluma se sujeta a la tablilla *a*, la cual puede desplazarse por unas guías sobre los listones *b*; estos últimos pueden deslizarse a su vez por unas ranuras que tiene la tabla que se apoya en la mesita del vagón. Como puede verse, la mano tiene suficiente libertad de movimiento para poder escribir una letra tras otra y cada renglón debajo del anterior; pero toda sacudida que recibe el papel apoyado en la tabla, se transmite inmediatamente, y con la misma fuerza, a la mano que sostiene la pluma. En estas condiciones, la escritura con el tren en marcha es tan cómoda como si el vagón estuviese parado (la única molestia que se nota, es que la vista recorre el papel a saltos, porque la cabeza no recibe las sacudidas al mismo tiempo que la mano).

EN LA PLATAFORMA DE LA BASCULA

Las básculas solamente indican con fidelidad el peso de nuestro cuerpo, cuando nos colocamos en su plataforma y permanecemos quietos completamente. Si nos agachamos, en el momento de hacerlo la balanza señala una disminución de peso. ¿Por qué? Porque los músculos que hacen flexionar la parte superior del cuerpo tiran hacia arriba de su parte inferior y disminuyen así la presión que el cuerpo ejerce sobre la superficie en que se apoya. Por el contrario, en el momento en que dejamos de agacharnos, el esfuerzo de los músculos empuja a ambas partes del cuerpo por separado y la báscula acusa un sensible aumento de peso, que corresponde al aumento de la presión que la parte inferior del cuerpo ejerce sobre la plataforma.

Hasta la simple elevación de los brazos debe determinar en las básculas sensibles una variación, la cual corresponderá a un pequeño aumento aparente del peso de nuestro cuerpo. Porque los músculos que levantan nuestros brazos se apoyan en los hombros y, por consiguiente, empujan a éstos, y a todo el cuerpo, hacia abajo, por lo que la presión sobre la plataforma aumenta. Cuando detenemos el brazo que antes levantábamos, hacemos entrar en acción los músculos antagónicos, los cuales tiran del hombro hacia arriba, tendiendo a acercarlo al extremo

del brazo, con lo que el peso del cuerpo, o mejor dicho, su presión sobre la superficie de apoyo, disminuye.

Cuando bajamos el brazo ocurre lo contrario; en el momento de hacerlo producimos una disminución del peso de nuestro cuerpo, mientras que en el instante en que paramos el brazo aumenta el peso. Es decir, que poniendo en acción nuestras fuerzas internas, podemos aumentar o disminuir el peso de nuestro cuerpo, siempre que por ello se entienda la presión que éste ejerce sobre la superficie en que se apoya.

¿DONDE SON LOS CUERPOS MAS PESADOS?

La fuerza con que la esfera terrestre atrae los cuerpos disminuye a medida que los alejamos de su superficie. Si levantásemos una pesa de 1 kilo a una altura de 6 400 km, es decir, si la alejásemos del centro de la Tierra hasta una distancia igual a dos radios de la misma, la fuerza de atracción disminuiría en 2^2 , es decir, en 4 veces, y esta misma pesa, colocada en una balanza de resorte (dinamómetro), sólo comprimiría su muelle hasta 250 g, en lugar de hasta 1 000. Según la ley de la gravitación universal, la esfera terrestre atrae a los cuerpos que se encuentran fuera de ella, de la misma forma que si toda su masa estuviera concentrada en el centro, y la disminución de esta fuerza atractiva es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. En nuestro caso, la distancia desde la pesa hasta el centro de la Tierra se duplicó y, por consiguiente, la atracción disminuyó en 2^2 , es decir, en cuatro veces. Alejando la pesa hasta 12 800 km de la superficie de la Tierra, es decir, triplicando su distancia hasta el centro de la Tierra, disminuiríamos la atracción en 3^2 , es decir, en 9 veces, y la pesa de 1 000 g sólo pesaría 111 g, y así sucesivamente.

Razonando lógicamente, si hundiéramos esta misma pesa en las entrañas de la Tierra, es decir, si la aproximáramos al centro de nuestro planeta, deberíamos observar un aumento de la atracción. En las profundidades de la Tierra la pesa debería pesar más. Sin embargo, esta suposición es errónea: al profundizar en la Tierra, el peso de los cuerpos no aumenta, sino al contrario, disminuye. Esto se explica, porque, en este caso, las partículas de la Tierra que lo atraen se encuentran ahora, no por un lado del cuerpo, sino por lados distintos. Obsérvese la fig. 23. En ella se ve cómo la pesa que se encuentra en las profundidades de la Tierra es atraída hacia abajo por las partículas que se encuentran debajo de ella, pero al mismo tiempo es atraída también hacia arriba, por las partículas que se encuentran encima. Puede demostrarse, que, en fin de cuentas, solamente tiene importancia

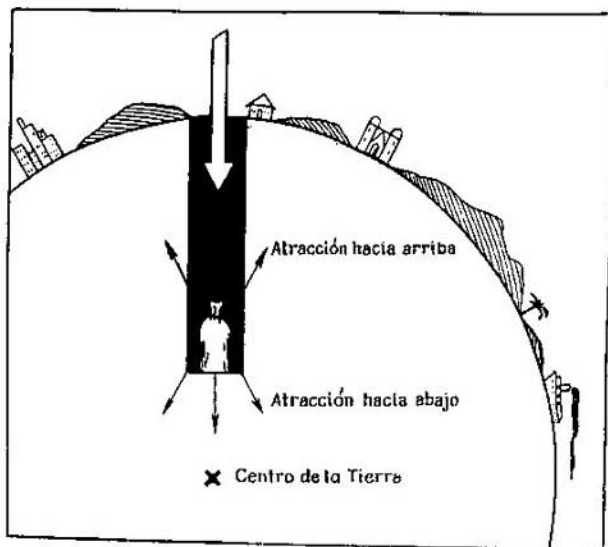


Fig. 23. Explicación de por qué al ir penetrando en la Tierra disminuye la gravedad.

la atracción que ejerce la esfera cuyo radio es igual a la distancia que hay desde el centro de la Tierra hasta el sitio en que se encuentra el cuerpo. Por esto, a medida que el cuerpo se va introduciendo a mayor profundidad en la Tierra, su peso va disminuyendo rápidamente. Al llegar al centro de la Tierra, el cuerpo pierde su peso por completo, es decir, se hace ingrávido, ya que las partículas que lo rodean lo atraen en todas direcciones con igual fuerza.

De todo lo antedicho se deduce, que donde los cuerpos pesan más, es en la misma superficie de la Tierra, y que a medida que se alejan de ella, sea hacia fuera o hacia dentro, su peso disminuye*.

¿CUANTO PESA UN CUERPO CUANDO CAE?

¿Habéis notado la sensación tan extraña que produce el *comienzo de la bajada* en un ascensor? Es algo así como la ligereza anormal que siente una persona que se despeña. Esto no es, ni

* Así ocurriría efectivamente si la esfera terrestre tuviera una densidad homogénea, pero en realidad, la densidad de la Tierra va aumentando al acercarse a su centro. Por esto, al profundizar en la Tierra, al principio hay un cierto espacio en que la fuerza de la gravedad aumenta, pero después comienza a disminuir.

más ni menos, que la *sensación de ingravidez*. En el primer instante, cuando el suelo del ascensor comienza a descender, pero nosotros no tenemos aún una velocidad igual a la suya, nuestro cuerpo apenas si presiona sobre él y, por consiguiente, *pesa* muy poco. En cuanto pasa este instante, desaparece esta extraña sensación, nuestro cuerpo tiende a descender más de prisa que el ascensor (que baja con movimiento uniforme) y presiona sobre su suelo, es decir, vuelve a recobrar por completo su peso ordinario.

Colguemos una pesa del gancho de un dinamómetro y observemos hacia dónde se desvía el índice, si bajamos rápidamente la balanza con la pesa (para mayor comodidad se puede colocar un trocito de corcho en la ranura de la balanza y ver cómo varía su posición). Nos convenceremos de que, durante este rápido movimiento, el índice no marca el peso total de la pesa, sino bastante menos. Si la balanza cayera libremente yuviésemos la posibilidad de observar el índice en estas condiciones, comprobaríamos que la pesa, durante la caída, no pesa nada en absoluto, es decir, que el índice marcaría cero.

Los cuerpos más pesados se hacen ingravidos durante su caída. No es difícil comprender por qué. Todo se reduce a que, generalmente, llamamos «peso» de un cuerpo a la fuerza con que éste tira del punto en que está colgado o presiona sobre la superficie en que se apoya. Pero cuando el cuerpo *cae*, no tira del muelle de la balanza, ya que ésta también cae. En estas condiciones, el cuerpo que cae ni estira ni aprieta nada. Por consiguiente, preguntar cuánto pesa un cuerpo cuando cae, es lo mismo que preguntar cuánto pesa un cuerpo ingravido.

Galileo, el fundador de la mecánica, escribía ya en el siglo XVII*: «Nosotros sentimos una carga sobre nuestros hombros, cuando procuramos evitar su caída. Pero si comenzamos a movernos hacia abajo con la misma velocidad que lo hace la carga que descansa sobre nuestras espaldas, ¿cómo es posible que ésta nos oprima o moleste? Esto es lo mismo que querer herir con una lanza** a alguien que corriera delante de nosotros y con la misma velocidad».

El sencillo experimento que describimos a continuación confirma claramente estos razonamientos.

Coloquemos un cascanueces en uno de los platillos de una balanza de brazos, de forma, que una de las palancas de aquél descansa en el mismo platillo, mientras que la otra la atamos

* En sus «Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica ed i movimenti locali».

** Sin soltarla de la mano. — Y.P.

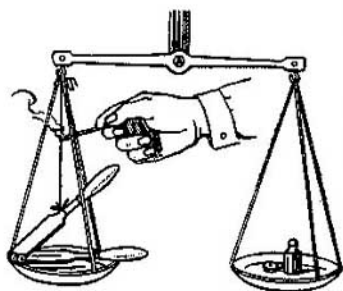


Fig. 24. Experimento para demostrar la ingravidez de los cuerpos que caen.

con un hilo al gancho del brazo (fig. 24). Hecho esto, pongamos en el otro platillo pesas, hasta que la balanza quede equilibrada. Si acercamos entonces una cerilla encendida al hilo, éste arderá y la palanca superior del cascanueces caerá también en el platillo.

Pero, ¿qué ocurrirá en este momento con la balanza? ¿Bajará, subirá o seguirá en equilibrio, el platillo del cascanueces, mientras cae la segunda palanca?

Ahora, cuando ya sabemos que los cuerpos que caen no pesan, podemos dar por anticipado una respuesta acertada a esta pregunta: el platillo subirá durante un momento.

Efectivamente, la palanca superior del cascanueces, al caer, aunque sigue unida a él, presiona menos que cuando estaba sujeta. El peso del cascanueces disminuye durante un instante y, como es natural, el platillo sube.

DE LA TIERRA A LA LUNA

Allá por los años 1865—1870 apareció en Francia la novela fantástica de Julio Verne «De la Tierra a la Luna», en la cual se expone una idea extraordinaria: la de enviar a la Luna un gigantesco proyectil tripulado, disparándolo con un cañón. Julio Verne describe su proyecto de una forma tan verosímil, que la mayoría de sus lectores se harían seguramente la pregunta: ¿no se podría realizar esta idea? Creemos que será interesante decir unas palabras sobre esto*.

Primero, veamos si es posible, siquiera sea teóricamente, disparar un cañón de tal manera, que el proyectil no vuelva a caer en la Tierra. La teoría admite esta posibilidad. En efecto, ¿por qué todo proyectil disparado horizontalmente por un cañón acaba cayendo en la Tierra? Porque la Tierra atrae a dicho proyectil y hace que su trayectoria se tuerza y no siga una línea recta, sino una curva dirigida hacia el suelo, que tarde o tem-

* Ahora, después de haber sido lanzados los primeros satélites de la Tierra (Spútnik) y los primeros cohetes cósmicos, podemos decir, que para los viajes cósmicos se emplearán cohetes y no proyectiles. No obstante, el movimiento de estos cohetes, después de cesar el impulso de la última etapa, está sometido a las mismas leyes que rigen el movimiento de los proyectiles de artillería. Por esta razón, el texto del autor no ha perdido actualidad (N. de la Edit.).

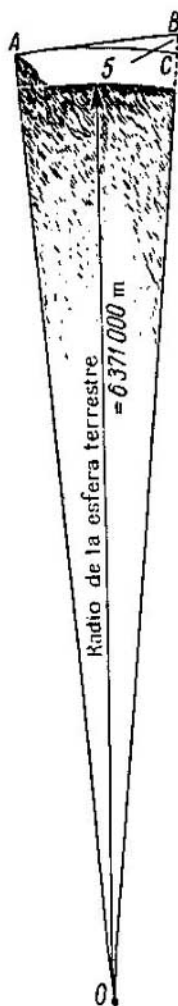
Fig. 25. Cálculo de la velocidad de un proyectil que debe abandonar a Tierra para siempre.

prano acaba encontrándose con él. Es verdad que la superficie de la Tierra también es curva, pero la curvatura de la trayectoria del proyectil es mucho más cerrada. Si disminuyendo la curvatura de la trayectoria del proyectil se consigue igualarla a la curvatura de la superficie de la esfera terrestre, este proyectil no caerá nunca en la Tierra, sino que seguirá una curva concéntrica a su superficie, o dicho en otras palabras, se convertirá en satélite de la Tierra, es decir, en una nueva Luna.

Pero, ¿cómo conseguir que un proyectil, disparado por un cañón, siga una trayectoria cuya curvatura sea menor que la de la superficie terrestre? Para esto no hay más que comunicar suficiente velocidad a dicho proyectil. Prestemos atención a la fig. 25, la cual representa el corte de un sector de la esfera terrestre. El cañón se encuentra en el punto A de una montaña. Un proyectil lanzado horizontalmente por este cañón, se encontraría al cabo de un segundo en el punto B, si la Tierra no ejerciera atracción sobre él. Pero la atracción modifica este cuadro, haciendo, que al segundo de ser disparado, el proyectil se encuentre 5 m más bajo que el punto B, es decir, en el punto C. Cinco metros es el camino, que, durante el primer segundo, recorre en el vacío todo cuerpo que cae libremente cerca de la superficie de la Tierra. Si después de descender esos 5 m, nuestro proyectil se encuentra exactamente a la misma distancia de la superficie de la Tierra que cuando estaba en el punto A, quiere decir, que se mueve siguiendo una curva concéntrica a la superficie de la esfera terrestre.

Nos queda calcular el segmento AB (fig. 25), es decir, el camino que recorre el proyectil, en dirección horizontal, durante el primer segundo, con lo cual, conoceremos la velocidad por segundo que hay que comunicarle, cuando sale del cañón, para conseguir nuestro fin. Este cálculo no es difícil si partimos del triángulo AOB, en el que OA es el radio de la esfera terrestre (cerca o 6 370 000 m); $OC = OA$ y $BC = 5$ m; por consiguiente, $OB = 6\,370\,005$ m. Aplicando el teorema de Pitágoras, tenemos:

$$(AB)^2 = (6\,370\,005)^2 - (6\,370\,000)^2.$$



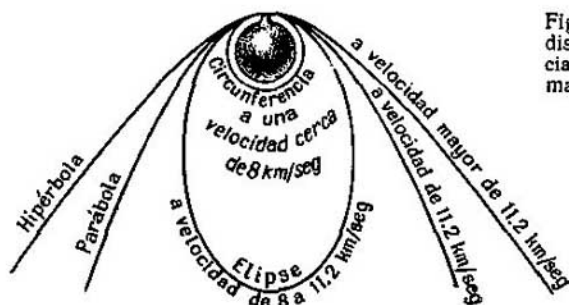


Fig. 26. Trayectoria del proyectil disparado con una velocidad inicial de 8 km/seg y con velocidades mayores.

Haciendo los cálculos hallamos, que AB es aproximadamente igual a 8 km.

Es decir, si no existiera el aire, que opone una gran resistencia a todo movimiento rápido, un proyectil disparado horizontalmente con velocidad inicial de 8 km/seg *no caería nunca a la Tierra*, sino que eternamente daría vueltas alrededor de ella como un satélite.

¿Y si el proyectil se disparase con una velocidad todavía mayor, hacia dónde volaría? La mecánica celeste demuestra, que si un proyectil sale disparado con una velocidad de 8, 9 e incluso 10 km/seg, debe describir elipses alrededor de la Tierra, las cuales serán tanto más alargadas cuanto mayor sea la velocidad inicial. Si esta velocidad alcanza 112 km/seg, en lugar de elipses, el proyectil describirá una curva abierta, es decir, una parábola, y se alejará para siempre de la Tierra (fig 26).

Por consiguiente, como acabamos de ver, teóricamente es posible llegar a la Luna en una bala de cañón, siempre que ésta sea disparada con suficiente velocidad*.

(Para hacer las reflexiones anteriores partimos de la suposición de que la atmósfera no dificulta el movimiento de los proyectiles. En realidad, la atmósfera ofrece una resistencia que entorpece extraordinariamente la consecución de tan grandes velocidades y que quizá las haga totalmente irreales.)

* No obstante, se presentan dificultades de tipo completamente diferente. Este problema se examina más concretamente en el libro segundo de «Física Recreativa» y en mi libro «Viajes Interplanetarios».

EL VIAJE A LA LUNA, SEGUN JULIO VERNE Y TAL COMO TENDRIA QUE REALIZARSE

Todo el que haya leído la citada obra de Julio Verne recordará un interesante momento del viaje, aquél en que el proyectil atraviesa el punto donde la atracción de la Tierra es igual a la de la Luna. En este momento ocurrió algo verdaderamente fantástico: todos los objetos que había dentro del proyectil perdieron su peso y los propios viajeros, saltaban y quedaban suspendidos en el aire sin apoyarse en ninguna parte.

Todo esto está escrito con absoluta veracidad, pero el novelista no tuvo en cuenta que esto debería ocurrir también antes y después de pasar por el punto de igual atracción. Es fácil demostrar, que tanto los pasajeros, como todos los objetos que había dentro del proyectil, tenían que encontrarse en estado de ingravidez desde el instante en que comenzó el vuelo libre.

Esto parece inverosímil, pero estoy seguro de que cada lector se asombrará ahora de que él mismo no haya descubierto antes este descuido tan importante.

Tomemos un ejemplo de esta misma novela de Julio Verne. El lector recordará cómo los pasajeros tiraron fuera el cadáver del perro y cómo ellos mismos se asombraron al ver que éste no caía a la Tierra, sino que continuaba avanzando en el espacio junto al proyectil. El novelista describe perfectamente este fenómeno y le dio una explicación acertada. Efectivamente, en el vacío, como sabemos, todos los cuerpos cean con la misma velocidad, porque la atracción de la Tierra transmite a todos ellos la misma aceleración. En nuestro caso, tanto el proyectil, como el cadáver del perro, por efecto de la atracción de la Tierra tendrían que alcanzar la misma velocidad de caída (es decir, la misma aceleración), o mejor dicho, la velocidad que adquirieron al ser disparados tendría que ir disminuyendo por igual. Por consiguiente, las velocidades respectivas, del proyectil y del cadáver del perro, tenían que ser iguales entre sí en todos los puntos de la trayectoria que siguieron, por cuya razón, al tirar dicho cadáver, éste siguió tras ellos sin quedarse atrás.

Pero he aquí, precisamente, aquello en que no pensó el novelista: si el cadáver del perro no cae a la Tierra estando fuera del proyectil, ¿por qué tiene que caer estando dentro de él? ¿No actúan acaso las mismas fuerzas en uno y otro caso? Si el cuerpo del perro se sitúa dentro del proyectil, de forma que no se apoye en ninguna parte, tiene que quedarse suspendido en el espacio, ya que tiene exactamente la misma velocidad que el proyectil y, por consiguiente, con relación a él se encuentra en reposo.

Indudablemente, todo lo que es verdad cuando nos referimos al perro, también lo es con respecto a los cuerpos de los pasajeros y, en general, con relación a todos los objetos que se encuentran dentro del proyectil, los cuales, en cada punto de la trayectoria que recorren, tienen la misma velocidad que éste y, por consiguiente, no pueden caerse aunque pierdan su punto de apoyo. Una silla que se encuentre en el suelo del proyectil en vuelo, puede ponerse patas arriba en el techo, sin temor a que caiga «hacia abajo», ya que continuará avanzando junto con el techo. Culquier pasajero puede sentarse en esta silla sin sentir ni la más ligera tendencia a caerse al suelo del proyectil. ¿Qué fuerza puede obligarle a caer? Si se cayera, es decir, si se aproximara al suelo, esto significaría que el proyectil avanza en el espacio a más velocidad que sus pasajeros (de lo contrario la silla no se caería). Pero esto es imposible, ya que, como sabemos, todos los objetos que hay dentro del proyectil tienen la misma aceleración que él.

Por lo visto, el novelista no se dio cuenta de esto: él pensó, que dentro del proyectil, en vuelo libre, los objetos seguirían presionando sobre sus puntos de apoyo, de la misma manera que presionan cuando el proyectil está inmóvil. Julio Verne se olvidó de que, todo cuerpo pesado presiona sobre la superficie en que se apoya, mientras esta superficie permanece inmóvil o se mueve uniformemente, pero cuando el cuerpo y su apoyo se mueven en el espacio con igual aceleración, no pueden hacer presión el uno sobre el otro (siempre que esta aceleración sea motivada por fuerzas exteriores, por ejemplo, por el campo de atracción de los planetas, y no por el funcionamiento del motor de un cohete).

Esto quiere decir, que desde el momento en que los gases cesaron de actuar sobre el proyectil, los pasajeros perdieron su peso, hasta poder nadar en el aire dentro de aquél, de la misma manera que todos los objetos que iban en el proyectil parecían totalmente ingrávidos. Este indicio podía haber servido a los pasajeros para determinar con facilidad si iban volando ya por el espacio o si seguían quietos dentro del ánima del cañón. Sin embargo, el novelista nos cuenta cómo durante la primera media hora de viaje sideral, sus pasajeros se rompían inútilmente la cabeza sin poder responderse a sí mismos, ¿volamos o no?

«— Nicholl, ¿nos movemos?»

Nicholl y Ardan se miraron. No sentían las vibraciones del proyectil.

— Efectivamente, ¿nos movemos? — repitió Ardan.

— ¿O estamos tranquilamente en el suelo de la Florida? — preguntó Nicholl.

— ¿O en el fondo del Golfo de México? — añadió Michel.

Estas dudas pueden tenerlas los pasajeros de un barco, pero es absurdo que las tengan los de un proyectil en vuelo libre, ya que los primeros conservan su peso, mientras que los segundos, es imposible que no se den cuenta de que se hacen totalmente ingrávidos.

¡Qué fenómeno tan raro debía ser este fantástico proyectil! Un pequeño mundo, donde los cuerpos no pesan, y, una vez que los suelta la mano, siguen tranquilamente en su sitio; donde los objetos conservan su equilibrio en cualquier posición; donde el agua no se derrama cuando se inclina la botella que la contiene... El autor de «De la Tierra a la Luna» no tuvo en cuenta todo esto, y sin embargo, ¡qué perspectiva tan amplia ofrecían estas maravillosas posibilidades a la fantasía del novelista!

Los primeros en llegar al extraordinario mundo de la ingravidez, fueron los cosmonautas soviéticos. Millones de personas pudieron seguir sus vuelos por medio de la televisión y ver en sus pantallas cómo quedaban suspendidos en el aire los objetos que ellos soltaban, y cómo flotaban en sus cabinas y hasta fuera de la nave, los propios cosmonautas.

¿COMO PESAR BIEN EN BALANZAS INEXACTAS?

¿Qué es más importante para pesar bien, la balanza o las pesas?

El que piense que tan importante es una cosa como la otra, se equivoca. Se puede pesar bien, aun careciendo de balanzas exactas, siempre que se tengan a mano buenas pesas. Existen varios procedimientos de hacerlo. Examinemos dos de ellos.

El primero fue propuesto por el gran químico ruso D. Mendeleiev*. Según este procedimiento, para comenzar la pesada, se coloca en uno de los platillos de la balanza un cuerpo cualquiera, con tal de que pese más que el objeto que se desea pesar. Este cuerpo se equilibra colocando pesas en el otro platillo. Hecho esto, se coloca el objeto que se desea pesar en el platillo donde están las pesas y se quitan de éste cuantas pesas sean necesarias para que se restablezca el equilibrio. El peso total de las pesas quitadas será, evidentemente, igual al peso del objeto en cuestión, ya que este objeto sustituye ahora a dichas pesas, en

* Algunos escriben equivocadamente Mendeleieff y otros Mendelejev (N. del T.)

el mismo platillo en que ellas estaban y, por consiguiente, pesa lo mismo que ellas.

Este procedimiento, que suele denominarse «procedimiento del peso constante», es muy cómodo cuando hay que pesar sucesivamente varios objetos. En este caso el peso inicial se conserva y se emplea para todas las pesadas.

El otro procedimiento es el «de Borda», el cual debe su nombre al científico que lo propuso. Consiste en lo siguiente:

El objeto que se desea pesar se coloca en uno de los platillos de la balanza y se equilibra echando en el otro platillo arena o perdigones. Después, se quita del platillo el objeto (sin tocar la arena) y se colocan en su lugar pesas, hasta restablecer el equilibrio. Está claro, que, en este caso, el peso total de las pesas será igual al del objeto que sustituyen. De aquí proviene la denominación de «pesada por sustitución» que también se da a este procedimiento.

En las balanzas de resorte, que sólo tienen un platillo, también se puede emplear este procedimiento, siempre que se disponga de pesas exactas. En este caso no es necesario tener ni arena ni perdigones. Basta colocar el objeto en el platillo y anotar la división de la escala que marca el índice. Después, se quita el objeto y se colocan en el platillo cuantas pesas sean necesarias para que el índice vuelva a marcar la misma división que antes. El peso total de estas pesas será igual al del objeto que sustituyen.

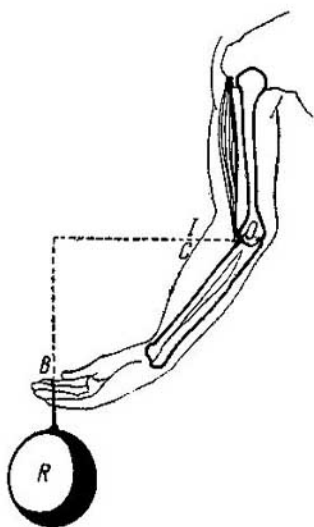
MAS FUERTE QUE UNO MISMO

¿Qué peso puede usted levantar con una mano? Supongamos que sean 10 kg. ¿Cree usted que estos 10 kg determinan la fuerza de sus músculos? Se equivoca... ¡sus músculos son mucho más fuertes! Sigamos atentamente, por ejemplo, la acción del músculo llamado bíceps braquial (fig. 27). Este músculo está sujeto cerca del punto de apoyo de la palanca formada por el hueso del antebrazo (es decir, en la tuberosidad bicipital del radio. — *N. del T.*), mientras que el peso a levantar actúa sobre el otro extremo de esta misma palanca viva. La distancia que hay desde el peso hasta el punto de apoyo, es decir, hasta la articulación, es casi 8 veces mayor que la que hay desde el extremo del músculo a este mismo punto de apoyo. Por consiguiente, si el peso tiene 10 kg, el músculo tira de él con una fuerza 8 veces mayor. Es decir, que este músculo desarrolla 8 veces más fuerza que la mano, y, por lo tanto, podría levantar directamente, no 10 kg, sino 80 kg.

Fig. 27. El antebrazo C del hombre es una palanca de segundo género. La fuerza que actúa se aplica en el punto I ; el apovo de la palanca se encuentra en el punto O de la articulación; la resistencia que se vence (la pesa P) está aplicada en el punto B . La distancia BO es, aproximadamente, 8 veces mayor que la IO .

Puede decirse sin exagerar, que toda persona es mucho más fuerte que ella misma, es decir, que nuestros músculos desarrollan una fuerza considerablemente mayor que aquella que se exterioriza en nuestras acciones.

¿Es conveniente acaso esta estructuración del cuerpo humano? A primera vista, no, porque nos encontramos con una pérdida de fuerzas que no se compensa con nada. No obstante, recordemos que la vieja «ley de oro» de la mecánica dice, que: lo que se pierde en fuerza se gana en velocidad. Esto es precisamente lo que ocurre con nuestros músculos, los cuales hacen que nuestros brazos se muevan 8 veces más de prisa que ellos mismos. El procedimiento de sujeción de los músculos que observamos en los animales, hace que sus extremidades se muevan con rapidez, lo cual tiene más importancia para la lucha por la existencia que la propia fuerza. Si nuestros brazos y piernas no estuvieran constituidos así, seríamos unos seres con movimientos extraordinariamente lentos.



¿POR QUE PINCHAN LOS OBJETOS AFILADOS?

¿Habéis pensado alguna vez por qué una aguja penetra tan fácilmente a través de un cuerpo? ¿Por qué un paño o un cartón se puede atravesar fácilmente con una aguja delgada, mientras que cuesta trabajo hacer lo mismo con un clavo romo? Al parecer, en ambos casos actúa una misma fuerza.

La fuerza, efectivamente, es la misma, pero la *presión* es diferente. En el primer caso, toda la fuerza se concentra en la punta de la aguja; en el segundo, esta misma fuerza se distribuye por toda la superficie del extremo del clavo. Por lo tanto, la presión que ejerce la aguja es considerablemente mayor que la que ejerce el clavo romo, aunque el esfuerzo que hagamos con la mano sea igual en ambos casos.

Cualquier campesino puede decir, que una grada de 20 dientes desmenuza la tierra más profundamente que otra, de igual

peso, pero con 60 dientes. ¿Por qué? Pues, porque *la carga sobre cada diente*, en el primer caso, es mayor que en el segundo.

Cuando hablamos de presión, siempre hay que tener en cuenta, además de la fuerza, la superficie sobre la cual actúa. Si nos dicen que una persona recibe un sueldo de 100 rublos, seguiremos sin saber si esto es mucho o poco, hasta que no nos aclaren si es al mes o al año. De la misma manera, la acción de una fuerza depende de si se distribuye sobre un centímetro cuadrado o se concentra en la centésima parte de un milímetro cuadrado.

Un hombre puede andar perfectamente por la nieve blanda cuando lleva esquís, pero sin ellos se hunde. ¿Por qué? Pues, porque, en el primer caso, la presión de su cuerpo se distribuye sobre una superficie considerablemente mayor que en el segundo. Si los esquís tienen, por ejemplo, una superficie 20 veces mayor que la suela de nuestros zapatos, cuando marchamos sobre aquéllos, ejercemos sobre la nieve una presión 20 veces menor que cuando lo hacemos a pie. La nieve blanda resiste la primera presión, pero no la segunda.

Por esta misma razón, a los caballos que trabajan en terrenos pantanosos se les atan unos «zapatones» a los cascos, para aumentar de esta forma la superficie de apoyo de las patas y disminuir la presión sobre el suelo. Así se consigue que los caballos no se hundan en el pantano. En algunas regiones pantanosas también las personas usan artificios semejantes.

Si alguna circunstancia nos obliga a cruzar en invierno un río, o lago, cuya capa de hielo sea poco profunda, deberemos hacerlo a rastras, para distribuir así el peso del cuerpo sobre una superficie mayor.

Finalmente, la particularidad característica de los tanques y de los tractores orugas, de no atascarse en los suelos blandos aunque suelen ser muy pesados, también se explica por el hecho de que su peso está distribuido sobre una gran superficie de apoyo. Las orugas de cualquier máquina de este tipo, que pese 8 o más toneladas, ejercen sobre el suelo menos de 600 g de presión por centímetro cuadrado. Desde este punto de vista, también es interesante el camión con orugas para el transporte de cargas por los pantanos. Este camión, con dos toneladas de carga, sólo ejerce sobre el suelo una presión de 160 g/cm², gracias a lo cual, puede atravesar perfectamente turberas y arenales.

En este caso, las grandes superficies de apoyo resultan tan ventajosas, desde el punto de vista técnico, como en el caso de la aguja lo era la superficie pegueña.

De lo dicho se deduce, que la facilidad que tienen los objetos

puntiagudos para horadar, se debe, únicamente, a que la fuerza que sobre ellos actúa se reparte sobre una superficie muy pequeña.

Por esta misma causa, los cuchillos afilados cortan mejor que los que están embotados, ya que la fuerza se concentra en ellos sobre un espacio menor.

Es decir, los objetos afilados pinchan y cortan bien, porque en sus puntas y filos se concentra una gran presión.

COMO LEVIATAN

¿Por qué resulta más duro el asiento de un banquillo que el de una silla, aunque los dos sean de madera? ¿Por qué se está blando acostado en una hamaca, aunque sus mallas estén tejidas con cordones bastante duros? ¿Por qué son blandos los sommier de alambre?

No es difícil imaginárselo. El asiento del simple banquillo, es plano, y cuando nos sentamos en él, nuestro cuerpo sólo tiene una pequeña superficie de contacto, en la cual se concentra todo su peso. La silla, por el contrario, tiene el asiento cóncavo, lo cual hace que su superficie de contacto con el cuerpo sea mayor y que por toda esta superficie se distribuya el peso. En este caso, cada unidad de superficie soporta menos carga y, por lo tanto, menos presión.

Es decir, todo se reduce a que la presión está distribuida de una forma más regular. Cuando descansamos en una cama blanda, en el colchón se forma un hueco que se adapta a la forma de nuestro cuerpo. La presión se distribuye bastante regularmente por toda la superficie de nuestra mitad inferior, con lo cual, cada centímetro cuadrado soporta solamente unos cuantos gramos. No es de extrañar que, en estas condiciones, estemos cómodos.

Esto puede expresarse fácilmente en cifras. La superficie del cuerpo de una persona adulta es igual, aproximadamente, a 2 metros cuadrados ó 20 000 centímetros cuadrados. Supongamos que, cuando estamos tendidos en la cama, la parte de nuestro cuerpo que está en contacto con ella, y que siente la presión, es aproximadamente igual a 1/4 de la superficie total del mismo, es decir, a 0,5 metros cuadrados, ó 5 000 centímetros cuadrados. Por término medio, el cuerpo humano pesa unos 60 kg ó 60 000 g, esto quiere decir, que cada centímetro cuadrado soporta solamente 12 g. En cambio, cuando nos tendemos sobre una tabla lisa, nuestro contacto con la superficie de apoyo se reduce a varias partes pequeñas, cuyo área suma en total un centenar de centímetros cuadrados. Por consiguiente, sobre cada

centímetro cuadrado recae ahora una presión de medio kilogramo, en vez de una decena de gramos. La diferencia es considerable y nuestro cuerpo la siente inmediatamente; por eso decimos que la tabla «está dura».

Pero hasta el lecho *más duro* puede parecer blando, siempre que la presión de nuestro cuerpo se distribuya regularmente sobre una gran superficie. Supongamos, por ejemplo, que nos tendemos sobre arcilla blanda y que la huella de nuestro cuerpo queda grabada en ella. Si nos levantamos y dejamos que se seque la arcilla (al secarse, la arcilla se contrae en un 5—10%, pero admitamos que esto no ocurre), hasta ponerse dura como la piedra, y después volvemos a echarnos en el hueco que antes dejamos en este molde pétreo, nos sentiremos en él lo mismo que en un colchón de plumas, a pesar de su dureza. Es decir, nos pareceremos al Leviatán de los versos de Lomonosov:

Para acrecentar su fuerza,
Yace sobre agudas rocas,
Desdeñando su dureza,
Cual si fueran blando limo.

Pero la causa de que no sintamos la dureza de este lecho, no será nuestra «gran fuerza», sino la buena distribución del peso de nuestro cuerpo sobre una gran superficie de apoyo.

Durante el despegue y el aterrizaje de las naves cósmicas los cosmonautas soportan grandes sobrecargas. Su peso puede aumentar de 10 a 14 veces. Para que puedan resistir estas sobrecargas sin perjuicio para su salud, sus asientos se fabrican con un plástico especial, al que se le da la forma exacta del cuerpo.

LA BALA Y EL AIRE

Todo el mundo sabe que el aire dificulta el vuelo de las balas, pero son pocos los que tienen una idea clara de lo enorme que es el efecto retardador del aire. La mayoría de las personas piensan, que un medio tan delicado como el aire, cuya resistencia ni sentimos siquiera, no puede dificultar sensiblemente el rápido vuelo de una bala de fusil.

Pero fijémonos en la fig. 28 y veremos, que el aire es un obstáculo de extraordinaria importancia para la bala. El arco mayor de esta figura representa la trayectoria que seguiría la bala si no existiese la atmósfera. Después de salir del cañón (con un ángulo de elevación de 45° y una velocidad inicial de 620 m/seg), la bala describiría un enorme arco de 10 km de altura y su alcance sería de cerca de 40 km. Pero en realidad, una bala disparada con el ángulo de elevación y la velocidad inicial antedichos, describe un arco de curva relativamente pequeño y sólo alcanza 4 km. Este arco casi no se nota en la figura al lado del primero. ¡He aquí el resultado de la resistencia del aire! Si no fuera por él, se podría disparar con fusil contra un enemigo que se encontrase a 40 km, lanzando una lluvia de plomo a... ¡10 km de altura!

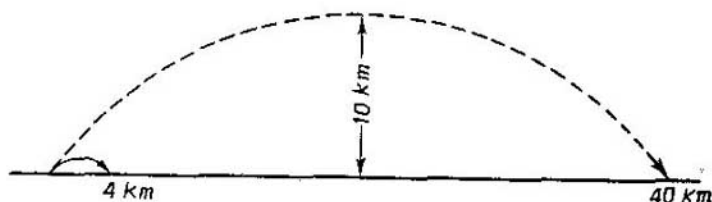


Fig. 28. El vuelo de una bala en el vacío y en el aire. El arco mayor representa la trayectoria que seguiría la bala si no existiera la atmósfera. El arco menor, la trayectoria real de la bala en el aire.

TIRO DE GRAN ALCANCE

Al final de la primera guerra mundial (1918), cuando los éxitos de la aviación francesa e inglesa dieron fin a las incursiones aéreas enemigas, la artillería alemana puso en práctica, por primera vez en la historia, el bombardeo de ciudades enemigas situadas a más de cien kilómetros de distancia. El estado mayor alemán decidió emplear este nuevo procedimiento para batir la capital francesa, la cual se encontraba a más de 110 km del frente.

Hasta entonces nadie había probado este procedimiento. Los propios artilleros alemanes lo descubrieron casualmente. Ocurrió esto al disparar un cañón de gran calibre con un gran ángulo de elevación. Inesperadamente, sus proyectiles alcanzaron 40 km, en lugar de los 20 calculados. Resultó, que estos proyectiles, al ser disparados hacia arriba con mucha inclinación y gran velocidad inicial, alcanzaron las altas capas de la atmósfera, en las cuales, debido al enrarecimiento, la resistencia del aire es insignificante. En este medio poco resistente es donde el proyectil recorrió la mayor parte de su trayectoria, después de lo cual cayó casi verticalmente a tierra. La fig. 29 muestra claramente la gran variación que experimentan las trayectorias de los proyectiles al cambiar el ángulo de elevación.

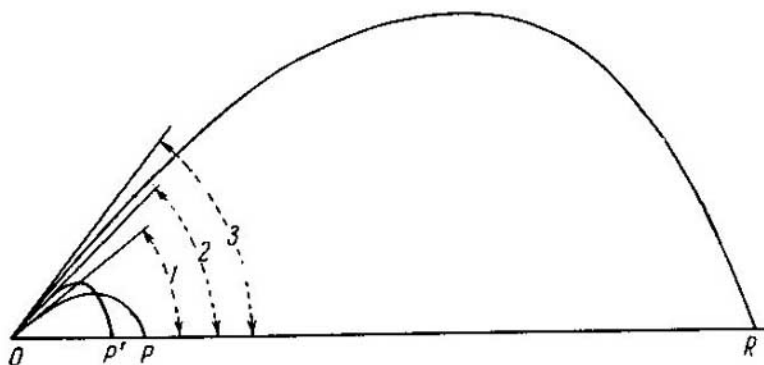


Fig. 29. Variación del alcance de un proyectil al ir variando el ángulo de elevación de un cañón de ultralargo alcance. Con el ángulo 1 el proyectil cae en el punto P ; con el ángulo 2, en el P' ; con el ángulo 3, el alcance aumenta de golpe en varias veces, puesto que la trayectoria del proyectil pasa por capas rarificadas de la atmósfera.

Fig. 30. El cañón alemán «Gran Bertha». Aspecto exterior.

Esta observación sirvió de base a los alemanes para proyectar un cañón de gran alcance, para bombardear París desde una distancia de 115 km. Este cañón terminó de fabricarse con éxito, y durante el verano de 1918 lanzó sobre París más de trescientos proyectiles.

He aquí lo que después se supo de este cañón.

Consistía en un enorme tubo de acero de 34 m de largo y un metro de grueso. El espesor de las paredes de la recámara era de 40 cm. Pesaba en total 750 t. Sus proyectiles tenían un metro de largo y 21 cm de grueso, y pesaban 120 kg. Su carga requería 150 kg de pólvora y desarrollaba una presión de 5 000 atmósferas, la cual disparaba el proyectil con una velocidad inicial de 2 000 m/seg. El fuego se hacía con un ángulo de elevación de 52° y el proyectil describía un enorme arco, cuyo vértice o punto culminante se encontraba a 40 km de altura sobre la tierra, es decir, bien entrado en la estratosfera. Este proyectil tardaba en recorrer los 115 km, que mediaban entre el emplazamiento del cañón y París, 3,5 minutos, de los cuales, 2 minutos volaba por la estratosfera.

Estas eran las características del primer cañón de ultralargo alcance, antecesor de la moderna artillería de este género.

Cuando mayor sea la velocidad inicial de la bala (o del proyectil), tanto mayor será la resistencia del aire. El aumento de esta resistencia no es proporcional al de la velocidad, sino más rápido, es decir, proporcional al cuadrado, al cubo y a potencias aún mayores del aumento de la velocidad, según el valor que ésta alcance.



¿POR QUE SE REMONTAN LAS COMETAS?

Las cometas se remontan cuando tiramos de la cuerda hacia adelante, ¿por qué?

Todo aquel que sepa responder a esta pregunta puede explicarse también por qué vuelan los aviones, por qué se trasladan por el aire las semillas de algunas plantas, e incluso, cuáles son las causas que de-

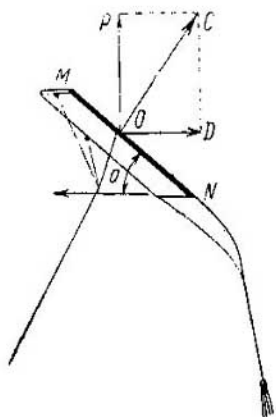


Fig. 31. Fuerzas que actúan sobre la cometa.

terminan los extraños movimientos del bumerang. Todos estos movimientos son del mismo género. El mismo aire que se opone a que vuelen las balas y los proyectiles, es el que hace posible el vuelo, no sólo de las ligeras semillas y las cometas de papel, sino también de los pesados aviones que transportan decenas de pasajeros.

Para explicar cómo se eleva la cometa, recurriremos al dibujo simplificado de la fig. 31. Supongamos que la línea MN representa el corte de la cometa. Cuando al echar la cometa tiramos de su cuerda, aquélla avanza en posición inclinada, debido al peso de la cola. Convengamos en que este avance se realiza de derecha a izquierda; designemos el ángulo de inclinación del plano de la cometa, respecto al horizonte, con la letra α , y examinemos qué fuerzas actúan sobre la cometa al efectuarse este movimiento. El aire, como es natural, debe entorpecer el avance, ejerciendo cierta presión sobre la cometa. Esta presión está representada en la fig. 31 por medio de la flecha OC . Como quiera que el aire presiona siempre en dirección perpendicular al plano, la línea OC formará en el dibujo un ángulo recto con la MN . La fuerza OC se puede dividir en dos, construyendo lo que se llama el *paralelogramo de fuerzas*. Hecho esto, en lugar de la fuerza OC tendremos las dos fuerzas OD y OP . De ellas, la fuerza OD empuja nuestra cometa hacia atrás, y, por consiguiente, disminuye su velocidad inicial. La otra fuerza, es decir, la OP , tira del artefacto hacia arriba, disminuye su peso y, si es suficientemente grande, puede vencer el peso de la cometa y elevarla. Esta es la explicación de por qué se remonta la cometa, cuando tiramos de su cuerda hacia abajo.

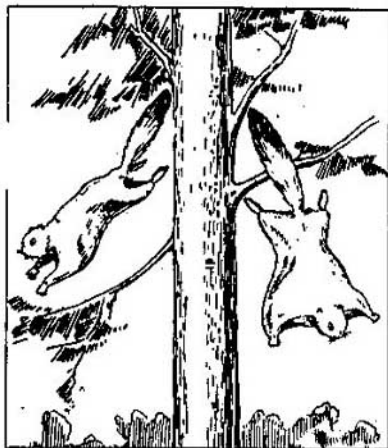
El avión es lo mismo que la cometa, con la única diferencia de que la fuerza motriz que actúa en él no es la de nuestra mano, sino la de una hélice o de un motor a reacción, la cual impulsa hacia adelante el aparato y, por lo tanto, hace que éste se eleve de forma semejante a como lo hace la cometa.

El esquema que acabamos de dar está muy simplificado. Hay otras circunstancias que también influyen en la elevación de los aviones y de las cuales trataremos en otro lugar*.

Fig. 32. Ardillas voladoras planeando. Estas ardillas saltan desde sitios altos y alcanzan distancias de 20-30 m.

PLANEADORES VIVOS

Como hemos visto, el vuelo de los aviones no se parece al de los pájaros, como suele pensarse de ordinario, sino más bien al de las ardillas voladoras, al de los dermópteros y al de los peces voladores. Aunque estos animales no emplean sus membranas alares para remontarse, sino únicamente para dar grandes saltos, es decir, para «descender planeando», como diría un piloto. La fuerza *OP* (fig. 31) es insuficiente en este caso para equilibrar totalmente el peso del cuerpo, pero contribuye a aligerar al animal y, de esta forma, le ayuda a dar enormes saltos desde puntos elevados (fig. 32). Las ardillas voladoras cubren distancias de 20-30 m, llegando, desde la cúspide de un árbol, hasta las ramas inferiores de otro. En las Indias Orientales y en Ceilán se cría una especie de ardillas voladoras, llamadas caguán, las cuales llegan a tener el tamaño de un gato ordinario. Cuando el caguán abre su «planeador», alcanza medio metro de anchura. Estas grandiosas membranas alares (patagio) le permiten realizar vuelos de hasta 50 m, aunque su peso es considerable. Pero los dermópteros de las Islas de la Sonda y de Filipinas alcanzan aún más y llegan hasta los 70 m.



LOS VUELOS SIN MOTOR Y LAS PLANTAS

Las plantas también recurren con frecuencia a la comodidad que les ofrece el planeador, para propagar sus semillas y frutos. Muchas semillas y frutos están provistos de mechones de pelitos (como los vilanos del diente de león, del tragopogon y del algodón), los cuales actúan de forma semejante a los paracaídas, o de unos planos sustentadores, en forma de retoños, salientes, etc. Estos planeadores vegetales pueden observarse en las coníferas, arces, olmos, abedules, carpe, tilos, en muchas umbelíferas, etc.

En el libro «Vida de las Plantas», de Kerner von Marilaun, leemos sobre esto lo siguiente: «Los días de sol, cuando no hace

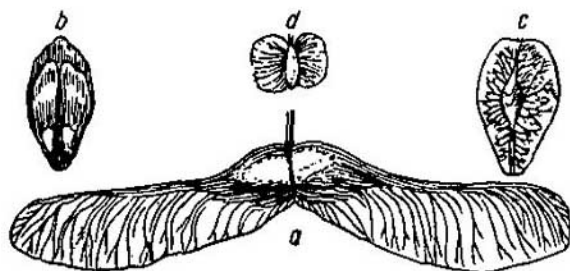
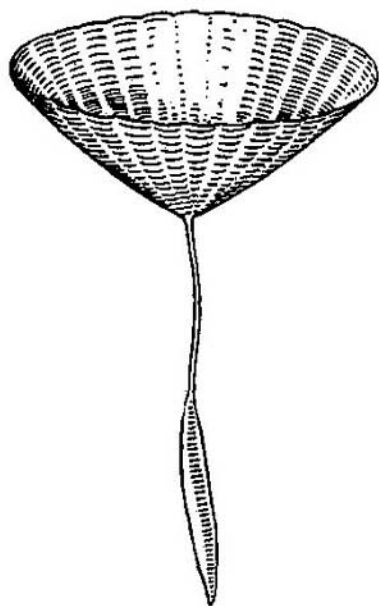


Fig. 33. Semillas voladoras; a — sámara del arce; b — semilla del pino; c — del olmo; d — del abedul.



viento, las corrientes verticales de aire elevan a considerable altura multitud de semillas, pero una vez que el sol se pone, éstas vuelven a caer generalmente en lugares próximos. La importancia de estos vuelos reside, en que sirven, no tanto para propagar las plantas a zonas más amplias, como para arraigarlas en las cornisas y en las grietas de las abruptas laderas y en los tajos de las montañas rocosas, sitios a los que las semillas no podrían llegar de otra forma. Las corrientes horizontales de las masas de aire pueden transportar las semillas y los frutos que planean, a distancias considerablemente grandes.

Algunas plantas tienen las semillas unidas a las alas o a los paracaídas únicamente durante el vuelo. Las semillas del onopordon, por ejemplo, vuelan tranquilamente por el aire, pero en cuanto se encuentran con un obstáculo, se desprenden de su paracaídas y caen al suelo. Este hecho explica por qué el onopordon crece con tanta frecuencia a lo largo de paredes y valles. En otros casos, la semilla permanece unida a su paracaídas».

En las figs. 33 y 34 se muestran algunas semillas y frutos provistos de «planeadores».

Fig. 34. Fruto del tragopogon.

Los planeadores de las plantas son, en muchos sentidos, más perfectos que los fabricados por el hombre. En comparación con su propio peso, pueden levantar mucho más carga. Además, estos aeroplanos vegetales se caracterizan por su estabilización automática. Si, por ejemplo, se invierte una semilla de jazmín de la India (*jasminum sambac*), ella misma vuelve a colocarse con su lado convexo hacia abajo, y si esta misma semilla encuentra un obstáculo, no pierde el equilibrio ni se cae, sino que desciende suavemente.

EL SALTO RETARDADO DEL PARACAIDISTA

Al llegar aquí, nos vienen a la memoria los heroicos saltos de los deportistas soviéticos, maestros de paracaidismo, que se lanzaron desde una altura de cerca de 10 km y no abrieron sus paracaídas hasta haber recorrido una parte considerable de su camino. Sólo entonces tiraron de la anilla y bajaron los últimos centenares de metros planeando en sus «sombrillas»*.

Muchos piensan, que, al caer como una piedra, sin abrir el paracaídas, el deportista vuela hacia abajo como si fuera en el vacío. Si esto fuera así, es decir, si el cuerpo humano cayese en el aire lo mismo que en el vacío, el salto retardado duraría mucho menos y la velocidad final que desarrollaría el paracaidista sería enorme.

Pero la resistencia del aire evita el incremento de la velocidad. Durante el salto retardado, la velocidad que lleva el cuerpo del paracaidista aumenta únicamente durante los primeros diez segundos, es decir, durante los primeros centenares de metros. Al aumentar la velocidad crece tanto la resistencia del aire, que pronto llega un momento, a partir del cual, la velocidad permanece invariable. El movimiento acelerado pasa a ser uniforme.

Por medio de cálculos se puede trazar, en rasgos generales, el cuadro de un salto retardado, desde el punto de vista de la mecánica. El tiempo que dura la caída *acelerada* del paracaidista depende de su propio peso y suele ser de unos 12 segundos o algo menos. Durante esta decena de segundos tiene tiempo de descender unos 400-450 metros y alcanzar una velocidad de cerca de 50 m/seg. El resto del camino, hasta que abre el paracaídas, transcurre ya con movimiento uniforme, a esta misma velocidad.

De igual manera, aproximadamente, caen las gotas de lluvia. La única diferencia consiste en que, el primer período de

* En 1963 unos paracaidistas soviéticos se lanzaron desde 25 kilómetros de altura. (*N. de la Edif.*).



Fig. 35. Procedimiento de cazar con bumerang que emplean los australianos para sorprender a sus víctimas desde un escondite. La trayectoria que sigue el bumerang (en caso de fallar el tiro) es la que indica la línea de puntos.

la caída de estas gotas, es decir, cuando su velocidad aumenta aún, dura cerca de un segundo. Por consiguiente, la velocidad final de las gotas de lluvia no es tan grande como la de los paracaidistas que se lanzan en salto retardado. Esta velocidad suele oscilar entre 2 y 7 m/seg, según sean las dimensiones de las gotas*.

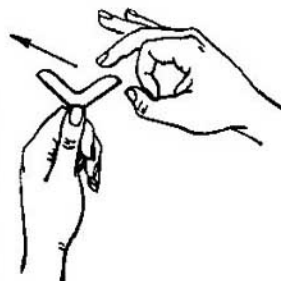
EL BUMERANG

El bumerang es un arma muy original, que puede considerarse como la creación más perfecta de la técnica del hombre primitivo y que durante muchos años fue la admiración de los científicos. Efectivamente, las figuras tan extrañas e intrincadas que describe el bumerang en el aire (fig. 35), pueden preocupar a cualquiera.

En la actualidad, la teoría del vuelo del bumerang ha sido detalladamente elaborada y lo que parecía un prodigio ha deja-

* De la velocidad de las gotas de lluvia se habla más detalladamente en mi libro «Mecánica Recreativa» y de los saltos retardados, en «¿Sabe usted Física?»

Fig. 36. Bumerang de cartulina y procedimiento de lanzarlo.



do de serlo. Nosotros no vamos a ocuparnos de estos interesantes pormenores. Diremos solamente, que la extraordinaria trayectoria que describe el bumerang es la resultante de la acción mancomunada de tres factores: 1) del impulso inicial con que se lanza, 2) de la rotación del propio bumerang y 3) de la resistencia del aire. Los australianos saben combinar instintivamente estos tres factores y cambian con habilidad el ángulo de inclinación del bumerang, la fuerza y la dirección del impulso con que lo lanzan, para conseguir los resultados apetecidos.

Naturalmente, cualquier persona puede adquirir cierta práctica en este arte.

Para ejercitarse dentro de una habitación hay que contentarse con un bumerang de cartulina, el cual puede recortarse de una tarjeta postal dándole la forma que se indica en la fig. 36. Cada rama debe tener una longitud aproximada de 5 cm y una anchura algo menor de 1 cm. Si sujetamos un bumerang de este tipo, introduciéndolo debajo de la uña del dedo pulgar, y le damos un papirotazo en el extremo más próximo, de manera que el golpe resulte dirigido hacia adelante y un poco hacia arriba, el bumerang volará unos cinco metros, describirá suavemente una curva, que a veces suele ser muy complicada, y, si no choca con ningún objeto de la habitación, vendrá a caer a nuestros pies.

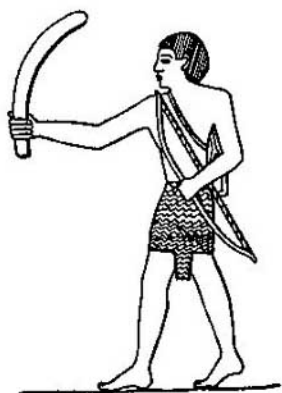
El experimento da mejor resultado si se le dan al bumerang la forma y las dimensiones que la fig. 37 muestra en tamaño natural. Es conveniente doblar un poco las ramas del bumerang en forma de hélice (fig. 37, abajo). Después de algún entrenamiento, puede conseguirse que este bumerang describa en el aire curvas complicadas y retorne al sitio de partida.

Para terminar, queremos llamar la atención sobre el hecho de que el bumerang, a pesar de lo que generalmente se piensa, no es un arma que poseen exclusivamente los habitantes de Australia. También lo emplean en varios sitios de la India y, a juzgar por los restos de pinturas murales, fue empleado como arma ordinaria por los soldados asirios. En el antiguo Egipto y en Nubia también era conocido el bumerang (fig. 38). Lo que sí es



Fig. 37. Otro tipo de bumerang de cartulina (tamaño natural).

Fig. 38. Figura de antiguo soldado egipcio, lanzando un bumerang.



una cosa exclusiva de Australia es la forma ligeramente helicoidal que tenían sus bumerang. He aquí por qué los bumerang australianos describen curvas tan complejas y, cuando *se yerra el tiro*, retornan los pies del que los lanzó.

¿COMO DISTINGUIR UN HUEVO COCIDO DE OTRO CRUDO?

¿Qué hay que hacer cuando se quiere saber si un huevo está crudo o cocido, sin romperle el cascarón? Los conocimientos de mecánica nos ayudan a resolver con éxito esta pequeña dificultad.

Los huevos duros no giran igual que los crudos. Esta diferencia puede aprovecharse para resolver nuestro problema. Para esto, el huevo que se ensaya se coloca sobre un plato llano y, cogiéndolo con dos dedos, se le hace girar (fig. 39). Cuando el huevo está cocido (y sobre todo duro) *gira más de prisa y durante más tiempo* que cuando está crudo. Si está crudo es difícil hacerlo girar, mientras que cuando está duro, gira tan rápidamente que sus contornos se confunden y vemos un elipsoide blanco, que puede llegar a moverse sobre su extremo más agudo.

Las causas que dan lugar a estos fenómenos son, que el huevo duro gira como si fuera un todo único, mientras que el contenido líquido del huevo crudo, al no recibir en el mismo instante este movimiento giratorio, retarda con su inercia el giro del cascarón y hace las veces de freno.

Los huevos cocidos y crudos se comportan también de diferente manera al cesar de girar. Si un huevo duro en rotación se toca con un dedo, se para *inmediatamente*. Si el que está girando es un huevo crudo, se parará un instante, pero al retirar el dedo dará todavía varias vueltas. Esto también ocurre a causa de la inercia, ya que la masa líquida interior del huevo, crudo, continúa girando aún después de que el cascarón está en reposo. El contenido del huevo cocido, por el contrario, se para al mismo tiempo que su cascarón.

Experimentos semejantes se pueden realizar también de otras formas. Una de ellas consiste en ceñir un huevo cocido y otro crudo con sendos anillos de goma, de manera que estos coincidan con un «meridiano», y en colgar ambos huevos de dos



Fig. 39. El huevo se hace girar así.



Fig. 40. Forma de colgar los huevos para, haciéndolos girar, saber cuál de ellos está crudo y cuál cocido.

bramantes iguales (fig. 40). Si torcemos estos dos bramantes un número igual de veces y los soltamos, notaremos inmediatamente la diferencia entre el huevo cocido y el crudo. El huevo cocido, cuando el bramante vuelva a su estado inicial, empezará a torcerlo, por inercia, en dirección contraria, después de lo cual lo destorcerá de nuevo, y así sucesivamente varias veces, disminuyendo paulatinamente el número de vueltas. El huevo crudo girará a uno y otro lado una o dos veces y se parará mucho antes que el cocido, porque el contenido líquido frena su movimiento.

«LA RUEDA DE LA RISA»

Abramos una sombrilla, apoyemos su extremo en el suelo y hagámosla girar por el puño. No será difícil conseguir que se mueva con bastante rapidez. Hecho esto, dejemos caer dentro de la sombrilla una pelotita o una bolilla de papel. Veremos que esta pelotita o bolilla no se queda en la sombrilla, sino que será lanzada fuera de ella por la fuerza que impropriamente se ha dado en llamar «centrífuga», pero que en realidad no es más que una manifestación de la inercia. La pelotita no saldrá despedida según la dirección del radio de la sombrilla, sino tangencialmente a la trayectoria del movimiento circular.

En este efecto del movimiento giratorio se basan las «ruedas de la risa» (fig. 41), atracción que puede verse con frecuencia en algunos parques. El público tiene en ellas la oportunidad de experimentar en sí mismo la acción de la inercia. Para ello se sitúa como quiere sobre una plataforma redonda (de pie, sentado o tumbado). Un motor, oculto debajo de dicha plataforma, hace que ésta gire suavemente alrededor de un eje vertical. La plataforma gira al principio despacio, pero después va aumentando paulatinamente su velocidad. Por la acción de la inercia, todos los que se encuentran en la plataforma comienzan a resbalar hacia su periferia. Al principio este movimiento no se nota apenas, pero a medida que los «viajeros» se van alejando del centro y entrando en círculos cuyo radio es cada vez mayor, la velocidad, y, por consiguiente, la inercia, se dejan sentir cada vez más. Todos los esfuerzos para mantenerse en el sitio resultan fallidos y la gente sale despedida de la «rueda de la risa».

La esfera terrestre también es en esencia una «rueda de la risa», pero de dimensiones gigantescas. La Tierra no nos despi-

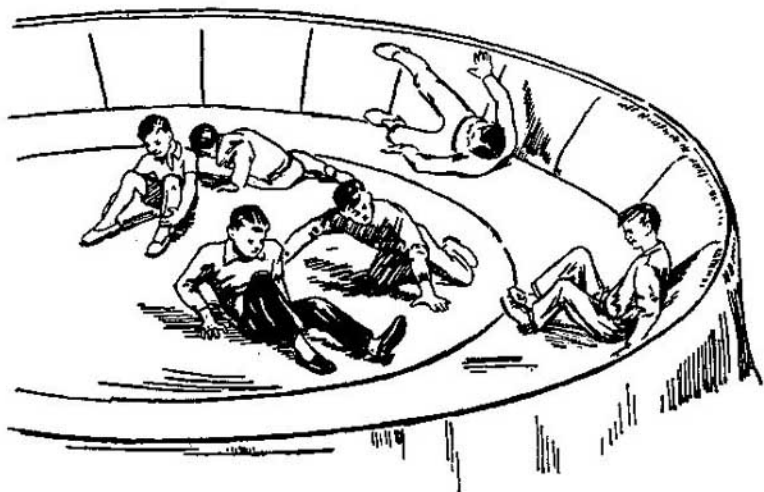


Fig. 41. «La rueda de la risa». Las personas son lanzadas fuera de la plataforma giratoria.

de de su superficie, pero su rotación disminuye nuestro peso. En el ecuador, donde la velocidad de rotación es mayor, la disminución del peso, por esta causa, alcanza una $1/300$ parte. Y si se toma conjuntamente con otra causa (es decir, con el achatamiento de la Tierra), el peso de cada cuerpo en el ecuador disminuye, en general, en un medio por ciento (es decir, en $1/200$ veces), de forma, que una persona adulta pesa en el ecuador, aproximadamente, 300 gramos menos que en el polo.

REMOLINOS DE TINTA

Tomemos un redondelito de cartón blanco y liso y atravesemos su centro con un palillo afilado. Obtendremos una peonza como la que se muestra en la fig. 42 (a la izquierda se ve el redondelito de cartón en tamaño natural). Para hacer que esta peonza gire sobre la punta del palillo no se necesita gran habilidad; bastará hacer rodar rápidamente el palillo entre los dedos y dejar caer la peonza sobre una superficie plana.

Con esta peonza se puede hacer un experimento muy demostrativo. Para ello, dejemos caer en el cartón varias gotas de tin-

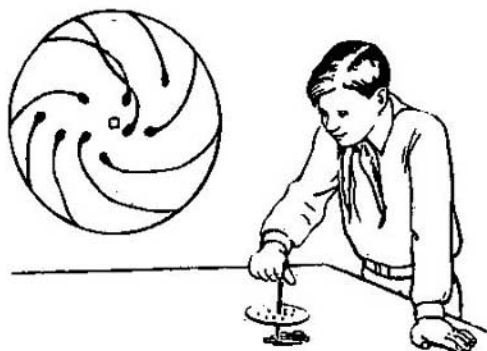


Fig. 42. Así corren las gotas de tinta por el cartón giratorio.

ta y, antes de que éstas se sequen, hagamos girar la peonza. Cuando se pare, veremos que cada una de las gotas se ha corrido engendrando una línea espiral y que todas estas líneas juntas forman una especie de remolino.

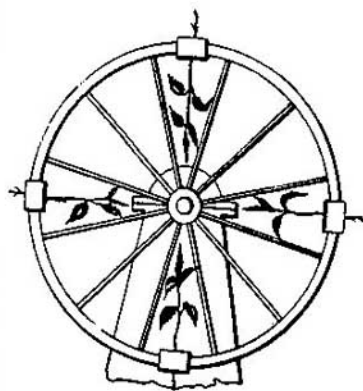
Esta semejanza con el remolino no es casual. ¿Qué nos dicen las espirales de tinta del redondelito de cartón? Estas líneas son las huellas del movimiento de las gotas de tinta. Cada una de estas gotas está sometida a los mismos efectos que sienten las personas en la «rueda de la risa», y al ser apartada del centro por el efecto centrífugo, va a parar a un sitio del disco cuya velocidad circular es mayor que la de la propia gota. En estos sitios, el redondel adelanta a la gota deslizándose por debajo de ella. Es decir, ocurre algo así, como si la gota se retrasara con respecto al redondel y retrocediera con relación al radio. Por esta razón, el camino que recorre la gota se curva y vemos en el círculo de cartón la huella de un movimiento curvilíneo.

Lo mismo ocurre con las corrientes de aire que divergen de un sitio en que la presión de la atmósfera es más alta (en los «anticiclones») o que convergen en un sitio de presión más baja (en los «ciclones»). Los remolinos de tinta pueden considerarse como una muestra en pequeño de estos gigantescos torbellinos de aire.

LA PLANTA ENGAÑADA

Cuando el movimiento de rotación es rápido, el efecto centrífugo puede alcanzar una magnitud tal, que supere la acción de la gravedad. He aquí un experimento interesante que demuestra la importancia de la fuerza repulsiva que se desarrolla al girar una rueda ordinaria. Sabemos que toda planta joven orienta su tallo en dirección contraria a la de la fuerza de la gravedad, es decir, hablando claramente, crece hacia arriba. Pero hagamos que una semilla se desarrolle en la llanta de una rueda que gire rápidamente (como lo hizo por primera vez el botánico inglés Knight, hace más de cien años), veremos algo sorpren-

Fig. 43. Semillas de plantas leguminosas germinadas en la llanta de una rueda giratoria. Los tallos se dirigen hacia el eje; las raíces, hacia fuera.



dente. Las raíces de los retoños estarán dirigidas hacia fuera, mientras que los tallos, hacia dentro, es decir, siguiendo la dirección de los radios de la rueda (fig. 43).

Parece que hemos conseguido engañar a la planta, haciendo que, en lugar de la gravedad, actúe sobre ella otra fuerza, cuya acción va dirigida desde el centro de la rueda hacia fuera. Y como quiera que el retoño tiende a salir siempre en dirección contraria a la de la fuerza de la gravedad, en nuestro caso creció hacia dentro de la rueda, es decir, en la dirección que va desde la llanta hasta el centro de aquella. Nuestra gravedad artificial resultó ser más fuerte que la natural*, y la nueva planta creció bajo su influencia.

En el futuro, cuando comiencen los vuelos hacia otros planetas del sistema solar, cuya duración será de varios meses, en las naves cósmicas se aprovechará este principio para construir invernaderos que abastezcan la tripulación de alimentos frescos. La idea de crear invernaderos cósmicos giratorios fue propuesta en el año 1933, por el gran científico ruso, fundador de la cosmonáutica, K. Tsiolkovski.

EL «MOVIMIENTO CONTINUO»

De los motores de «movimiento continuo» y del propio «movimiento continuo» se habla frecuentemente, tanto en sentido directo como figurado, pero no todos comprenden claramente qué es lo que debe entenderse por esta denominación. Un motor de «movimiento continuo» (o movimiento continuo de primera especie) es un mecanismo ideal, el cual, además de moverse a sí mismo ininterrumpidamente, puede efectuar algún trabajo útil (por ejemplo, levantar un peso). Aunque desde hace muchísimo

* Desde el punto de vista moderno sobre la naturaleza de la gravedad, en este caso, no existe una diferencia esencial.

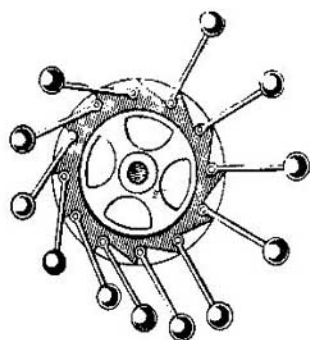


Fig. 44. Rueda pseudoautomotora, inventada en la edad media.

tiempo se intenta construir semejante mecanismo, nadie lo ha conseguido hasta ahora. La infecundidad de todos estos intentos hizo llegar a la convicción de que el motor de «movimiento continuo» era irrealizable y contribuyó a formular uno de los principios básicos de la ciencia moderna: la ley de la conservación de la energía. En cuanto al propio «movimiento continuo» (o movimiento continuo de segunda especie) se refiere, debe entenderse por él todo movimiento ininterrumpido, que ni realiza trabajo ni consume energía.

En la fig. 44 está representado un mecanismo pseudoautomotor, uno de los más antiguos proyectos de «movimiento continuo», que los fracasados fanáticos de esta idea vuelven a hacer renacer incluso en nuestros días. El mecanismo consiste en una rueda, a cuyo perímetro van sujetos unos palos abatibles, los cuales tienen en sus extremos libres unos contrapesos. Cualquiera que sea la posición que tenga la rueda, los contrapesos del lado derecho se encontrarán más alejados del centro de la rueda que los del lado izquierdo y, por consiguiente, esta mitad deberá pesar siempre más que la izquierda y hará que la rueda gire. Es decir, la rueda deberá girar continuamente, o por lo menos hasta que no se desgaste el eje. Esto era lo que pensaba su inventor. Sin embargo, si se construyera un motor de este tipo, no giraría. ¿Por qué no se confirman los cálculos del inventor?

Pues, no se confirman porque, aunque los contrapesos del lado derecho están siempre efectivamente más alejados del centro, es inevitable que la rueda adopte una posición en la cual, el número de estos contrapesos sea menor que el de los del lado izquierdo. Esta posición es la que puede verse en la fig. 44, en la cual mientras en el lado derecho hay 4 contrapesos, en el izquierdo hay 8. Es decir, el sistema se equilibra y, como es natural, la rueda no gira, sino

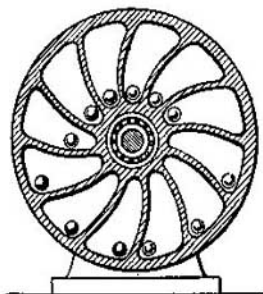
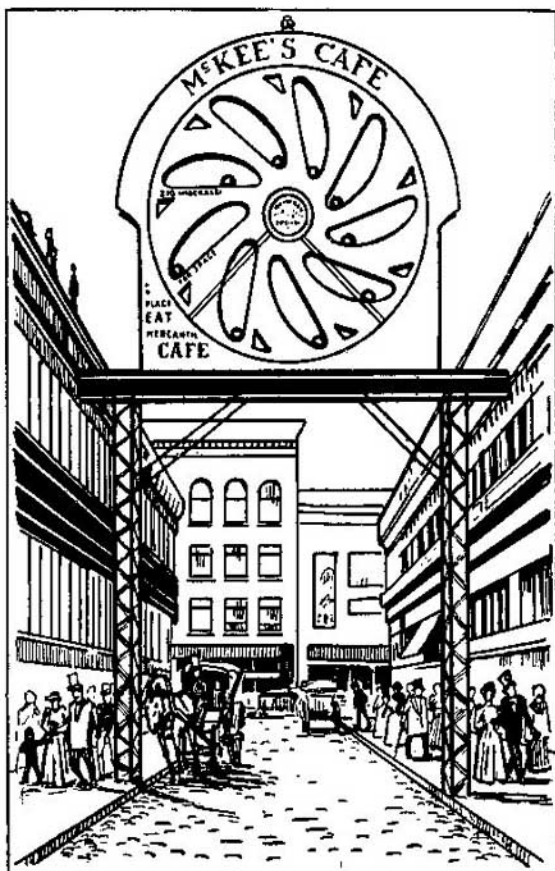


Fig. 45. Motor de «movimiento continuo» con bolas rodantes.

Fig. 46. Un falso «perpetuum mobile» construido en la ciudad de Los Angeles (California) para servir de anuncio.



que, después de balancearse varias veces, se queda parada en esta posición*.

Ahora está indiscutiblemente demostrado que no es posible construir un mecanismo que, además de moverse a sí mismo, efectúe algún trabajo y que intentar resolver un problema como éste es perder el tiempo. Pero antes, sobre todo en la edad media, eran muchos los que se rompían inútilmente la cabeza in-

* El movimiento de este sistema se explica por el llamado teorema de los momentos.

tentando resolverlo y perdían lamentablemente el tiempo en inventar el motor de «movimiento continuo» (en latín *perpetuum mobile*). La consecución de un motor de este tipo se consideraba una idea más seductora que el propio arte de obtener oro de metales baratos.

Pushkin, en sus «Escenas de los tiempos caballerescos» describe uno de estos ilusos personificándolo en Bertoldo.

«— ¿Qué es el *perpetuum mobile*? — preguntó Martín.

— El *perpetuum mobile* — le respondió Bertoldo — es el movimiento continuo. Si encuentro el movimiento continuo, no veo los límites que pueda tener el poder creador del hombre... ¡Comprendes, mi buen Martín! Hacer oro es un problema seductor, un descubrimiento que puede ser interesante y lucrativo, pero hallar el *perpetuum mobile*... ¡Ah!

Se idearon centenares de motores de «movimiento continuo», pero ninguno de ellos andaba. En cada caso, lo mismo que en el ejemplo anterior, el inventor se olvidaba de alguna circunstancia esencial, que desbarataba todos sus planes.

Examinemos otro ejemplo deseudomotor de «movimiento continuo»: la rueda en cuyo interior se mueven bolas pesadas (fig. 45). Su inventor suponía, que las bolas de uno de los lados de la rueda, al encontrarse más próximas al perímetro, harían girar a ésta con su peso.

Está claro que no ocurre así, por la misma causa que vimos al examinar la rueda representada en la fig. 44. Sin embargo, en una ciudad norteamericana fue construida una enorme rueda de este tipo, para servir de anuncio en un café (fig. 46). Naturalmente, este «*perpetuum mobile*» estaba accionado por un simple mecanismo independiente, hábilmente disimulado, aunque al público le parecía que eran las pesadas bolas las que movían la rueda. De forma parecida existieron otrosseudomotores de «movimiento continuo», los cuales hubo un tiempo que se exponían en los escaparates de las relojerías para atraer al público, pero todos ellos estaban accionados invisiblemente por la corriente eléctrica.

En una ocasión, uno de estos «*perpetuum mobile*» de anuncio, me dio no poco que hacer. Mis alumnos obreros estaban tan entusiasmados con él, que reaccionaban fríamente a mis demostraciones sobre la imposibilidad del «movimiento continuo». La evidencia de que las bolas al girar movían la rueda, y de que ésta las volvía a elevar a su vez, tenía para ellos más fuerza persuasiva que mis deducciones. No querían creer que aquellaseudomaravilla mecánica estaba movida por la corriente eléctrica de la red urbana. Afortunadamente, en aquellos

tiempos, los domingos cortaban la corriente. Como yo sabía esto, aconsejé a mis alumnos que fueran a ver el escaparate en que estaba expuesto el artefacto uno de estos días. Ellos me hicieron caso.

— ¿Qué, vieron ustedes el motor? — les pregunté el lunes.

— No — me respondieron —. No lo hemos podido ver, porque estaba tapado.

Después de esto, la ley de la conservación de la energía volvió a conquistar su confianza para no perderla jamás.

UN «ATASCO»

Muchos fueron los inventores autodidactas rusos que se esforzaron por resolver un problema tan seductor como el del «movimiento continuo». Uno de ellos fue el campesino siberiano Alexander Shcheglov, al que M. Shchedrín describe en su relato «Idilio Contemporáneo», bajo el nombre de «pequeño burgués Presentov». He aquí lo que nos cuenta Shchedrín de su visita al taller de este inventor:

«El pequeño burgués Presentov era un hombre de unos treinta y cinco años, delgado, pálido, con ojos grandes y pensativos y cabellos largos, los cuales, formando lacios mechones, iban a caer sobre su cuello. Su isba era bastante amplia, pero una gran rueda volante ocupaba completamente la mitad de la misma, por lo que nuestro grupo sólo a duras penas pudo acomodarse en ella. La rueda era calada, con radios. Su llanta, bastante voluminosa, estaba hecha de tablas, como si fuera una caja, y su interior estaba hueco. Dentro de esta especie de caja se encontraba el mecanismo, que el inventor mantenía en secreto. Este secreto no tenía nada de ingenioso, era algo así como unos sacos llenos de arena, que tenían la misión de equilibrarse entre sí. Por entre dos radios había metido un palo, para que mantuviera la rueda en estado de reposo.

Hemos oído que ha conseguido usted utilizar en la práctica la ley del movimiento continuo — comencé yo..

— No sé como informarles — respondió él confuso —, creo que, al parecer ...

— ¿Podemos echar una ojeada?

— ¡Por favor! Me honrarán ...

Nos llevó hasta la rueda y nos la enseñó por todas partes. Tanto por delante como por detrás no había nada más que la rueda.

— ¿Gira?

— Creo que debe girar. Pero, parece que tiene caprichos ...

— ¿Se le puede quitar la traba?

Prezentov sacó el palo, pero la rueda no se movió.

¡Se encaprichó! — dijo —, hay que darle ímpetu.

Cogió con ambas manos la llanta, la balanceó varias veces hacia arriba y hacia abajo y, finalmente la soltó con fuerza. La rueda comenzó a dar vueltas. Dio varias de prisa y con bastante suavidad, aunque se oía cómo los sacos de arena se apretaban unas veces contra los tabiques y otras se separaban de ellos dentro de la llanta. Después comenzó a girar cada vez más despacio; se oyeron crugidos, chirridos y, finalmente, se paró.

— Se atascó, por lo visto — nos explicó confuso el inventor y volvió a agarrarse a la rueda y a balancearla.

Pero la segunda vez ocurrió lo mismo.

— ¿Es posible que no tuviera usted en cuenta el rozamiento al hacer los cálculos?

— Y el rozamiento se tuvo en cuenta ... ¿Qué tiene que ver el rozamiento? Esto no es cuestión de rozamiento, sino de lo que pasa ... Unas veces parece que quiere alegrarnos, pero otras... se encapricha, se pone testaruda y... nos fastidia. Si la rueda estuviera hecha del material que es debido ..., pero es de recortes».

Naturalmente que la cuestión no estaba ni en el «atasco» ni en el «material que es debido», sino en la falsedad que encierra la idea del mecanismo. La rueda dio varias vueltas por el «ímpetu» (impulso) que le comunicó el inventor, pero inevitablemente tenía que pararse en cuanto la energía exterior, que recibió, se gastase en vencer el rozamiento.

«LA FUERZA PRINCIPAL SON LAS BOLAS»

El escritor Karonin (N. Petropavlovski) nos da a conocer otro inventor ruso del «movimiento continuo», el campesino Lavrenti Goldiriov, de Perm (fallecido en el año 1884). En su narración «Perpetuum mobile», lo presenta bajo el nombre de Pijtin. Como quiera que el literato conocía personalmente al autodidacta, su invento está descrito con bastante minuciosidad.

«Ante nosotros teníamos una máquina rara, de grandes dimensiones, que a primera vista se parecía a un banco de herrar caballos. Tenía unos montantes de madera, mal labrados; unos travesaños y todo un sistema de volantes y ruedas dentadas. Todo esto era pesado, mal acabado y deforme. Debajo de la máquina había unas bolas de hierro colado y a un lado se veía todo un montón de estas mismas bolas.

— ¿Esta es? — preguntó el administrador.

— Esta.

— Y qué, ¿da vueltas?

— Pues, claro que las da

— ¿Pero la mueve algún caballo?

— ¿Para qué quiero el caballo? Ella misma se mueve — respondió Pijtin y empezó a mostrar cómo estaba hecha su maravilla.

El papel principal lo jugaban las bolas que estaban allí amontonadas.

— La fuerza principal está en las bolas ... Mire usted: primeramente choca en este cazo... de aquí sale silbando como un rayo, por este canalón, y allí la recoge aquel otro cazo, el cual la despide como loca hacia aquella rueda. Esta recibe otro buen empujón, un empujón que hasta le hace zumbar. Mientras esta bola va volando, hace su efecto la otra ... De allí sale volando otra vez, y ¡pom!, aquí. De aquí salta de nuevo lanzada por el canalón... cae en aquel cazo, rebota en aquella rueda y... ¡paff! Y así sucesivamente. Ahí está la cosa. Ahora la pongo en marcha.

Pijtin se apresuró a ir y venir por el cobertizo recogiendo las dispersas bolas. Por fin, después de echarlas todas en un montón junto a él, cogió una de ellas y la tiró con fuerza en el cazo más próximo de la rueda. Después tiró otra rápidamente y luego una tercera. En el cobertizo se armó un estrépito inimaginable. Las bolas rechinaban en los cazos de hierro, la madera de las ruedas crujía, los montantes gemían. Silbidos infernales, zumbidos y rechinamientos, llenaron el lóbrego local...».

El escritor asegura que la máquina de Goldiriov se movía. Pero está claro que fue un malentendido. Es posible que girara mientras las bolas que estaban arriba descendían, ya que ellas podían mover la rueda lo mismo que las pesas de un reloj de pared, es decir, a costa de la energía acumulada al subirlas. Este movimiento de la máquina no podía durar mucho. En cuanto todas las bolas antes elevadas, se encontraron abajo, después de «chocar» con los cazos, la máquina se pararía (sí no lo había hecho antes, por la reacción que debían oponerle las bolas, que ella misma tenía que elevar de nuevo).

Posteriormente, cuando al presentar su máquina en la exposición de Ekaterinburgo, tuvo ocasión de ver las verdaderas máquinas industriales que allí se mostraban, el mismo inventor se desilusionó de su obra. Cuando le preguntaron allí por la máquina automotora que había ideado, Goldiriov respondió tristemente:

— ¡Al diablo! Manden que la partan y hagan leña de ella.

EL ACUMULADOR DE UFIMTSEV

Una idea de lo fácil que es incurrir en un error, cuando el «movimiento continuo» se juzga de una forma superficial, la da el llamado acumulador de energía mecánica de Ufimtsev. En la ciudad de Kursk, el inventor A. Ufimtsev creó un nuevo tipo de central aeromotora provista de un acumulador «de energía» económico, tipo volante. En 1920, Ufimtsev construyó un modelo de su acumulador, el cual tenía la forma de un disco, que giraba alrededor de un eje vertical, sobre un rodamiento de bolas y dentro de una caja, de la que se había extraído el aire. El disco, una vez embalado hasta una velocidad de 20 000 revoluciones por minuto, conservaba el movimiento giratorio durante 15 días. Contemplando el árbol de este disco, que durante días enteros se movía sin recibir energía exterior alguna, cualquier observador superficial podría llegar a la conclusión de que se trataba de la realización del movimiento continuo.

«UN PRODIGIO QUE NO LO ES»

La inútil persecución del «movimiento continuo» ha hecho que muchas personas sean muy desgraciadas. Antes de la revolución, conocí a un obrero que se gastaba todo su jornal en hacer modelos de motores de «movimiento continuo», y llegó por fin a la mayor indigencia. El pobre era víctima de su absurda idea. Mal vestido y hambriento, iba pidiendo a todo el mundo medios para construir su «modelo definitivo», que «andaría sin falta». Daba pena pensar, que este hombre sufría necesidad a causa de sus escasos conocimientos de los principios elementales de la Física.

Sin embargo, es interesante, que mientras las búsquedas del «movimiento continuo» resultaron siempre infructuosas, el profundo convencimiento de la imposibilidad de su consecución condujo en muchos casos a descubrimientos provechosos.

Un magnífico ejemplo de esto lo tenemos en el procedimiento que utilizó el célebre científico holandés de finales del siglo XVI y principios del XVII, Stevin, para descubrir la ley del equilibrio de fuerzas en el plano inclinado. Este matemático merece mucha más celebridad que la que le ha correspondido, ya que muchos de los grandes descubrimientos que él realizó nos sirven constantemente en la actualidad. Inventó las fracciones decimales, introdujo en el álgebra el empleo de los exponentes y descubrió la ley hidrostática que más tarde redescubrió Pascal.

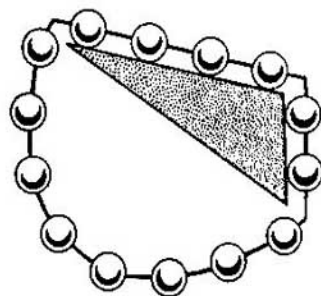
Fig. 47. «Un prodigio que no lo es».

La ley del equilibrio de las fuerzas en el plano inclinado fue descubierta por él, sin apoyarse en la regla del paralelogramo de fuerzas, utilizando únicamente el dibujo que reproducimos en la fig. 47. En él se representa una cadena compuesta por 14 bolas iguales, colgada de un prisma triangular. ¿Qué ocurriría con esta cadena? La parte inferior de la misma cuelga como una guirnalda y se equilibra a sí misma. Pero, ¿y las dos partes restantes de la cadena, se equilibran también mutuamente? O en otras palabras ¿equilibran las dos bolas de la derecha a las cuatro de la izquierda? Naturalmente que sí, de lo contrario, la cadena se movería constantemente a sí misma, de derecha a izquierda. Porque las bolas que se deslizaran del plano serían inmediatamente sustituidas por otras y el equilibrio no se restablecería nunca. Pero como sabemos que cualquier cadena colgada como hemos dicho no puede moverse a sí misma, es evidente, que las dos bolas de la derecha equilibran a las cuatro de la izquierda. Tenemos, pues, algo que parece un prodigio: dos bolas tiran con la misma fuerza que cuatro.

De este seudoprodigio dedujo Stevin una de las principales leyes de la mecánica. El se hizo la siguiente reflexión: estas dos cadenas, la larga y la corta, no pesan lo mismo; una de ellas es más pesada que la otra, tantas veces como la cara del prisma de sección más larga es mayor que la cara de sección más corta. De aquí se deduce, que dos pesos cualesquiera, unidos entre sí por un cordón, se equilibran entre sí en los planos inclinados siempre que sus respectivos pesos sean proporcionales a las longitudes de dichos planos.

En el caso particular de que el plano más corto está más pendiente, obtenemos la conocida ley de la mecánica, que dice: para sostener un cuerpo en un plano inclinado hay que aplicarle, en la dirección ascendente del plano, una fuerza cuya magnitud sea tantas veces menor que el peso del cuerpo, como la longitud del plano es mayor que su elevación.

De esta forma, partiendo de la idea de la imposibilidad del movimiento continuo, se hizo un importante descubrimiento mecánico.



OTROS MOTORES DE «MOVIMIENTO CONTINUO»

En la fig. 48 puede verse una cadena pesada, tendida entre una serie de ruedas de tal forma, que, cualquiera que sea la posición de la cadena, su lado derecho debe pesar más que el izquierdo. Por consiguiente, pensaba su inventor, esta parte de la cadena debe tirar de la otra e ir bajando ininterrumpidamente, con lo cual hará que se mueva todo el mecanismo. ¿Ocurre esto en realidad?

Claro que no. Como hemos visto en el ejemplo anterior, una cadena pesada puede equilibrarse con otra más ligera, siempre que las fuerzas que las arrastran actúen bajo ángulos distintos. En el mecanismo que examinamos, la parte izquierda de la cadena está tendida verticalmente, mientras que la derecha lo está de manera inclinada, por lo cual, aunque esta última pese más, no tirará de la primera. Es decir, en este caso tampoco puede producirse el «movimiento continuo» que se esperaba.

El más ingenioso de todos los inventores del «movimiento continuo» quizá sea uno que mostró su invento en la exposición de París, que tuvo lugar allá por los años sesenta del siglo pasado. Su motor consistía en una gran rueda, dentro de la cual rodaban unas bolas. El inventor aseguraba que nadie sería capaz de detener el movimiento de su rueda. Los visitantes que intentaban parar la rueda se sucedían unos a otros, pero ésta, en cuanto apartaban sus manos, reanudaba el movimiento giratorio. Y a nadie se le ocurrió pensar, que si la rueda giraba era gracias a los esfuerzos que hacía el público por detenerla; porque, al empujarla hacia atrás, ellos mismos tensaban un muelle bien disimulado que tenía el mecanismo.

UN MOTOR DE «MOVIMIENTO CONTINUO» DEL TIEMPO DE PEDRO I

Se ha conservado la correspondencia que durante los años 1715-1722 mantuvo el zar ruso Pedro I con un tal doctor Orfirius, sobre la adquisición de un mo-

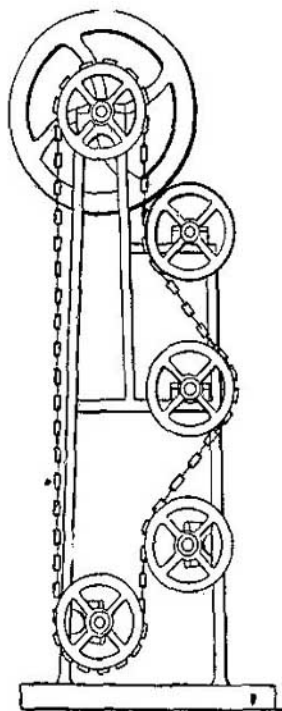


Fig. 48. ¿Puede ser esto un motor de «movimiento continuo»?

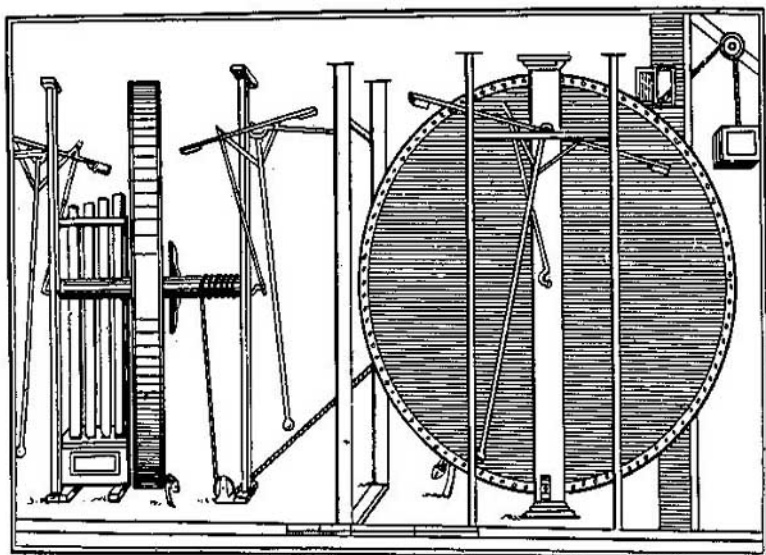


Fig. 49. Rueda automotora de Orfirius, que estuvo a punto de ser adquirida por Pedro I (reproducción de un antiguo dibujo).

tor de movimiento continuo ideado por este último. Este inventor, que se había hecho muy popular en toda Alemania con su «rueda automotriz», dijo que estaba de acuerdo en venderle su máquina al zar, pero por una suma enorme. El Bibliotecario científico Scumacher, que era a la sazón el enviado de Pedro I en Occidente para adquirir cosas originales, informaba al zar sobre las exigencias de Orfirius, con el cual mantenía las negociaciones, en los términos siguientes:

«La última palabra del inventor fue: pónganme en un lado 100 000 efimoks* y en el otro pondré yo la máquina».

Sobre la propia máquina, según palabras del bibliotecario, decía el inventor, que «es segura, ya nadie puede difamarla, sino es con mala intención, porque el mundo está lleno de gentes malas, de las cuales no es posible creer nada».

En enero de 1725, Pedro I pensaba ir a Alemania para ver personalmente este motor de «movimiento continuo», sobre el que tanto se hablaba, pero la muerte impidió que el zar realizase su propósito.

* Efimok (Joachimsthaler) — cerca de un rublo.

¿Quién era este misterioso doctor Orfirius y en qué consistía su «célebre máquina»? Yo he tenido la suerte de encontrar datos sobre el uno y la otra.

El verdadero apellido de Orfirius era Besler. Nació en Alemania, en el año 1680, estudió teología, medicina, pintura y finalmente se dedicó a inventar el «movimiento continuo». De los muchos millares inventores de este tipo, Orfirius es el más célebre y, quizá, el más afortunado. Hasta el fin de sus días (murió en 1745) vivió en la abundancia, gracias a los ingresos que le proporcionaba la exposición pública de su máquina.

En la fig. 49 se muestra un dibujo de la máquina inventada por Orfirius, tal como era en el año 1714. Este dibujo está tomado de las páginas de un antiguo libro. En él puede verse una gran rueda, la cual, según se decía, no sólo giraba por sí misma, sino que al mismo tiempo elevaba un peso a considerable altura.

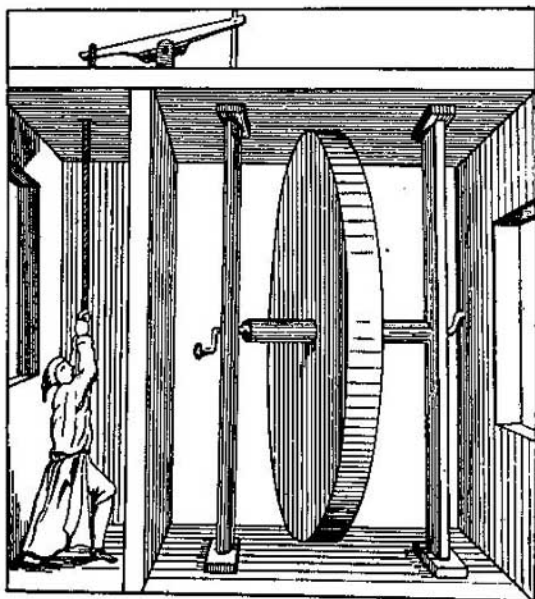
La fama del maravilloso invento, que el letrado doctor comenzó a mostrar en las ferias, se extendió pronto por toda Alemania, y Orfirius no tardó en encontrar poderosos protectores. Por él se interesó el rey de Polonia y luego el vizconde de Hessen Cassels. Este último ofreció al inventor su propio castillo e hizo toda clase de pruebas con la máquina.

Una de estas pruebas se realizó el 12 de noviembre de 1717. La máquina, que se encontraba en una habitación aislada, fue puesta en marcha, después de lo cual se cerró con candado la puerta de la habitación, se precintó y se confió a la vigilancia de dos granaderos. Durante catorce días nadie osó acercarse a la habitación en que giraba la misteriosa rueda. El día 26 de noviembre, se quitaron los precintos, y el vizconde entró en la habitación acompañado de su séquito, y ... ¿qué vió? La rueda seguía girando «sin disminuir su velocidad». Después de constatar esto, pararon la máquina, la examinaron minuciosamente, y la volvieron a poner en marcha. Durante cuarenta días quedó otra vez cerrada y precintada la habitación, y durante cuarenta días volvieron a hacer guardia ante su puerta los granaderos. El 4 de enero de 1718, fueron levantados los precintos y una comisión de expertos encontró que la rueda continuaba moviéndose.

El vizconde, no contento con esto, decidió someter la máquina a una nueva prueba, dejándola precintada durante dos meses enteros. Y, al final de este plazo... ¡la encontraron moviéndose!

Como recompensa, el inventor recibió del vizconde un certificado en el que se decía, que su «perpetuum mobile» daba 50 vueltas por minuto y podía levantar 16 kg a una altura de 1,5 metros, así como poner en movimiento un fuelle de herrero

Fig. 50. He aquí el secreto de la rueda de Orfirius (reproducción de un antiguo dibujo).



y una máquina de afilar. Con este certificado, Orfirius recorría Europa, y es de suponer que sus ganancias eran considerables, puesto que si dio su conformidad para vender la máquina a Pedro I, lo hizo nada menos que por 100 000 rublos.

La nueva sobre el extraordinario invento del doctor Orfirius, se extendió por toda Europa, penetrando hasta en los países más alejados de las fronteras de Alemania. De esta forma llegó a oídos de Pedro I y despertó en este zar, tan entusiasta de las «máquinas ingeniosas», un extraordinario interés.

Pedro I comenzó a interesarse por la rueda de Orfirius en el año 1715, durante su estancia en el extranjero, y ya entonces encomendó al conocido diplomático A. Osterman, que se enterase más de cerca de lo que de este invento había. El diplomático envió sin demora un detallado informe sobre la máquina, aunque personalmente no logró verla. Pedro I pensaba proponer a Orfirius, como eminente inventor, un cargo a su servicio y, con este motivo, encomendó que solicitasen del célebre filósofo de aquel tiempo (maestro de Lomonosov), Christian Wolff, la opinión: que sobre él tenía.

Elinsignei inventor recibía de todas partes lisonjeras proposiciones. Los grandes de todo el mundo lo colmaron de los más

altos favores; los poetas componían odas e himnos en loor de su maravillosa rueda. Pero tampoco faltaron malintencionados, que sospecharon la existencia de algun hábil engaño. Hubo atrevidos que abiertamente acusaron a Orfirius de bribonería. Se ofreció un premio de 1 000 marcos al que descubriera el fraude. En uno de los panfletos escritos con fines de desenmascararlo, encontramos el dibujo que reproduce la fig. 50. El secreto de este motor de «movimiento continuo», en opinión del autor del panfleto, consistía sencillamente en que, una persona, hábilmente escondida, tiraba de una cuerda, la cual, de forma invisible, se hallaba enrollada en la parte del eje de la rueda que entraba dentro del montante.

Pero esta fina bribonería pudo descubrirse solamente por casualidad, cuando el letrado doctor regañó con su esposa y su sirvienta, las cuales eran copartícipes del secreto. De no haber ocurrido este incidente, lo más probable es que hasta ahora hubieramos seguido sin entender el «perpetuum mobile» que tanto ruido armó. Como se supo entonces, el dichoso motor estaba efectivamente movido por personas ocultas, las cuales tiraban disimuladamente de un cordón delgado. Estas personas eran, el hermano del inventor y su sirvienta.

Sin embargo, el desenmascarado inventor no se dio por vencido, sino que aseguró obstinadamente hasta su fallecimiento, que la delación de que fue objeto por parte de su mujer y de la criada, era producto del rencor. Pero, pese a todo, perdió la confianza que en él tenían. Por esto es por lo que el aseguraba al embajador de Pedro I, es decir, a Schumacher, que la gente era malintencionada y que «el mundo está lleno de gentes malas, de las cuales no es posible creer nada».

En la época de Pedro I también se hizo célebre en Alemania el motor de «movimiento continuo» de un tal Gärtner. Sobre esta máquina, Schumacher escribía lo siguiente: «El perpetuum mobile del señor Gärtner, que he visto en Dresden, consta de un lienzo lleno de arena y de una máquina parecida a una rueda de afilar, la cual se mueve a sí misma hacia adelante y hacia atrás, pero según palabras del señor inventor, no se puede hacer en gran tamaño». Indudablemente, este motor tampoco conseguiría su propósito, y, en el mejor de los casos, no pasaría de ser un mecanismo raro, provisto de un motor viviente, que no sería «eterno» ni mucho menos, y que se encontraría hábilmente disimulado. Schumacher tenía mucha razón al escribirle a Pedro I, que los científicos franceses e ingleses «no creen en estos perpetuum mobile y dicen que están en contradicción con los principios matemáticos».

PROPIEDADES DE LOS LIQUIDOS Y DE LOS GASES

EL PROBLEMA DE LAS DOS CAFETERAS

En la fig. 51 se muestran dos cafeteras de igual anchura: una de ellas, más alta, y otra, más baja. ¿Cuál de las dos tiene mayor capacidad?

Es posible que sean muchos los que, sin pensarlo, digan que la cafetera más alta es la que tiene mayor capacidad. Sin embargo, si echamos líquido en la cafetera más alta, veremos que sólo puede llenarse hasta el nivel del orificio del pitorro, ya que después comenzará a derramarse el líquido. Y como los orificios de los pitorros de ambas cafeteras se encuentran a una misma altura, la cafetera baja puede contener la misma cantidad de líquido que la alta.

Esto es comprensible. En la cafetera y en el tubo del pitorro, lo mismo que en unos vasos comunicantes cualesquiera, el líquido debe tener el mismo nivel, aunque el peso del líquido que llena el pitorro sea mucho menor que el del resto de la cafetera. Si el pitorro no es suficientemente alto, no habrá manera de llenar la cafetera hasta arriba, porque el agua se derramará. Generalmente, los pitorros se hacen más altos que los bordes de la cafetera, para que sea posible inclinarla un poco sin que se derrame el contenido.

LO QUE NO SABIAN LOS ANTIGUOS

Los habitantes de la Roma contemporánea siguen utilizando hasta ahora los restos de un acueducto construido por los antiguos romanos. ¡Qué sólidas eran las obras de conducción de aguas que hacían los esclavos romanos!

Desgraciadamente no se puede decir lo mismo de los conocimientos de los ingenieros que dirigieron estos trabajos. Está claro que éstos debían tener escasos conocimientos de los fun-

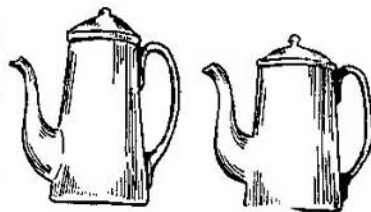


Fig. 51. ¿En cuál de estas cafeteras se puede echar más agua?

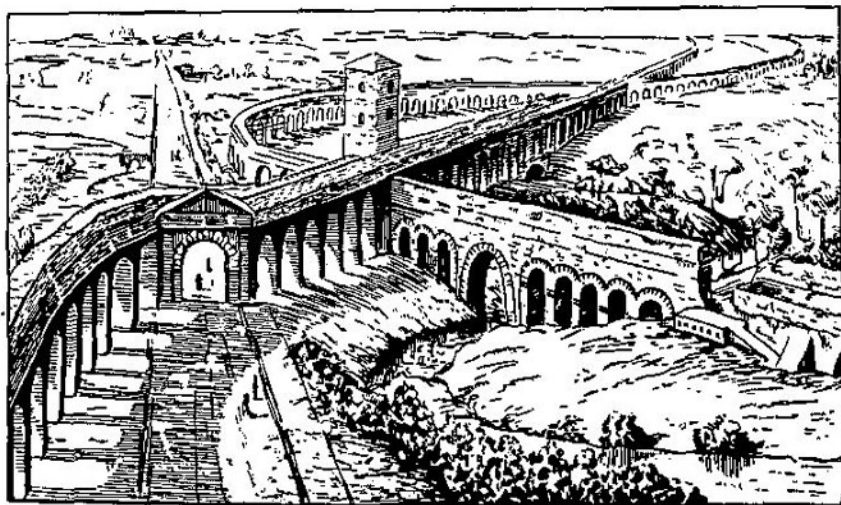


Fig. 52. Aspecto original de los acueductos de la antigua Roma.

damentos de la Física. Fijémonos si no en la fig. 52, la cual reproduce uno de los cuadros del Museo Alemán de Munich. Como puede verse, la conducción de agua romana no se tendía bajo tierra, sino que pasaba por altos acueductos de piedra. ¿Para qué se hacían estos acueductos? ¿No hubiera sido más fácil tender unos tubos bajo tierra, como se hace ahora? Claro que hubiera sido más fácil, pero los ingenieros de entonces tenían unos conocimientos muy rudimentarios de las leyes de los vasos comunicantes. Dudaban de que el nivel del agua en dos depósitos, unidos entre sí por largas tuberías, pudiera ser igual. Si los tubos se tienden en tierra, siguiendo el declive del terreno, en ciertos sectores el agua tiene que correr hacia arriba. Los romanos temían precisamente esto, es decir, pensaban que el agua no podía correr hacia arriba. Por esta razón es por la que, generalmente, daban a sus tuberías de conducción de agua un declive uniforme en todos los puntos del trazado (para lo cual se necesitaba frecuentemente hacer que el agua diese un rodeo, o levantar altos acueductos). Una de las tuberías romanas, la Aqua Martia, tiene una longitud de 100 km, a pesar de que la

distancia entre sus dos extremos, en línea recta, es dos veces menor.

¡Medio centenar de kilómetros de obras de piedra, construídas por no conocer una ley elemental de la Física!

LOS LIQUIDOS EMPUJAN... ¡HACIA ARRIBA!

El hecho de que los líquidos presionan 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 muchos ni sospechan siquiera que los líquidos empujan también hacia arriba. Un vulgar tubo de cristal, de lámpara de petróleo o de otro tipo, siempre que sea ancho, ayudará a convencernos de que este empuje hacia arriba existe realmente. Recortemos un redondel de cartón fuerte, de forma que su diámetro sea algo mayor que el del tubo antedicho. Tapemos con este redondel la entrada del tubo e introduzcámoslo después en un recipiente con agua, como se muestra en la fig. 53. 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, es fácil comprobar que el redondel de cartón se sostiene perfectamente solo, sin necesidad de que lo sostengamos apretando el dedo o tirando del hilo. Es el agua, que empuja de abajo a arriba, la que lo aprieta.

Esta presión que ejerce el agua hacia arriba se puede medir. Para ello, basta echar con precaución agua en el tubo; en cuanto el nivel dentro de éste se aproxima al del agua de la vasija, se desprende el redondel. Es decir, la presión que el agua ejerce sobre el redondel, desde abajo, se equilibra por arriba con la presión que ejerce la columna de agua (que hay dentro del tubo), cuya altura es igual a la profundidad a que está sumergido el cartón. 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.

Si se dispone de varios tubos de lámparas de petróleo de diferentes formas, pero con orificios iguales, se puede comprobar otro de los principios relativos a los líquidos, según el cual, la presión que los líquidos



Fig. 53. Un procedimiento sencillo para convencerse de que los líquidos empujan de abajo a arriba.

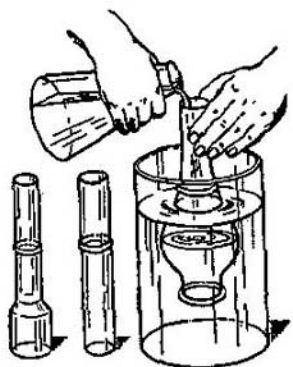


Fig. 54. La presión del líquido sobre el fondo de la vasija depende exclusivamente del área de su base y de altura a que se encuentra el nivel del líquido. En la figura se muestra un procedimiento para comprobar esta regla.

ejercen sobre el fondo de la vasija que los contiene, depende exclusivamente del área de su base y de la altura a que se encuentra el nivel de líquido, sin que la forma de la vasija influya en absoluto. La comprobación consistirá en hacer con estos tubos diferentes el experimento anteriormente descrito, introduciéndolos sucesivamente en el agua a una misma profundidad (para esto, lo mejor es pegar previamente en cada tubo una tirita de papel, de forma que quede a la misma altura). Podremos observar, que el nivel del líquido, dentro de los tubos, llgue a la misma altura (fig. 54). Es decir, que la presión que ejercen las columnas de agua de distintas formas, es igual, siempre que sean iguales sus bases y sus alturas. Llamamos la atención sobre el hecho de que, en este caso, lo más 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 corta, vertical, que tenga la misma *altura* que aquélla (siempre que sea igual el área de sus bases).

¿QUE PESA MAS?

En uno de los platillos de una balanza hay un cubo lleno de agua hasta los bordes. En el otro platillo, un cubo exactamente igual, *también lleno hasta los bordes*, pero en él flota un trozo de madera (fig. 55). ¿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, se encuentra la madera». Otras, por el contrario, mantenían que pesa más el primero, «ya que el agua es más pesada que la madera».

Pero ni las unas ni las otras tenían razón. Los dos cubos pesan *lo mismo*. Es verdad, que el segundo cubo tiene menos agua que el primero, porque el trozo de madera al flotar desaloja un determinado volumen de la misma. Pero, según el principio de la flotación, cualquier cuerpo *flotante* desaloja, con su

Fig. 55. Estos dos cubos son iguales y están llenos de agua hasta los bordes: pero en uno de ellos flota un trozo de madera. ¿Cuál de los dos pesa más?



parte sumergida, una cantidad de líquido *exactamente igual* (en peso) a su peso total. He aquí por qué la balanza deberá mantenerse en equilibrio.

Resolvamos 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 meto 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. Sin embargo, la balanza sigue en equilibrio. ¿Cómo se explica esto?

La pesa, al hundirse en el vaso, desaloja parte del agua; este agua se desplaza hacia arriba y ocupa un nivel más alto que el que antes tenía. Como resultado de esto, la presión sobre el fondo del vaso aumenta, es decir, este fondo sufre una presión suplementaria, igual al peso que pierde la pesa.

LA FORMA NATURAL DE LOS LIQUIDOS

Estamos acostumbrados a pensar, que los líquidos no tienen forma *propia*. Pero esto no es así. La forma natural de todo líquido es la de una esfera. Generalmente, la gravedad impide que los líquidos tomen esta forma, y por eso, unas veces se extienden formando una capa delgada, como ocurre cuando se vierten fuera de las vasijas, o toman la forma de éstas cuando se echan en ellas. Pero cuando se encuentran en el seno de otro líquido de la misma densidad, los líquidos, por el principio de Arquímedes, «pierden» su peso, quedándose como si no pesaran nada, es decir, como si la gravedad no influyera sobre ellos, y entonces adoptan su forma natural esférica.

El aceite de oliva flota en el agua, pero se hunde en el alcohol. Por consiguiente, puede prepararse una mezcla de agua y alcohol, en la cual dicho aceite ni flote ni se hunda hasta el fondo. Si en esta mezcla se introduce un poco de aceite, valiéndose de una jeringa, veremos una cosa rara: el aceite se agrupa formando una gran gota esférica, que no sube a la superficie ni baja al

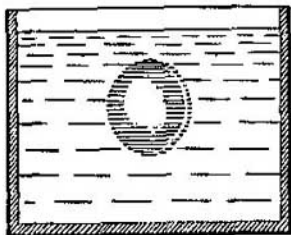


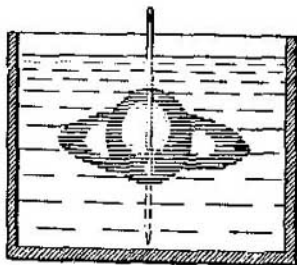
Fig. 56. El aceite que se encuentra en esta vasija llena de alcohol diluido se agrupa formando una esfera, la cual, ni se hunde ni sube a la superficie (experimento de Plateau).

fondo, sino que permanece inmóvil como si estuviera suspendida* (fig. 56).

El experimento debe hacerse con calma y precaución, porque, de lo contrario, puede obtenerse, no una gota grande, sino varias esferitas más pequeñas. Pero incluso si ocurre así, el experimento no deja de ser interesante.

Si se atraviesa la esfera de aceite, haciendo pasar por su centro una varilla de madera o un alambre, y se hace que esta última gire, la esfera comenzará también a girar. (Este experimento resulta mejor cuando en la varilla se coloca un redondelito de cartón impregnado en aceite y se introduce este último en la antedicha esfera). Por la acción del movimiento giratorio, la esfera comienza a achatarse y, al cabo de unos segundos, se desprende de ella un anillo (fig. 57). Este anillo se divide posteriormente en varias partes, las cuales no originan trozos deformes, sino nuevas gotas esféricas que siguen girando alrededor del centro de la esfera primitiva.

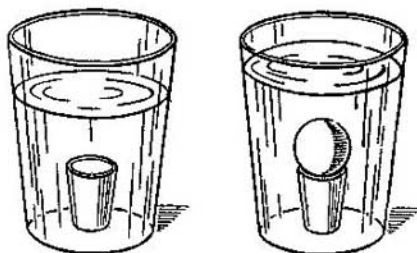
El primero en practicar este curioso experimento fue el físico belga Plateau. La descripción que acabamos de hacer corresponde a la forma clásica del experimento. Pero resulta más fácil, y no menos instructivo, efectuarlo de la siguiente forma: se toma un vaso pequeño y, después de enjuagarlo, se llena de aceite de oliva y se coloca en el fondo de un vaso mayor. En este último se echa, con precaución, la cantidad de alcohol que sea necesaria para que el vaso pequeño



* Para que la esfera no parezca deformada, este experimento debe hacerse en una vasija de paredes planas (o en una de cualquier forma, pero que se encuentre a su vez dentro de otra, llena de agua, que tenga las paredes planas).

Fig. 57. Si la esfera oleosa que se encuentra en el alcohol diluido se hace girar rápidamente, por medio de una varilla que la atraviese, de esta esfera se separa un anillo.

Fig. 58. Simplificación del experimento de Plateau.



quede totalmente sumergido en él. Luego, con una cucharilla, se va añadiendo, poco a poco, agua (de manera que escurra por la pared del vaso grande).

La superficie del aceite del vaso pequeño se irá haciendo cada vez más convexa, hasta que, cuando la cantidad de agua añadida sea suficiente, el aceite se desprenda de dicho vaso y forme una esfera de dimensiones bastante grandes, que quedará suspendida dentro de la mezcla de alcohol y agua (fig. 58).

Si no se dispone de alcohol, este experimento se puede hacer con anilina, que es un líquido cuya densidad es mayor que la del agua, a temperatura normal, y menor que la de ésta a 75-85°C. Por consiguiente, calentando el agua podemos hacer que la anilina flote sumergida en ella, en cuyo caso tomará la forma de una gran gota esférica. A la temperatura normal, la gota de anilina puede equilibrarse utilizando, en lugar de agua, una disolución de sal común*.

En el año 1963, durante el vuelo en grupo de las naves cósmicas «Vostok-3» y «Vostok-4», los cosmonautas soviéticos Nicoláev y Popóvich hicieron una serie de experimentos para determinar el comportamiento de los líquidos en estado de ingravidez. Algunos de los resultados fueron inesperados, por ejemplo, el líquido contenido en una vasija esférica no se reunió en su centro, formando una esfera, como se esperaba, sino que recubrió las paredes internas del matraz, dejando en el centro una pompa de aire. Es decir, el aire se comportó lo mismo que el aceite en el experimento de Plateau.

¿POR QUE SON REDONDOS LOS PERDIGONES?

Acabamos de decir, que todo líquido, en cuanto se libera de la acción de la gravedad, toma su forma natural, es decir, la de esfera. Si recordamos lo que dijimos anteriormente sobre

* Entre otros líquidos que pueden emplearse también para este experimento, resulta cómoda la ortotoluidina, que tiene color rojo oscuro y que a 24°C tiene la misma densidad que el agua salada en que se sumerge.

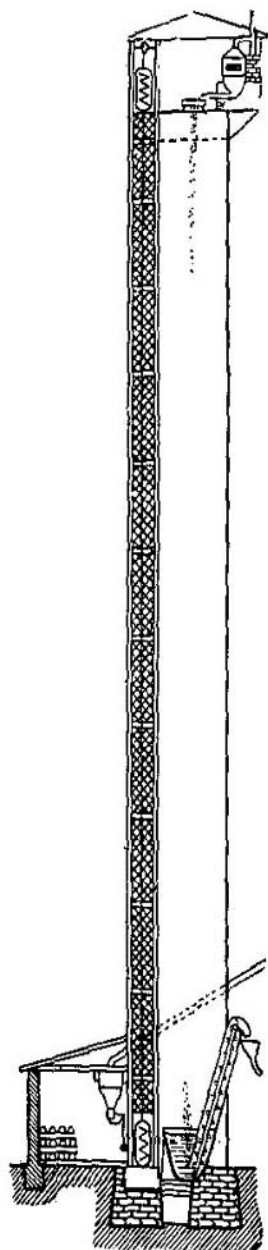


Fig. 59. Torre perdigonera de una fábrica de municion.

la ingravidez de los cuerpos cuando caen, y consideramos que la insignificante resistencia que el aire opone al comenzar la caída puede desprejarse*, podemos figurarnos que las porciones de un líquido al caer, también deben tomar la forma de esferas. Efectivamente, las gotas de lluvia toman esta forma cuando caen. Los perdigones no son más que gotas de plomo fundido, enfriadas. En las fábricas se hace que el plomo fundido tome la forma de gotas, obligándole a caer, desde una gran altura, en un baño de agua fría, en el cual se enduren aquéllas conservando su perfecta esfericidad.

Los perdigones fundidos por este procedimiento se llaman de «torre», porque al fabricarlos se hace que el plomo fundido caiga desde la parte superior de una alta torre «perdigonera» (fig. 59). Las torres de las fábricas de municion son metálicas y llegan a tener hasta 45 m de altura. En la parte más alta de estas torres, se encuentra la fundición, con las calderas para fundir el plomo, mientras que en la más baja hay un depósito con agua. Los perdigones, después de fundidos, se clasifican y se someten a operaciones de acabado. La gota de plomo fundido se enfría, formando el perdigón, mientras cae; el depósito de agua sirve únicamente para amortiguar el golpe de aquél cuando llega abajo y evitar que sufra deformaciones su esfericidad. (Los perdigones de más de 6 mm de diámetro, denominados *metralla*, se hacen por otro procedimiento, el cual consiste en cortar trocitos de alambre y someterlos a rodado).

UNA COPA «SIN FONDO»

Llenemos de agua, hasta los bordes, una copa. Estará completamente llena. Pongamos junto a la co-

* Las gotas de lluvia bajan aceleradamente sólo al comienzo de su caída; aproximadamente, ya en la segunda mitad del primer segundo esta caída se efectúa con movimiento uniforme. El peso de las gotas se equilibra con la resistencia del aire, la cual aumenta al crecer la velocidad de las gotas.

Fig. 60. El experimento con la copa de agua y los alfileres es asombroso.



pa varios alfileres. ¿Es posible que quepan en la copa uno o dos alfileres, sin que rebose? Hagamos la prueba.

Comencemos a echar alfileres y vayamos contándolos. Hay que echarlos con cuidado, empezando por introducir en el agua la punta y soltando después el alfiler, sin empujarle ni hacer presión, para evitar que cualquier sacudida pueda hacer que se derrame el líquido. Uno, dos, tres alfileres caen al fondo, pero el nivel del agua sigue invariable. Diez, veinte, treinta alfileres ..., el líquido no se derrama. Cincuenta, sesenta, setenta..., todo un centenar de alfileres reposan ya en el fondo, y el agua de la copa sigue sin derramarse (fig. 60).

No sólo no se derrama, sino que ni siquiera sobresale sensiblemente de los bordes de la copa. Continuemos echando alfileres. El segundo, el tercero y el cuarto centenar están ya dentro de la vasija y ni una gota de agua habrá rebotado de sus bordes, aunque ahora se nota cómo la superficie del agua sobresale un poco de aquéllos. Esta prominencia encierra la explicación del fenómeno. El agua moja poco el vidrio, en cuanto éste tiene el menor indicio de grasa, y, por regla general, las copas, lo mismo que toda la vajilla en uso, tienen huellas de grasa, por haberlas tocado con los dedos. Por esta razón, el agua que desaloja los alfileres, al no mojar los bordes de la copa, forma la prominencia. Esta prominencia (menisco) parece insignificante a simple vista, pero si nos tomamos el trabajo de calcular el volumen de un alfiler y de compararlo con el volumen de aquélla, nos convenceremos que el primero de estos volúmenes es centenares de veces menor que el segundo, por lo cual, en la copa «llena» pueden caber aún varios centenares de alfileres. Mientras más ancha sea la vasija, más alfileres se podrán echar en ella, ya que el volumen de la prominencia será mayor.

Para que quede más claro, hagamos un cálculo aproximado. Los alfileres tienen, aproximadamente, 25 mm de largo y medio milímetro de grueso. El volumen de un cilindro como éste es

fácil de calcular por la conocida fórmula geométrica $\left(\frac{\pi d^2 h}{4}\right)$, y es igual a 5 mm³. Con cabeza y todo, el volumen de un alfiler no excede de 5,5 mm³.

Calculemos ahora el volumen de la capa de agua que sobresale de los bordes de la copa. El diámetro de ésta es de 9 cm = 90 mm. El área del círculo, cuyo diámetro es 90 mm, es igual a 6 400 mm². Suponiendo que la capa de agua que sobresale tiene solamente 1 mm de espesor, su volumen será de 6 400 mm³, es decir, 1 200 veces mayor que el de un alfiler. Dicho de otra forma, una copa «llena» puede alojar, además... ¡más de mil alfileres! Y, efectivamente, echando los alfileres con precaución, puede añadirse todo un millar de ellos, de manera que, a simple vista, parecerá que ocupan toda la vasija y hasta sobresalen de sus bordes, sin que el agua se derrame.

UNA INTERESANTE RECLUIARIDAD DEL PETROLEO

Quien haya tenido que utilizar una lámpara de petróleo conoce perfectamente las desagradables sorpresas que ocasiona una de las peculiaridades de este líquido. Se llena el depósito, se seca por fuera y, al cabo de una hora, está otra vez húmedo. Se debe esto, a que al poner la boquilla, ésta no se atornilla bien, y el petróleo, que tiende a extenderse por el tubo de cristal, escurre por la superficie externa del depósito. El que quiera evitar semejantes «sorpresas» tiene que atornillar la boquilla, apretándola lo más posible*.

Esta propiedad de escurrirse que tiene el petróleo, se nota de manera muy desagradable en los barcos cuyas máquinas consumen este tipo de combustible. En estos barcos, si no se toman medidas especiales, es imposible transportar nada que no sea petróleo, porque este líquido se fuga de los depósitos, infiltrándose a través de rendijas imperceptibles, y no sólo se esparce por la superficie metálica de los propios depósitos, sino que impregna literalmente todo, hasta la ropa de los pasajeros, transmitiendo a todos los objetos su inextinguible olor. Los intentos de combatir esta contrariedad resultan frecuentemente infructuosos.

* Cuando la boquilla se aprieta a fondo hay que cerciorarse de que el depósito no está lleno hasta los bordes, ya que el petróleo, cuando se calienta, se dilata bastante (su volumen aumenta en una décima parte al subir la temperatura en 100°C) y hay que dejar sitio suficiente para que esta dilatación no reviente el depósito.

El humorista inglés Jerome, no exageraba mucho cuando en su narración titulada «Tres en un bote», decía lo siguiente del petróleo:

«No conozco ningún cuerpo que tenga más facilidad de infiltrarse por todas partes que el petróleo. Lo guardábamos en la proa del bote, pero desde allí se corrió hasta el otro extremo, impregnando con su olor todo cuanto halló a su paso. Infiltrándose a través del revestimiento, goteaba en el agua, estropeaba el aire y el cielo y nos envenenaba la vida. Unas veces el viento petrolífero soplabá de occidente, otras de oriente. En otras ocasiones este viento de petróleo venía del norte o del sur, pero viniera del helado Artico o de las arenas del desierto, siempre llegaba a nosotros saturado del aroma de petróleo. Por las tardes, este perfume destrozaba los encantos de las puestas de Sol, mientras que los rayos de la Luna eran corroídos por el petróleo. Atamos el bote junto a un puente y nos fuimos a pasear por la ciudad, pero el maldito olor nos perseguía. Parecía que estaba impregnada toda la ciudad». (En realidad, lo único que estaba impregnado era la ropa de los viajeros).

La facilidad que tiene el petróleo para mojar la superficie exterior de los depósitos en que se encuentra, dio lugar a la falsa idea de que este líquido puede infiltrarse a través de los metales y del vidrio.

UNA MONEDA QUE NO SE HUNDE EN EL AGUA

La moneda que no se hunde en el agua, existe, no solo en los cuentos, sino también en la realidad. Para convencerse de esto bastará hacer varios experimentos. Empecemos por objetos más pequeños, como son las agujas. Al parecer, es imposible que una aguja de acero flote en la superficie del agua, y sin embargo, no es difícil conseguir que esto ocurra. Pongamos en la superficie del agua un papel de fumar y depositemos sobre él una aguja completamente seca. Ahora no queda más que quitar con cuidado el papel de fumar. Para ello, se puede proceder del modo siguiente: se coge otra aguja o un alfiler y se van hundiendo con él los bordes del papel de fumar, teniendo precaución y avanzando paulatinamente hacia el centro, hasta que todo el papel se moja y se va al fondo, mientras que la aguja continúa flotando (fig. 61). Si acercamos un imán a las paredes del vaso, al nivel del agua, podremos hacer que la aguja se mueva sin dejar de flotar en el agua.

Cuando se tiene cierta habilidad se puede prescindir del papel de fumar. Bastará coger la aguja por su parte media

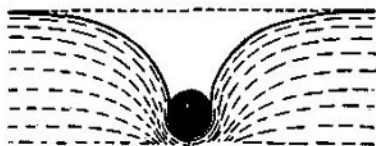
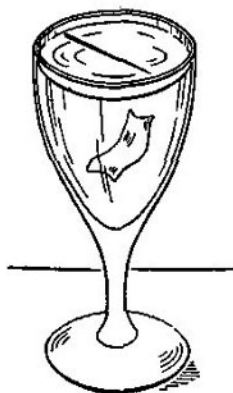


Fig. 61. La aguja flotando en el agua. Arriba, corte de la aguja (de 2 mm de diámetro) y forma exacta de la concavidad que se forma en la superficie del agua (aumentada en 2 veces). Abajo, procedimiento para hacer flotar la aguja por medio de un trozo de papel.



y dejarla caer horizontalmente sobre la superficie del agua, desde poca altura.

En lugar de una aguja podemos hacer que flote un alfiler (tanto la una como el otro no deben tener más de 2 mm de grueso), un botón que sea ligero u otros objetos metálicos que sean planos y pequeños. Después de entrenarnos de esta manera, se puede intentar hacer que flote un copeck.*

La causa de que floten estos objetos metálicos es, que el agua moja mal el metal, que por haber estado en nuestras manos, está recubierto de una tenue capa de grasa. Por esto, en la superficie del agua se forma una concavidad alrededor de las agujas que flotan. Esta concavidad se puede notar a simple vista. La película superficial del líquido, al tender a enderezarse, empuja hacia arriba la aguja, con lo cual hace que ésta se mantenga a flote. También contribuye a la flotación de la aguja la fuerza con que empuja el líquido, de acuerdo con la ley de la flotación, es decir, la aguja es empujada desde abajo por una fuerza igual al peso del agua que desaloja.

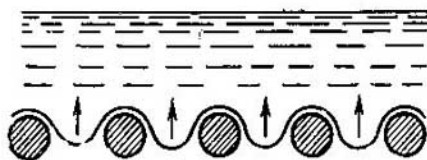
No hay nada más fácil que hacer que una aguja flote, si antes se la engrasa con aceite. Después de preparada así, cualquier aguja puede depositarse directamente sobre la superficie del agua, sin temor a que se hunda.

AGUA EN UNA CRIBA

Resulta, que llevar agua en una criba no sólo es posible en los cuentos. Los conocimientos de Física ayudan a realizar esto, que clásicamente se consideró imposible. Para ello, no hay más que coger una criba de alambre, de unos 15 cm de diámetro,

* Moneda rusa de cobre equivalente a la centésima parte del rublo. Sus dimensiones y peso son aproximadamente iguales a las de un céntimo. (N. del T.)

Fig. 62. ¿Por qué no se derrama el agua contenida en una criba parafinada?



cuyas mallas no sean demasiado pequeñas (cerca de 1 mm), e introducir su rejilla en un baño de parafina derretida. Cuando se saca la criba del baño, sus alambres están revestidos de una 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 servir para llevar agua, en el sentido literal de la expresión. En una criba así puede mantenerse una capa de agua bastante alta, sin que se derrame a través de las mallas. No obstante, el agua debe echarse en la criba con cuidado y procurar que ésta no sufra sacudidas.

¿Por qué no se derrama el agua? Porque como ésta no moja la parafina, forma en las mallas de la criba unas películas delgadas, cuya concavidad mira hacia abajo. Estas películas son las que sostienen el agua (fig. 62).

Si una criba como ésta se coloca sobre el agua, flotará en ella. Es decir, que la criba puede servir para llevar agua y para navegar.

Este experimento, tan paradójico al parecer, explica toda 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 se desea hacer impermeables al agua, no es otro que el de convertirlos en una especie de criba como la que acabamos de describir. La esencia de estos dos hechos es la misma, aunque en el caso de la criba presenta un aspecto al cual no estamos acostumbrados.

LA ESPUMA AL SERVICIO DE LA TECNICA

La flotación de agujas de acero y de monedas de cobre en el agua, de que hemos tratado en los experimentos anteriores, tiene gran semejanza con un fenómeno que se utiliza en la industria minero-metalúrgica para el enriquecimiento de los minerales, es decir, para aumentar la cantidad de componentes

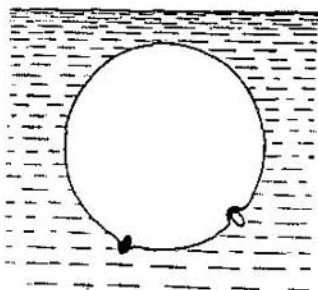


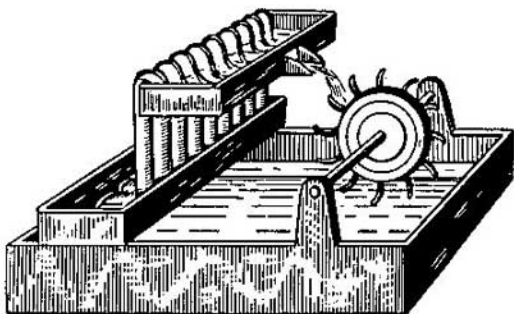
Fig. 63. Así se produce la flotación.

útiles que contienen. En la técnica se emplean muchos procedimientos para enriquecer los minerales, pero éste de que vamos a hablar ahora, y que se conoce con el nombre de «flotación», es el más efectivo y suele emplearse hasta en aquellos casos en que todos los demás no dan resultado.

La esencia de la flotación consiste en lo siguiente: el mineral, finamente triturado, se echa en una cuba con agua y sustancias oleaginosas, las cuales tienen la propiedad de envolver las partículas de mineral útil, formando una película finísima que no se moja en el agua. Esta mezcla se remueve enérgicamente, para que penetre en ella el aire y se forme una especie de espuma, integrada por multitud de diminutas burbujas. Al ocurrir esto, las partículas de mineral útil, envueltas por la película oleaginosa, se ponen en contacto con la envoltura de las burbujas de aire, se adhieren a ellas y son arrastradas hacia arriba, de la misma manera que un globo eleva en la atmósfera a su barquilla (fig. 63). Mientras tanto, las partículas de ganga, que no son afectadas por la sustancia oleaginosa y que, por consiguiente, son más pesadas, no se adhieren a las burbujas y se quedan en el líquido. Hay que señalar, que las burbujas de aire que forman la espuma son mucho más voluminosas que las partículas de mineral, por lo que su flotabilidad es suficiente para arrastrar a dichas partículas hacia arriba. Como resultado, casi todas las partículas de mineral útil acaban encontrándose en la espuma que recubre al líquido. Esta espuma se recoge y se elabora convenientemente, para obtener lo que se llama «concentrado», el cual suele ser decenas de veces más rico en mineral útil que las menas de que se extrae.

La técnica de la flotación está tan bien estudiada, que es cogiendo debidamente los líquidos a emplear, se puede separar

Fig. 64. Un molinete irrealizable.



cualquier mineral útil de su ganga, cualquiera que sea la composición de ésta.

La idea del empleo de la flotación para estos fines no fue concebida teóricamente, sino gracias a la atenta observación de un hecho casual. A finales del siglo pasado, una maestra norteamericana (Carrie Everson), mientras lavaba unos sacos gra-sientos, que habían estado llenos de pirita de cobre, se fijó en que las partículas de pirita emergían junto con la espuma. Este hecho fue el que estimuló el desarrollo del procedimiento antes mencionado.

OTRO SEUDO -- «PERPETUUM MOBILE»

En algunos libros se describe como verdadero motor de «movimiento continuo» el aparato estructurado de la siguiente forma (fig. 64): en un recipiente hay aceite (o agua) que, por medio de unas mechas, se eleva primeramente a una vasija más alta y luego, por otras mechas, a un depósito superior. Este depósito superior tiene un vertedero por el cual sale el aceite y hace que se mueva una rueda de paletas. El aceite que escurre hacia abajo, vuelve a subir por las mechas hasta el depósito. De esta forma, el chorro de aceite que sale por el vertedero y va a caer en la rueda, no se interrumpe ni un segundo y, por consiguiente, esta última debe estar siempre en movimiento.

Si los autores de este molinete se hubieran tomado la molestia de construirlo, se habrían convencido de que ni la rueda gira... ni una sola gota de líquido llega al depósito superior!

Para comprender esto no hace falta hacer el molinete. Efectivamente, ¿de dónde saca el inventor que el aceite debe escurrir hacia abajo por la parte doblada de la mecha? La misma capi-

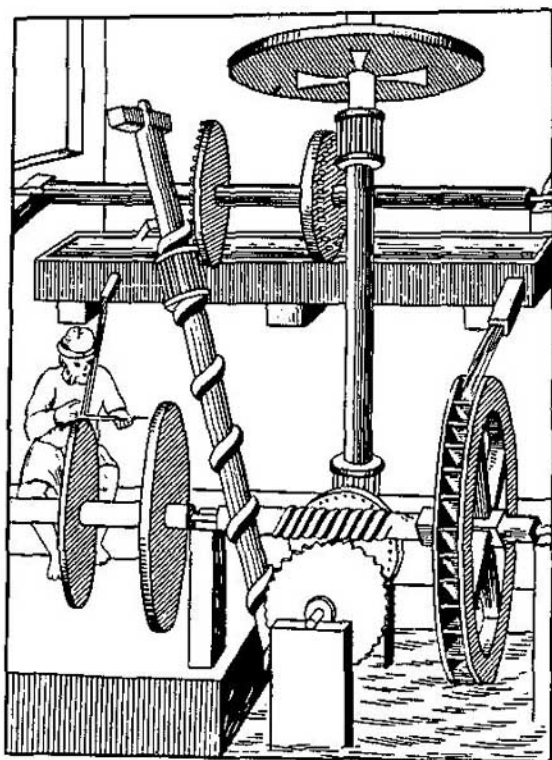


Fig. 65. Un viejo proyecto de motor hidráulico de «movimiento continuo» para accionar una muela de afilar.

laridad que hace que el líquido venza la gravedad y se eleve por la mecha, retiene a aquél en los poros de ésta e impide que gotee. Suponiendo que el líquido pudiera llegar al depósito superior del aparato por capilaridad, habría que admitir también que las mismas mechas que lo trajeron hasta aquí, se lo podrían volver a llevar a la vasija de abajo.

Este pseudomotor nos recuerda otra máquina hidráulica, también de «movimiento continuo», ideada en 1575 por el mecánico italiano Strade el Mayor. En la fig. 65 está representado este interesante proyecto. Un tornillo de Arquímedes gira y eleva agua a un depósito superior, desde donde ésta sale en chorro por un vertedero y va a chocar con las paletas de una rueda hidráulica (abajo a la derecha). Esta rueda hidráulica hace que gire una muela de afilar y, al mismo tiempo mueve, por medio

de una serie de ruedas dentadas, el tornillo de Arquímedes que eleva el agua al depósito superior. Es decir, ¡el tornillo mueve la rueda y la rueda mueve al tornillo! Si semejantes mecanismos fueran posibles, lo mejor sería hacer lo siguiente: coger una polea, pasar por ella una cuerda y colgar en cada uno de sus extremos una pesa; cuando una de estas pesas baje, hará que suba la otra, y ésta, a su vez, al descender, hará que se eleve la primera. ¿No sería esto el «movimiento continuo»?

POMPAS DE JABÓN

Hacer pompas de jabón no es tan fácil como parece. Yo también creía que para esto no se necesitaba ningún entrenamiento, hasta que no me convencí prácticamente de que hacer pompas grandes y bonitas es, en cierto modo, un arte que requiere habilidad. Pero, ¿vale la pena entrenarse en algo tan inútil como hacer pompas de jabón?

Es verdad, que en la vida ordinaria estas pompas no gozan de buena fama; por lo menos, en la conversación las empleamos para hacer comparaciones poco halagueñas. Pero en Física es otra cosa. «Haced una pompa de jabón — escribía el gran científico inglés Kelvin — y miradla: aunque dediquéis toda vuestra vida a su estudio no dejaréis de sacar de ella nuevas enseñanzas de Física».

Realmente, los mágicos reflejos policromos de la superficie de las tenues películas de jabón, dan al físico la posibilidad de medir la longitud de las ondas luminosas, mientras que el estudio de la tensión de estas delicadas películas contribuye al conocimiento de 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 experimentos que se describen a continuación no persiguen objetivos tan serios. Son simplemente pasatiempos interesantes que 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 experimentos que pueden hacerse con ellas. Recomendamos este magnífico libro a todos aquellos que se interesen por esta materia, ya que aquí nos limitamos a describir los experimentos más simples.

Para estos fines pueden emplearse soluciones de jabón de lavar ordinario*, pero aconsejamos como preferibles las de jabones de aceites puros de oliva o de almendra, que son los más a propósito para obtener pompas grandes y bonitas. La solución

* Los jabones de tocador no sirven para este fin.

se hace desliendo un trozo de dicho jabón en agua clara y fría, hasta que la disolución esté bastante espesa. Lo mejor es utilizar agua limpia de lluvia o de nieve, o, en su defecto, agua hervida, fría. Para aumentar la duración de las pompas, Plateau recomienda añadir a la solución jabonosa 1/3 (en volumen) de glicerina. La espuma y las burbujas que se forman, deben quitarse con una cucharilla. Hecho esto, se introduce en la solución un tubo delgado de arcilla, cuyo extremo debe untarse previamente de jabón, tanto por su parte interior como exterior. También se consiguen buenos resultados con pajas de unos diez centímetros de longitud, cuyo extremo inferior debe abrirse en forma de cruz.

Las pompas se hacen del modo siguiente: después de mojar el tubo en la mezcla, y manteniéndolo verticalmente, para que en su extremo se forme la película de líquido, se empieza a soplar. Como quiera que al hacer esto la pompa se llena con el aire caliente que sale de nuestros pulmones, que es más ligero que el que nos rodea, la pompa inflada se eleva inmediatamente.

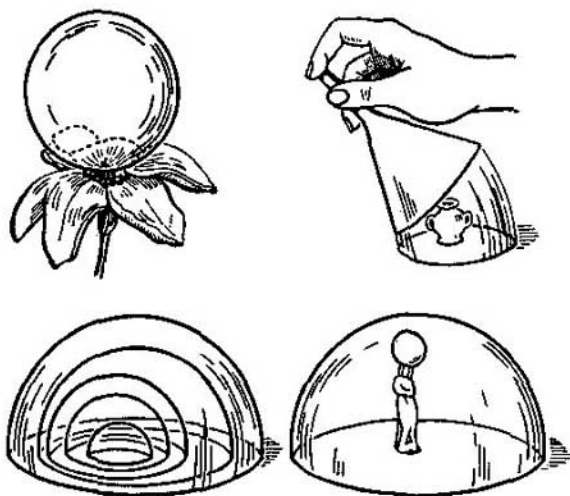
Si se consigue que la primera pompa que se hace tenga 10 cm de diámetro, la mezcla (el agua jabonosa) es buena: en el caso contrario hay que añadirle jabón, hasta que se puedan hacer pompas del diámetro indicado. Pero esta prueba no es suficiente. Después de hacer la pompa, se moja un dedo en la mezcla jabonosa y se intenta introducirlo en aquella; si la pompa resiste, pueden comenzarse los experimentos, si revienta hay que agregarle un poco de jabón.

Los experimentos deben hacerse despacito, con cuidado y tranquilamente. La habitación en que se hacen debe estar lo más iluminada posible, porque de no ser así, las pompas no muestran sus policromos reflejos.

A continuación describimos varios entretenidos experimentos de este tipo.

Una flor debajo de una pompa de jabón. En un plato, o en una fuente, se echa agua jabonosa hasta que su fondo esté cubierto por una capa de 2 ó 3 mm de espesor. En medio del plato se coloca 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 la parte estrecha. Se forma una pompa de jabón. Cuando esta pompa es suficientemente grande, se inclina el embudo, como se muestra en la fig. 66, y se deja libre la pompa. La flor quedará cubierta por un fanal semiesférico transparente, formado por la película de jabón, que reflejará todos los colores del iris.

Fig. 66. Experimentos con pompas de jabón: la pompa posada en la flor; una pompa cubriendo un florero; unas pompas dentro de otras; una estatuilla coronada por una pompa y cubierta por otra



En lugar de la flor puede ponerse una *estatuilla*, cuya cabeza puede coronarse con una pompa (fig. 66). Para hacer 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, envolvente, traspasarla con el tubito y soplar dentro de ella la pompa pequeña.

Unas pompas dentro de otras (fig. 66). Con el embudo que se empleó para experimento anterior, se hace, por el mismo procedimiento que entonces, una gran pompa. Luego, se toma una pajita y se introduce en la solución jabonosa, dejando fuera únicamente el extremo que hay que coger con los labios, y después, con toda precaución, se atraviesa con ella 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 va inflando la segunda pompa dentro de la primera. Repitiendo la operación se hace la tercera, dentro de la segunda, y así sucesivamente.

Un cilindro de película jabonosa (fig. 67) puede obtenerse entre dos anillos de alambre. Para ello, sobre el anillo inferior se deja caer una pompa esférica ordinaria y, luego, en la parte superior de esta pompa se coloca el segundo anillo, previamente mojado, y tirando de él hacia arriba, se va estirando la pompa hasta que adquiere la forma de cilindro. Es interesante el hecho, de que cuando levantamos el anillo superior a una altura

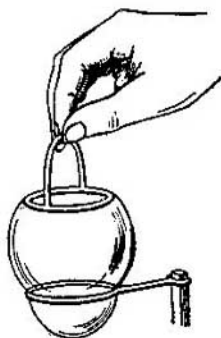


Fig. 67. Manera de obtener un cilindro con la película jabonosa.

mayor que la longitud de su circunferencia, una mitad del cilindro se estrecha, mientras que la otra se ensancha y luego se divide en dos pompas.

La película que forma la pompa de jabón está tensa durante todo el tiempo y presiona sobre el aire que tiene dentro. Si se dirige el embudo hacia la llama de una vela, podemos apreciar que la fuerza de estas sutiles películas no es tan insignificante como pudiera pensarse; la llama se desvía sensiblemente hacia un lado (fig. 68).

También tiene interés observar una pompa cuando se la traslada desde un local caliente a otro frío: se ve cómo su volumen disminuye. Por el contrario, cuando pasa de una habitación fría a otra caliente, se dilata. La causa de este fenómeno es, naturalmente, la compresión y dilatación del aire que hay dentro de la pompa. Si, por ejemplo, una pompa que a la temperatura de -15°C tiene un volumen de $1\ 000\ \text{cm}^3$, se traslada a un local en que la temperatura es de $+15^{\circ}\text{C}$, su volumen deberá aumentar en: $1\ 000 \times 30 \times \frac{1}{273} = 110\ \text{cm}^3$, aproximadamente.

Hay que indicar también, que la idea general de que las pompas de jabón son poco duraderas, no es exacta. Cuando se tiene cuidado con ellas, las pompas de jabón pueden conservarse décadas enteras. El físico inglés Dewar (célebre por sus trabajos de licuación del aire) guardaba las pompas de jabón en unas botellas especiales, que impedían que les entrase polvo, que se secasen y que sufrieran las sacudidas del aire. En estas condiciones consiguió conservar algunas pompas más de un mes. En Norteamérica, Lawrence logró conservar pompas de jabón, debajo de un fanal, durante años.

¿QUE ES MAS DELGADO?

Seguramente son pocos los que saben, que la película que forma las pompas de jabón es una de las cosas más delgadas que pueden apreciarse a

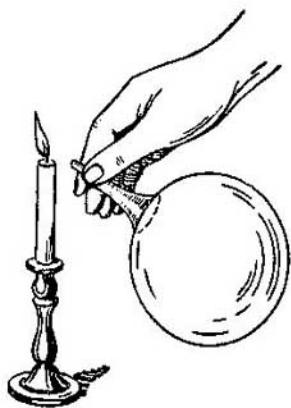
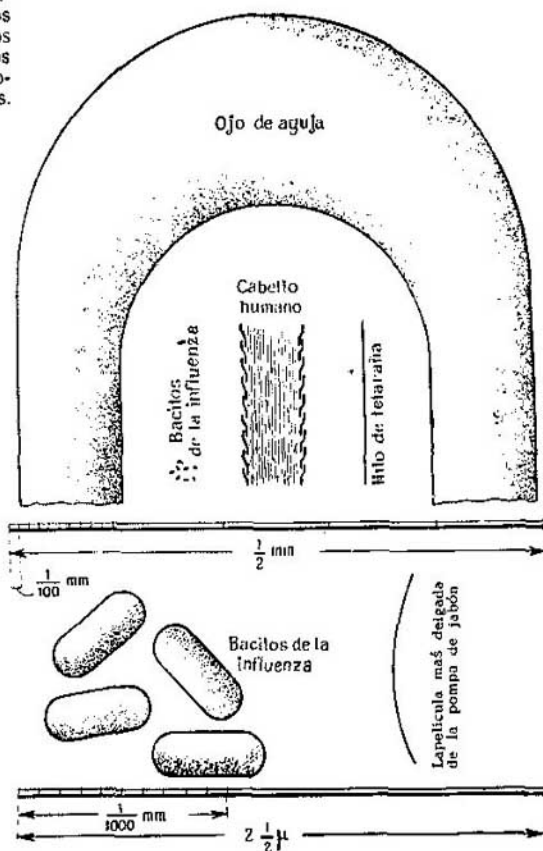


Fig. 68. El aire es desalojado por la presión que ejerce sobre él la pompa de jabón.

Fig. 69. Arriba, el ojo de una aguja, un cabello humano, unos bacilos y un hilo de telaraña, aumentados en 200 veces. Abajo, unos bacilos y el espesor de una película jabonosa, aumentados en 40 000 veces. $1\mu = 0,0001$ cm.



simple vista. Los objetos que generalmente sirven de punto de comparación para expresar la delgadez o la finura, resultan demasiado burdos si se equiparan con dicha película. «Fino, como un pelo», «delgado, como un papel de fumar», son expresiones que representan un espesor enorme comparado con el de la pared de una pompa de jabón, la cual es 5 000 veces más delgada que un pelo y que un papel de fumar. Un cabello humano aumentado en 200 veces, tiene cerca de un centímetro de espesor, mientras que la sección de la película que forma la pompa de jabón, con semejante aumento, sigue siendo invisible. Para poder

ver esta sección como una línea delgada, es necesario un aumento 200 veces mayor. Con este aumento (de... ¡40 000 veces!) un pelo tendrá más de 2 m de grueso. La fig. 69 proporciona una idea gráfica de estas correlaciones.

¡DEL AGUA Y SECA!

Poned una moneda en un plato llano grande, echad agua en él, hasta que cubra la moneda, e invitad a vuestros amigos a que la saquen directamente con la mano, sin mojarse los dedos.

Esto, que parece un problema imposible de resolver, se soluciona fácilmente valiéndose de un vaso y de un papel ardiendo. Para ello, se enciende el papel, se mete dentro del vaso y éste se coloca rápidamente boca abajo en el plato, junto a la moneda. El papel se apaga, el vaso se llena de humo blanco y debajo de él se reúne todo el agua que había en el plato. La moneda se queda, como es natural, en su sitio y, después de esperar un minuto, para que se seque, se puede coger sin mojarse los dedos.

¿Qué fuerza hace que el agua entre en el vaso y se mantenga en él a una altura determinada? La presión atmosférica. Porque al arder el papel, el aire que hay en el vaso se calienta y aumenta la presión dentro de él, esto hace que parte del gas salga hacia fuera. Cuando el papel se apaga, el aire se vuelve a enfriar, pero al ocurrir esto disminuye la presión dentro del vaso y el agua penetra por debajo de sus bordes, impulsada por la presión del aire exterior.

En lugar del papel se pueden emplear unas cerillas hincadas en un redondel de corcho, como se muestra en la fig. 70.

No es raro escuchar y hasta leer la siguiente explicación errónea de este viejo experimento*. Según esta explicación, al quemarse el papel, se «consume el oxígeno», con lo que la cantidad de gas que hay debajo del vaso disminuye. Este razonamiento es totalmente falso. La causa principal y exclusiva está en que el aire *se calienta*, y no en que la combustión del papel consume parte del oxígeno. Esto se deduce en primer lugar, de la posibilidad de hacer el experimento sin quemar ningún papel, es decir, calentando el vaso enjuagándolo en agua hirviendo. En segundo lugar, si en lugar del papel quemamos un algodón empapado en alcohol, el agua se elevará casi hasta la mitad del vaso; mientras que, como sabemos, el oxígeno constituye solamente $\frac{1}{5}$ parte del volumen del aire.

* La primera descripción de este experimento, con su verdadera explicación, nos la dio el físico de la antigüedad Filón de Bizancio, que vivió en el siglo I antes de nuestra era.

Fig. 70. Procedimiento para recoger debajo de un vaso invertido todo el agua que hay en un plato.



Finalmente, hay que tener en cuenta, que en lugar del «oxígeno consumido» se forma anhídrido carbónico y vapor de agua, de los cuales, el primero se disuelve en el agua, pero el vapor subsiste y ocupa parte del sitio que deja el oxígeno.

¿COMO BEBEMOS?

Pero, ¿también hay que pensar en esto? Naturalmente. Cuando queremos beber, acercamos el vaso o la cuchara que contiene el líquido a nuestros labios y «absorbemos» su contenido. Esta sencilla «absorción» del líquido, a que estamos tan acostumbrados, es precisamente lo que hay que explicar. ¿Por qué tiende el líquido a entrar en nuestra boca? ¿Qué es lo que lo arrastra? La explicación es la siguiente: al beber, ensanchamos nuestra capacidad torácica y con ello enrarecemos el aire que tenemos en la boca. Al ocurrir esto, *la presión del aire exterior* hace que el líquido tienda a ocupar el espacio en que la presión es menor y, por consiguiente, entre en la boca. En este caso sucede lo mismo que ocurriría con el líquido de unos vasos comunicantes, si en uno de estos vasos comenzáramos a hacer el vacío, es decir, bajo la presión de la atmósfera, el líquido se elevaría en este vaso. Y al contrario, si abarcamos con los labios el gollete de una botella, por mucho que nos esforcemos en «absorber» el agua que contiene, no conseguiremos nada, ya que la presión del aire será la misma en la boca que sobre el agua.

Hablando propiamente, no bebemos sólo con la boca, sino también con los *pulmones*, ya que el ensanchamiento de los pulmones es la causa de que el líquido penetre en nuestra boca.

UN EMBUDO MEJORADO

Todo el que haya tenido ocasión de echar líquido en una botella valiéndose de un embudo, sabe perfectamente que de vez en cuando hay que levantar el embudo, porque, de lo contrario, el líquido no pasa. Esto ocurre, porque el aire que hay en la botella, al no encontrar salida, mantiene con su presión

el líquido que se encuentra en el embudo. Es verdad, que una pequeña cantidad de líquido consigue entrar en la botella y hace que el aire de ésta se comprima por la presión que sobre él ejerce. Pero este aire encerrado y comprimido, cobra una elasticidad mayor, suficiente para equilibrar con su presión el peso del líquido que hay en el embudo. Está claro, que, cuando levantamos el embudo, dejamos salir al exterior el aire comprimido y el líquido vuelve a entrar en la botella.

Por esto, resulta muy práctico hacer los embudos de forma, que su parte estrecha tenga unos nervios longitudinales en la superficie exterior, que impidan que el embudo entre ajustado en el gollete.

UNA TONELADA DE MADERA Y UNA TONELADA DE HIERRO

Todos conocemos la pregunta burlesca: ¿qué pesa más, una tonelada de madera o una de hierro? Por lo general, los incautos responden sin pensarlo, que la tonelada de hierro, con lo cual hacen reír a los presentes.

Pero los bromistas se reírían aún más, si les contestasen que pesa más la tonelada de madera. Esta respuesta parece totalmente absurda, y sin embargo, hablando con propiedad, es exacta.

Todo consiste en que el principio de Arquímedes es aplicable, no sólo a los líquidos, sino también a los gases. Es decir, todo cuerpo experimenta en el aire una «pérdida» de peso, igual al peso del volumen de aire que desaloja.

La madera y el hierro también experimentan esta pérdida de peso en el aire. Por consiguiente, para conocer el peso real de estos cuerpos habrá que añadirles esta pérdida. Es decir, el peso real de la madera, en nuestro caso, será igual a 1 tonelada + el peso del volumen de aire que ocupa la madera, y el peso real del hierro será igual a 1 tonelada + el peso del volumen de aire que ocupa el hierro.

Pero una tonelada de madera ocupa un volumen mucho mayor que una tonelada de hierro (15 veces mayor), por lo cual, el peso real de una tonelada de madera es... ¡mayor que el peso real de una tonelada de hierro! Aunque expresándonos más exactamente deberíamos decir, que: el peso real de la cantidad de madera, que en el aire pesa una tonelada, *es mayor* que el peso real de la cantidad de hierro, que pesa en el aire una tonelada.

Como quiera que la tonelada de hierro ocupa el volumen de $1/8$ de m^3 , mientras que la de madera ocupa cerca de $2 m^3$, tendremos, que la diferencia entre el peso del aire que desalojan

será igual a cerca de 2,5 kg. De aquí se desprende que en realidad, una tonelada de madera pesa 2,5 kg... ¡más que una tonelada de hierro!

UN HOMBRE QUE NO PESABA NADA

Ser ligeros, no como una pluma, sino más que el aire*, para que, una vez liberados de las pesadas cadenas de la gravedad, poder elevarse libremente a gran altura sobre la tierra y volar adonde quieras. He aquí la ilusión que atrae a muchos desde la niñez. Pero se olvidan generalmente de que el hombre puede moverse por la superficie de la Tierra por ser más pesado que el aire. En realidad, «vivimos en el fondo de un océano aéreo», como declaró Torricelli, y si, por cualquier causa, nos hiciéramos de improviso mil veces más ligeros y fuéramos menos pesados que el aire, inevitablemente tendríamos que emerger a la superficie de este océano aéreo. Nos ocurriría lo mismo que al húsar de Pushkin: «Me bebí todo el frasco; puede creerlo o no, pero de repente subí como si fuera una pluma». Nosotros nos elevaríamos kilómetros enteros, hasta llegar por fin a una región, en la cual la densidad del aire enrarecido sería igual a la de nuestro cuerpo. La ilusión de vivir libres sobre las montañas y los valles, se desmoronaría como un castillo de arena, ya que, al liberarnos de las cadenas de la gravedad, caeríamos prisioneros de otras fuerzas, es decir, de las corrientes atmosféricas.

Una situación semejante le sirvió de tema al escritor Wells para uno de sus cuentos de ciencia ficción.

El tema de este cuento es el siguiente: un hombre muy grueso quería, fuera como fuera, deshacerse de su obesidad. El narrador poseía, al parecer, una receta maravillosa, que tenía la propiedad de aligerar a las personas gruesas de su excesivo peso. El gordinflón le pidió esta receta y comenzó a tomar la medicina. Pasó algún tiempo y el narrador fue a ver a su amigo. Llamó a su puerta y presenció una serie de acontecimientos tan sorprendentes e inesperados como los siguientes:

«La puerta tardó en abrirse. Oí cómo giraba la llave y después cómo la voz de Pyecraft (que así se llamaba el gordinflón) decía:

— Entre.

Le di la vuelta al tirador de la puerta y abrí. Yo, como es natural, esperaba ver a Pyecraft.

* Las plumas, a pesar de que hay muchos que piensan lo contrario, no son más ligeras que el aire, sino centenares de veces más pesadas que él. Si flotan en el aire es porque, como tienen una gran superficie, la resistencia que éste opone a sus movimientos es muy grande en comparación con su peso.



Fig. 71.— ¡Estoy aquí viejo! — dijo Pyecraft.

Pero... ¡no había nadie! El despacho estaba desordenado: Platos, grandes y chicos, estaban mezclados con los libros y objetos de escritorio; había varias sillas tiradas en el suelo, pero... Pyecraft no estaba.

— ¡Estoy aquí, viejo! ¡Cierre la puerta! — dijo su voz. Y fue entonces cuando logré encontrarlo.

Estaba en la misma cornisa, en el ángulo que había junto a la puerta, lo mismo que si alguien lo hubiera pegado en el techo. Su cara estaba seria y reflejaba pánico.

— Como ceda algo, Pyecraft, caerá usted y se romperá el pescuezo — dije yo.

— Y me alegraría de ello — respondió él.

— Esta gimnasia no es para un hombre de sus años y de su

compleción. Pero, ¿cómo diablos está usted ahí sujeto? — le pregunté.

En este momento me di cuenta de que no estaba sujeto, sino que flotaba allí arriba lo mismo que un globo lleno de gas.

El se esforzaba por separarse del techo y poder arrastrarse por la pared, para acercarse a mí. Se cogió al marco de un cuadro, pero éste cedió y él volvió a volar hacia el techo. Chocó con él, y entonces comprendí por qué tenía manchadas de cal todas las partes sobresalientes de su cuerpo. Con gran precaución, volvió a intentar el descenso valiéndose de la chimenea.

— Esta medicina — cuchicheó — es demasiado fuerte. He perdido el peso casi por completo.

Todo quedó claro para mí.

— ¡Pycraft! — le dije —. A usted lo que le hacía falta era una medicina para *adelgazar*, pero como siempre hablaba de su *peso*... Espere usted, le ayudaré — dije yo, y cogiendo al desdichado por una mano, tiré hacia abajo.

El empezó a danzar por la habitación, intentando afirmarse en algún sitio. ¡Era un espectáculo curioso! Yo sentía algo así, como si quisiera sujetar una vela en día de viento.

— Esta mesa — dijo el desgraciado Pycraft, cansado de tanto danzar — es muy fuerte y pesada. Si consiguiera usted meterme debajo de ella...

Lo hice así. Pero y allí debajo se tambaleaba lo mismo que un globo cautivo. No podía estarse quieto ni un minuto.

— Una cosa es evidente — dije yo —. Usted no debe ni pensar en salir a la calle, porque si lo hace, subirá usted cada vez más alto.

Le dije que debería adaptarse a su situación y le insinué, que no le sería difícil acostumbrarse a andar por el techo con las manos.

— Yo no puedo dormir — se quejó él.

Le indiqué, que se le podía sujetar al *sommier* con un colchón blando, atar a éste toda la ropa inferior de la cama con unas cintas y abrocharle por los costados la manta y la sábana.

Pusimos una escalera en la habitación y todos los alimentos se los ponían encima de un armario de la biblioteca. Descubrimos también un ingenioso procedimiento, gracias al cual Pycraft podía bajar al suelo cuando quisiera. Consistió en colocar la «Enciclopedia Británica» en el anaquel superior de un estante abierto. El gordinflón sacó al instante un par de tomos, y, con ellos en las manos, descendió al suelo.

Pasé en su casa dos días. Barrena y martillo en mano, le construí una serie de ingeniosos dispositivos, le tendí un cable para que pudiera alcanzar el timbre, etc.

Yo estaba sentado junto a la chimenea, mientras él se encontraba en su rincón preferido, al lado de la cornisa, y clavaba una alfombra turca en el techo, cuando se me ocurrió una idea:

— ¡Eh, Pyecraft! — exclamé —. ¡Nada de esto hace falta! ¡Ponle un forro de plomo a tus ropas y todo está resuelto!

Pyecraft casi lloró de alegría.

— Compre usted — le dije — unas chapas de plomo y cósalas dentro del traje. Use usted botas con suelas de plomo; lleve en la mano una maleta de plomo macizo y salvado! Dejará usted de estar aquí preso; podrá ir al extranjero, viajar... sin temor a los naufragios, ya que con quitarse parte de la ropa o toda ella, saldrá usted volando por los aires». Todo esto parece, a primera vista, que está en perfecto acuerdo con las leyes físicas. Sin embargo, no podemos dejar de expresar nuestra disconformidad con algunos detalles del cuento. La más seria de nuestras objeciones es que a pesar de que el gordinflón perdiera todo su peso, no podría elevarse hasta el techo.

En efecto, según el principio de Arquímedes, Pyecraft únicamente podría subir al techo, cuando el peso de toda su ropa, con lo que tuviera en los bolsillos, fuera menor que el peso del aire que desalojara su orondo cuerpo. El peso del aire que ocupa el cuerpo humano no es difícil de calcular, sobre todo si recordamos que el peso de nuestro cuerpo es casi igual al de un volumen de agua idéntico. Un hombre suele pesar alrededor de 60 kg, y, por consiguiente, el volumen de agua correspondiente pesara aproximadamente lo mismo. Pero el aire de densidad normal es 770 veces más ligero que el agua, es decir, que el volumen de aire desplazado por nuestro cuerpo pesa unos 80 g. Por muy obeso que fuera mister Pyecraft, no pesaría más de 100 kg; de donde se deduce, que desalojaría unos 130 g como máximo. ¿Es posible que el traje, los zapatos, el reloj, la cartera y todo lo demás que llevaba encima Pyecraft no pesara más de 130 g? Claro que pesaría más. En este caso, el gordinflón tendría que haber seguido apoyándose en el suelo de la habitación, aunque en una situación poco estable, y no emerger hacia el techo «como un globo cautivo». Pyecraft hubiera podido realmente volar hacia el techo si se hubiera desnudado por completo. Vestido parecería más bien un hombre atado a un globo saltador, el cual, con un pequeño esfuerzo muscular o con un simple salto, se elevaría a gran altura sobre la superficie de la Tierra y después, si no hacía viento, volvería a descender suavemente*.

* Sobre los globos saltadores se dan más detalles en el capítulo IV de mi libro «Mecánica Recreativa».

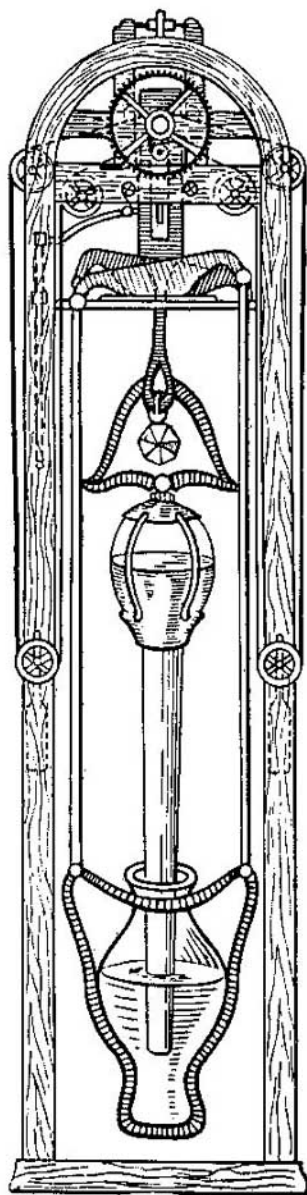
UN RELOJ «ETERNO»

En nuestro libro hemos hablado ya de varios pseudo — «perpetuum mobile» y explicado la inutilidad de los intentos de inventarlos. Trate-mos ahora del motor «gratis», es decir, del motor que puede funcionar un tiempo indefinido, sin necesidad de cuidados, a costa de la energía que le proporcionan las inagotables reservas del medio ambiente.

Todos hemos visto un barómetro de mercurio o metálico. En el primero, el extremo de una columna de mercurio unas veces sube y otras baja, de acuerdo con las variaciones de la presión atmosférica; en el metálico, por esta causa siempre está en movimiento la aguja indicadora. En el siglo XVIII, un inventor «utilizó estos movimientos del barómetro para darle cuerda a un mecanismo de relojería, con lo cual consiguió, construir un reloj que marchaba ininterrumpidamente sin necesidad de que le dieran cuerda. El célebre mecánico y astrónomo inglés Fergusson (en 1774) vio este interesante invento y dijo de él lo siguiente. «Yo he visto el reloj anteriormente descrito, el cual se pone en movimiento continuo por las elevaciones y descensos de la columna de mercurio de un barómetro de construcción especial; no hay motivos para suponer que se pare nunca, ya que la fuerza motriz que en él se acumula sería suficiente para mantener la marcha del reloj durante todo un año, aun después de quitarle el barómetro. Debo decir con toda franqueza, después de examinar detenidamente este reloj, que es el mecanismo más ingenioso de todos los que he tenido ocasión de ver, tanto por su concepción como por su realización».

Desgraciadamente, este reloj no se ha conservado hasta nuestros días. Fue robado en una ocasión y se desconoce su paradero. Sin embargo,

Fig. 72. Estructura de un motor «gratis» del siglo XVIII.



han quedado los dibujos de su estructura que hizo el mencionado astrónomo, con los cuales es posible reconstruirlo.

El mecanismo del reloj consta de un barómetro de mercurio de grandes dimensiones, formado por una vasija de vidrio, colgada de un bastidor, y por un gran matraz invertido, cuyo cuello penetra en aquélla. La vasija y el matraz contienen en total cerca de 150 kg de mercurio. Estas dos vasijas están sujetas de tal forma, que una puede moverse con respecto a la otra; con un ingenioso sistema de palancas se consigue que, cuando aumenta la presión atmosférica, descienda el matraz y ascienda la vasija, mientras que, cuando la presión disminuye, ocurre lo contrario. Estos dos movimientos hacen que gire, siempre en el mismo sentido, una pequeña rueda dentada. Esta rueda se encuentra en reposo solamente cuando la presión atmosférica permanece invariable; pero durante estas pausas el mecanismo del reloj se sigue moviendo, gracias a la energía acumulada con anterioridad, por medio de unas pesas descendentes. No es fácil conseguir que dos pesas se eleven simultáneamente y que al descender muevan un mecanismo. Pero los antiguos relojeros tuvieron suficiente ingenio para resolver este problema. Y resultó, que la energía proporcionada por las variaciones de la presión atmosférica era incluso mayor que la necesaria, es decir, que las pesas se elevaban con más rapidez que descendían. Por este motivo fue introducido un dispositivo especial, para desembragar el mecanismo de las pesas descendentes cuando éstas llegaban a su punto superior.

Fácil es darse cuenta de la gran diferencia de principios que existe entre éste (y los demás motores «gratuitos» semejantes a él) y los motores de «movimiento continuo». En los motores «gratuitos», la energía no se crea de la nada, como querían los inventores del «movimiento continuo»; esta energía se toma del exterior, como en nuestro caso, en que se toma de la atmósfera circundante, en la cual se acumula la de los rayos solares. En la práctica, los motores «gratuitos» podrían ser tan ventajosos como los de «movimiento continuo», siempre que su construcción no fuera demasiado cara con relación a la energía que proporcionan (cosa que sucede en la mayoría de los casos).

Más adelante nos ocuparemos de otros tipos de motores «gratuitos» y demostraremos con ejemplos, por qué el empleo industrial de semejantes mecanismos resulta, por regla general, desventajoso.