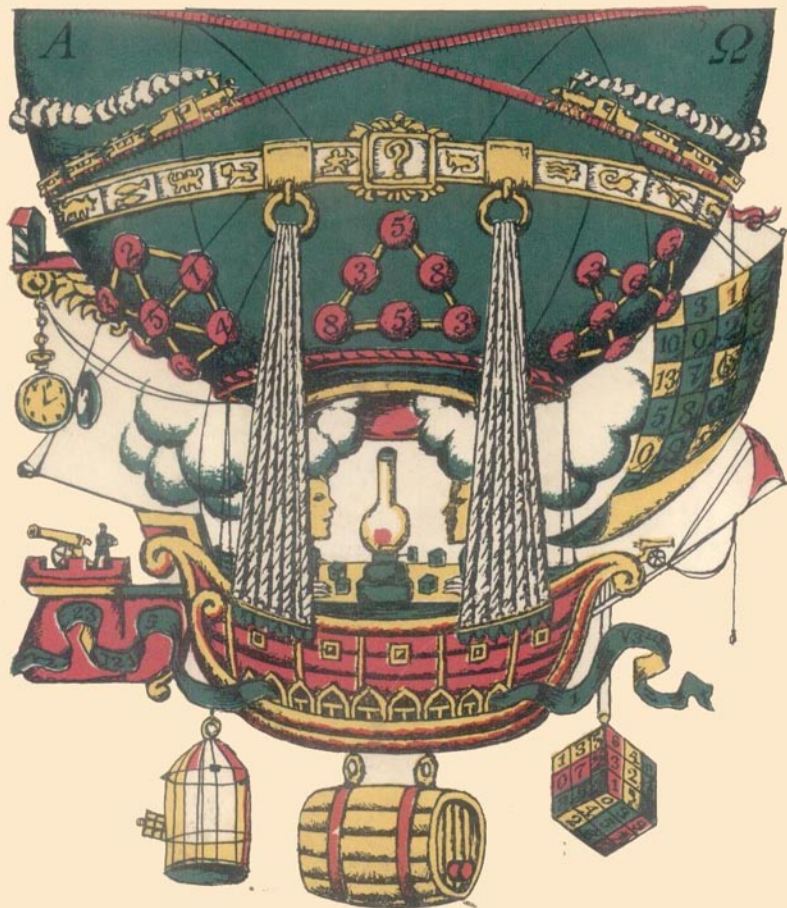


Ya.I.Perelman

*Problemas y experimentos
recreativos*



EDITORIAL MIR MOSCÚ

Ya.I.Perelmán

*Problemas y experimentos
recreativos*



ACERCA DEL AUTOR DE ESTE LIBRO

Ya. Perelmán



En 1913 se puso a la venta el libro del eminente pedagogo Yákov Isidórovich Perelmán «Física Recreativa». Esta obra conquistó pronto el corazón de sus lectores, sobre todo de la juventud, que halló en ella respuesta a muchos problemas que le preocupaban.

La «Física Recreativa» no sólo era interesante por la forma en que fue escrita, sino también porque contenía un enorme material cognoscitivo.

En el prólogo a la undécima edición, Ya. I. Perelmán escribía: «El objetivo fundamental de la «Física Recreativa» es estimular la fantasía científica, enseñar al lector a pensar con espíritu físico y crear en su mente numerosas asociaciones de conocimiento: físicos relacionados con los fenómenos más diversos de la vida cotidiana y con todo aquello con que mantiene contactos». «Física Recreativa» se convirtió en uno de los libros más populares.

Ya. I. Perelmán nació en 1882 en la ciudad de Bielostok. En 1909 terminó sus estudios en el Instituto Forestal de San Petersburgo con el título de silvicultor.

Después de «Física Recreativa», Ya. I. Perelmán escribió otros libros, en los cuales se acreditó como magnífico popularizador de la ciencia. Sus obras más conocidas son: «Aritmética Recreativa», «Mecánica Recreativa», «Geometría Recreativa», «Astronomía Recreativa», «Matemáticas Animadas», «Física a cada paso», «Trucos y Pasatiempos» y otras. Ahora cada lector culto conoce estos libros.

También escribió varios libros dedicados a los problemas de los viajes interplanetarios («Viajes Interplanetarios», «A las Estrellas en Cohete», «Lejanías del Universo» y otros).

El gran científico K. E. Tsiolkovski tenía en gran estima el talento y la creación de Ya. I. Perelmán. En el prólogo al libro «Viajes Interplanetarios» escribía Tsiolkovski: «El autor es conocido desde hace tiempo por sus obras populares, ingeniosas y completamente científicas sobre física, astronomía y matemáticas, escritas además con un estilo maravilloso y fácil de asimilar por los lectores».

Ya. I. Perelmán es autor de toda una serie de libros de texto así como de diversos artículos en las revistas «El saber es Fuerza», «Técnica de la Juventud» y otras.

Ya. I. Perelmán no sólo se dedicó a la pedagogía y a la actividad científica y literaria. Dedicó también mucho tiempo a su enorme trabajo de redacción, ya que fue redactor de las revistas «La Naturaleza y los Hombres» y «En el Taller de la Naturaleza».

Ya. I. Perelmán murió el 16 de marzo de 1942 en Leningrado. Muchas han sido las generaciones que estudiaron con interés los amenos libros de Ya. I. Perelmán. Sus obras seguirán conmoviendo en el futuro a las nuevas generaciones.

Ya. I. Perelmán

Problemas y experimentos recreativos

Traducido del ruso por el ingeniero
Antonio Molina García



EDITORIAL MIR
MOSCÚ

И. Перельман

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ

ЗАДАЧИ

И ОПЫТЫ

Издательство

«Детская литература»

Presentación de

I. Kravtsov, V. Stúlikov

Ilustración de

I. Kravtsov,

V. Keidan,

I. Kabakov,

D. Lión,

S. Mújin,

L. Saksonov,

A. Sokolov,

V. Stúlikov,

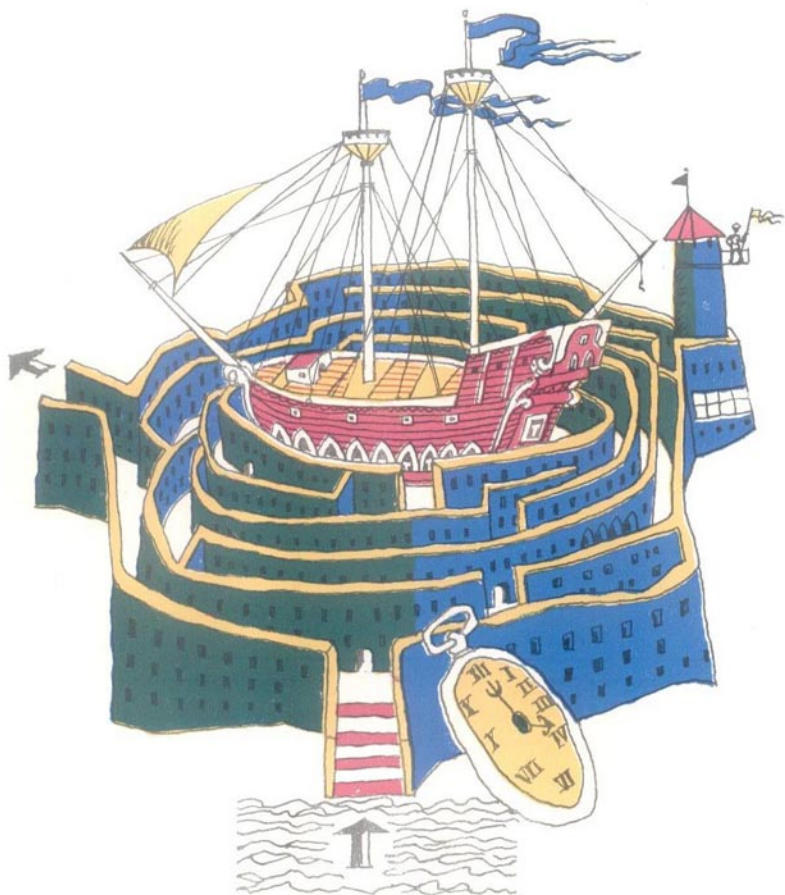
R. Varshamov,

Yu. Vaschenko

Impreso en la URSS, 1975

© Traducción al español. Editorial Mir. 1975

На испанском языке





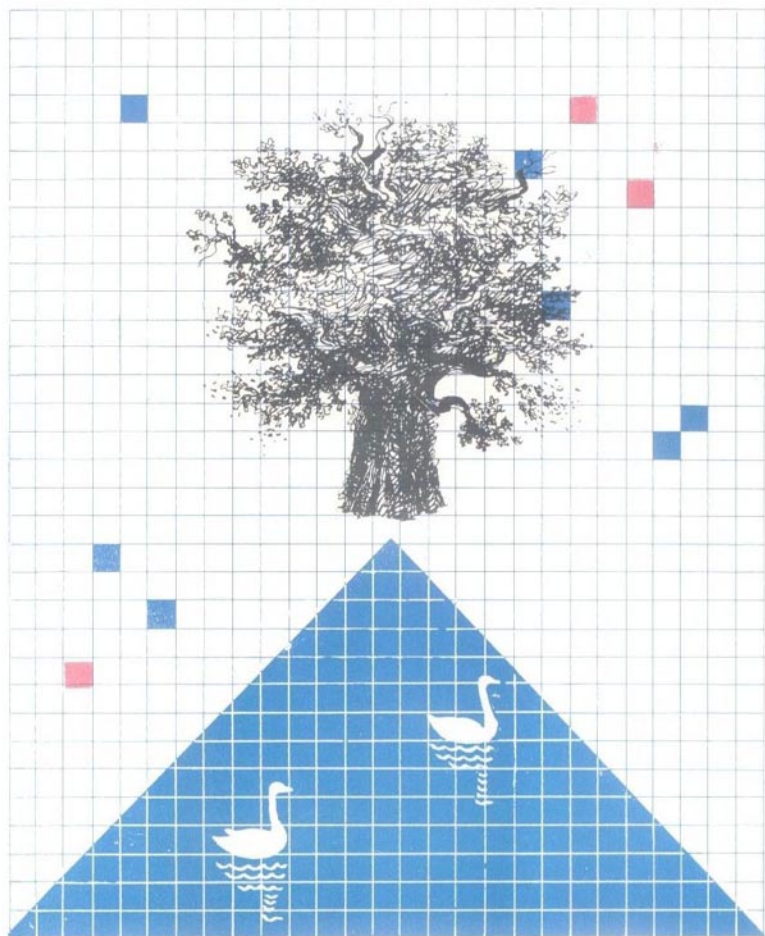


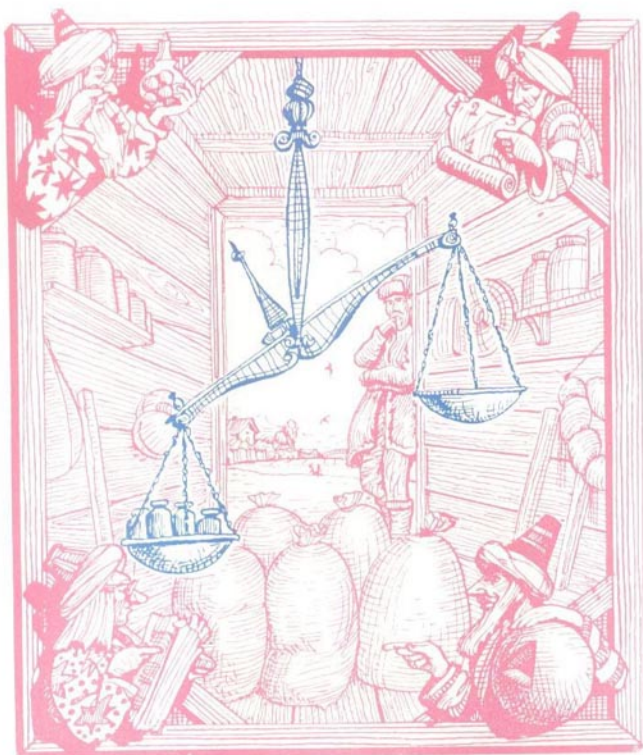




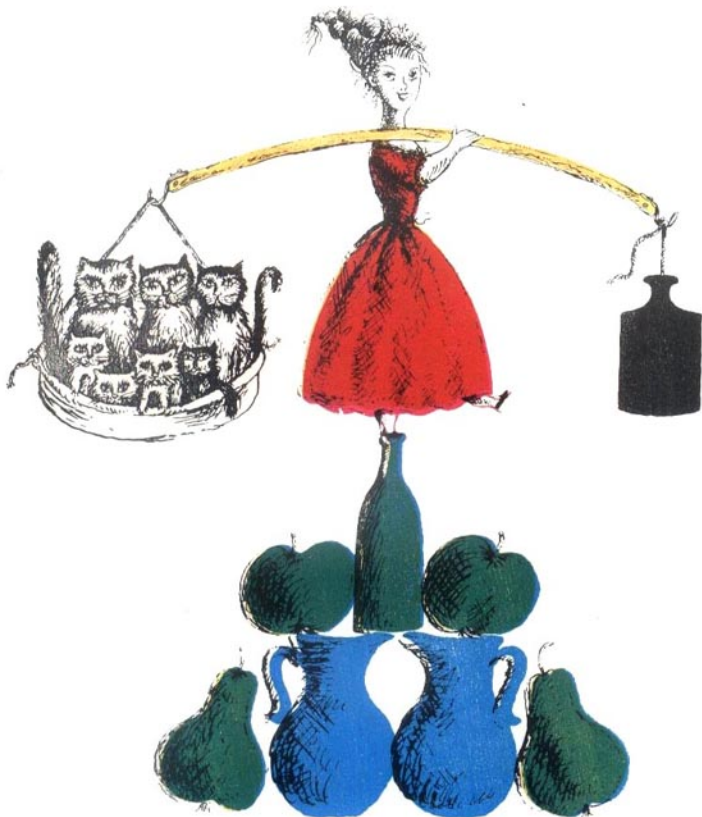


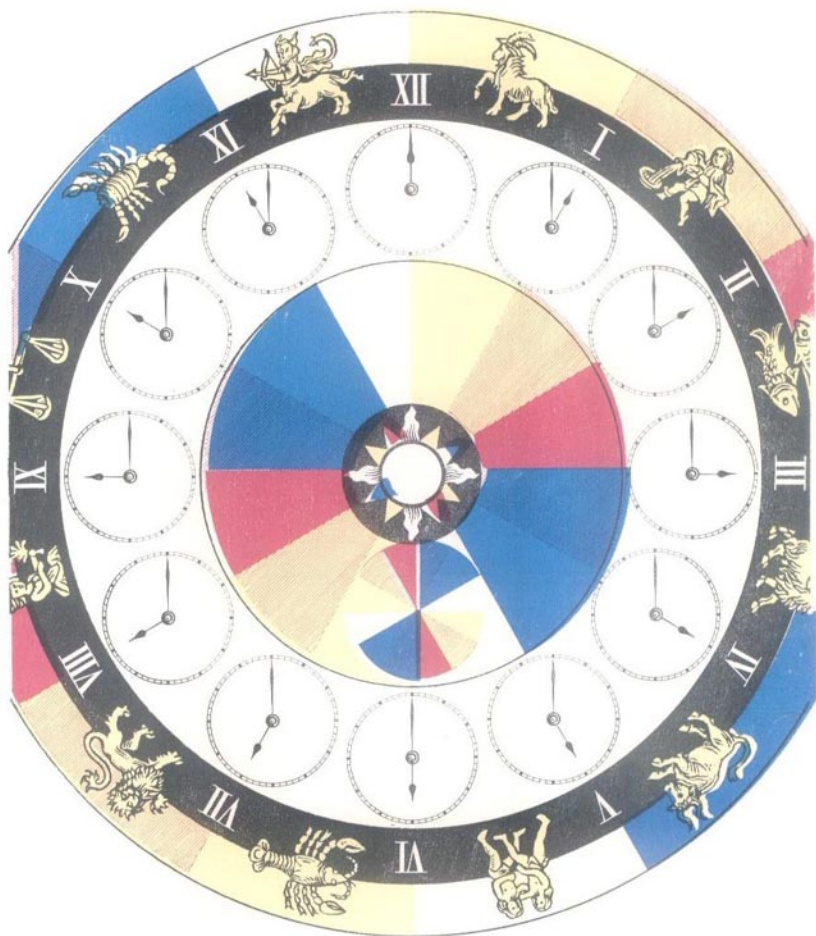


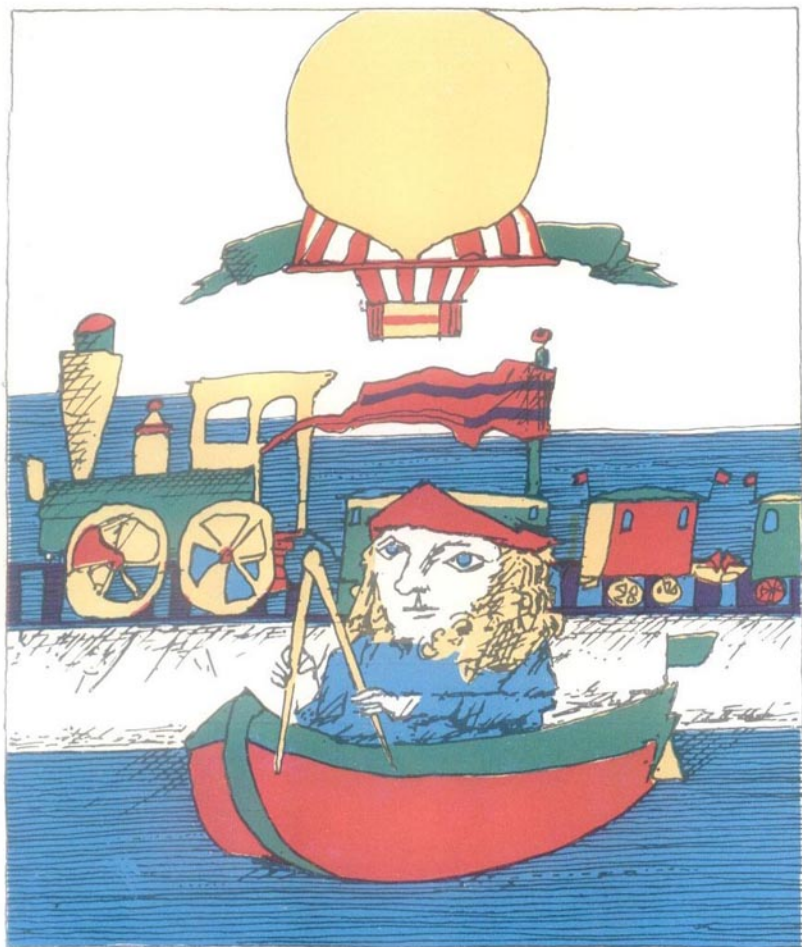


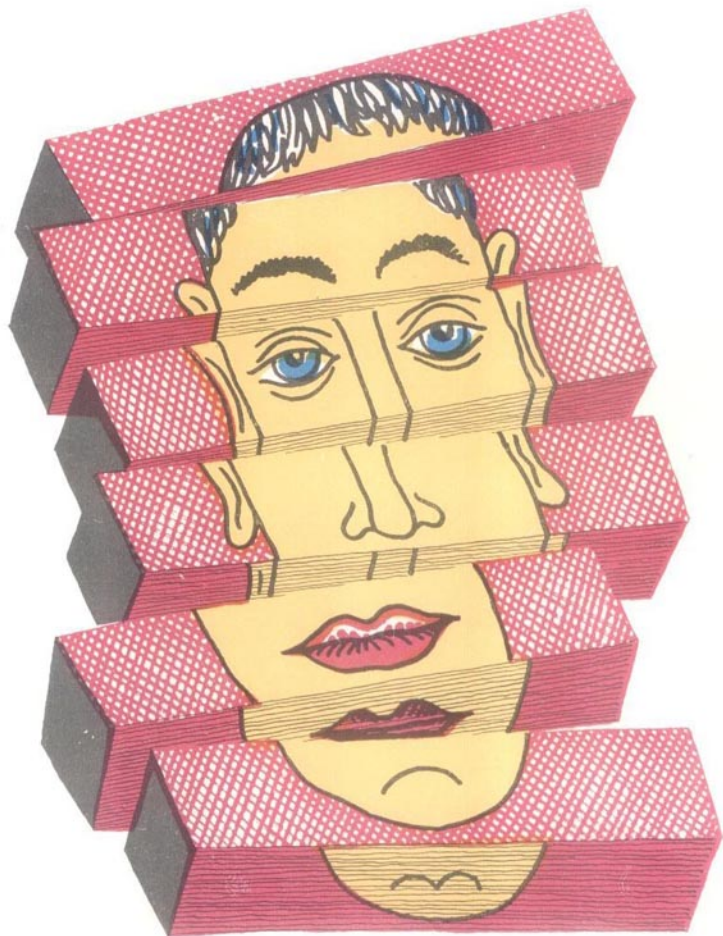


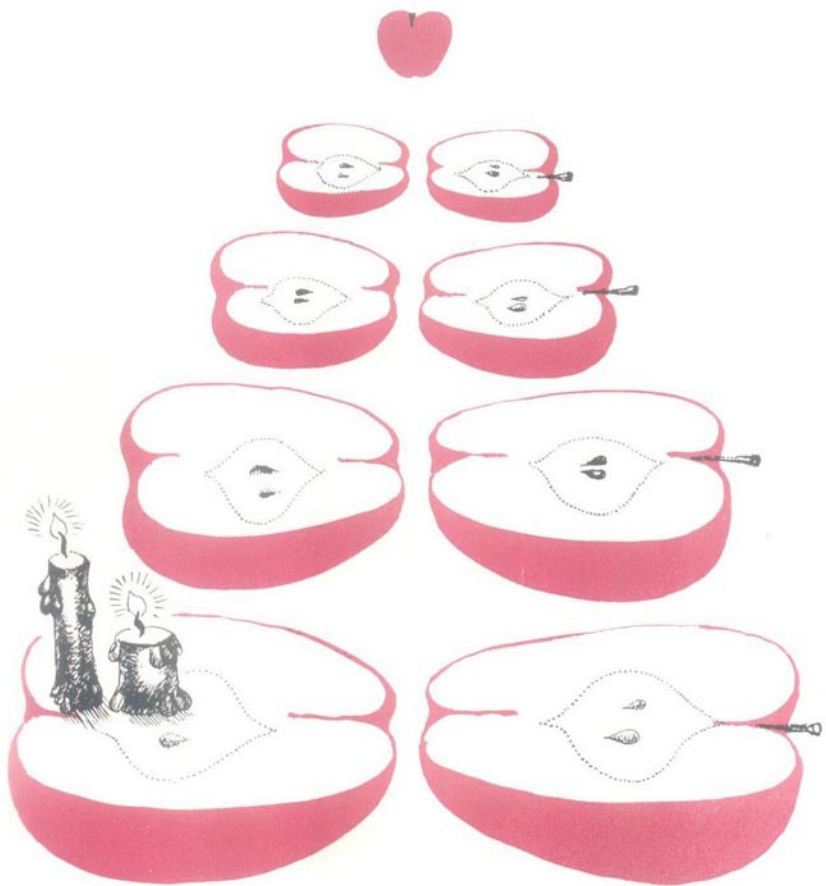


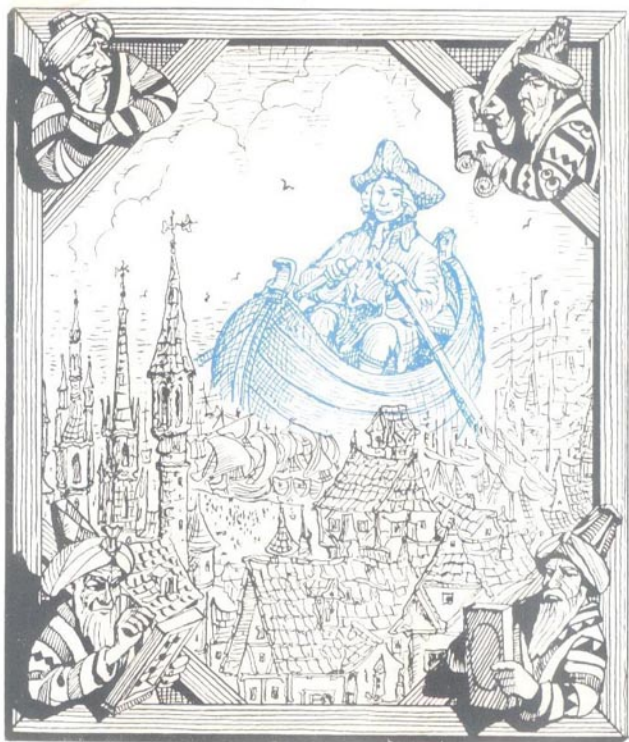




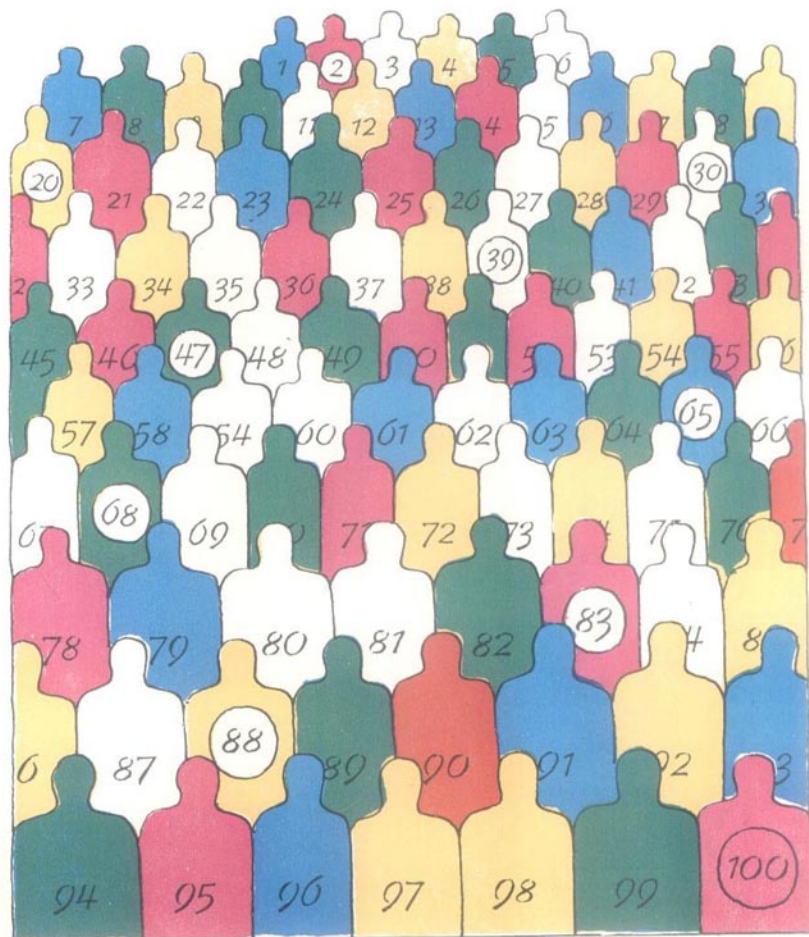


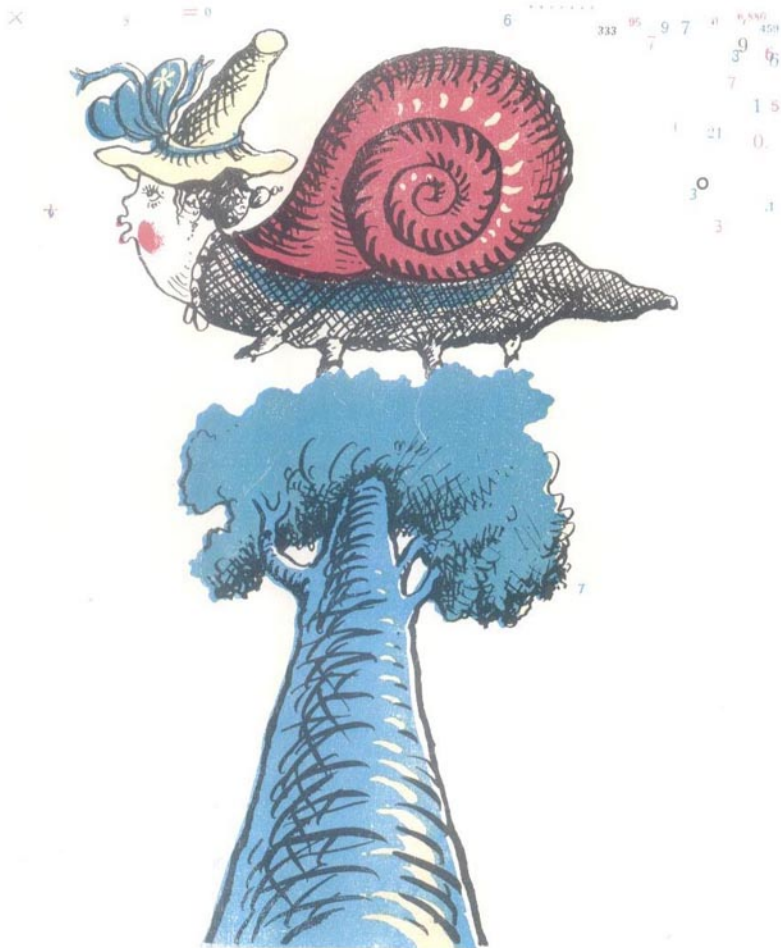










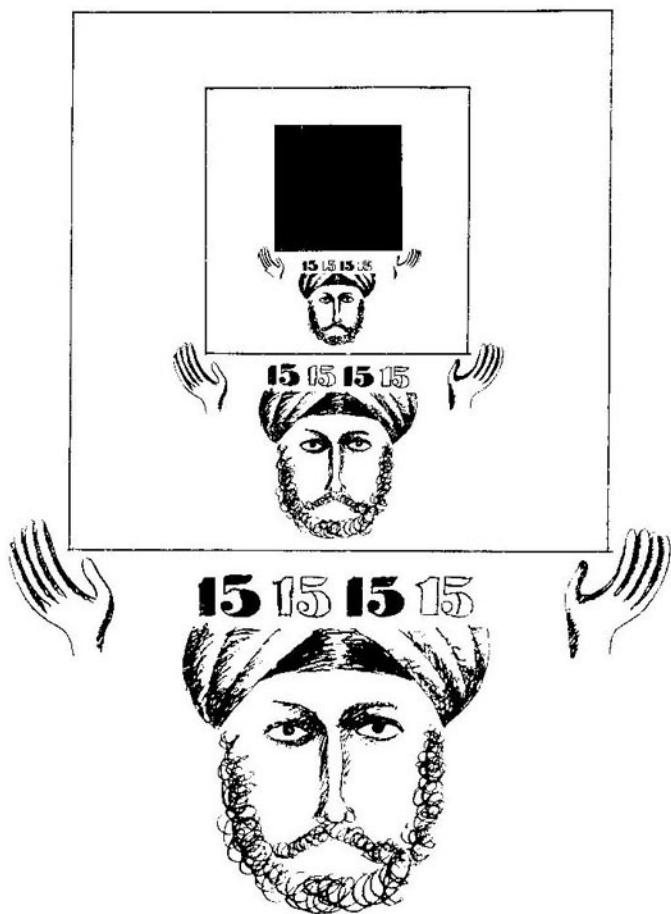






A circular grid with a red and blue checkerboard pattern. The grid contains a multiplication table with numbers written in a cursive font. The numbers are arranged in rows and columns, with some numbers partially cut off at the edges of the circle.

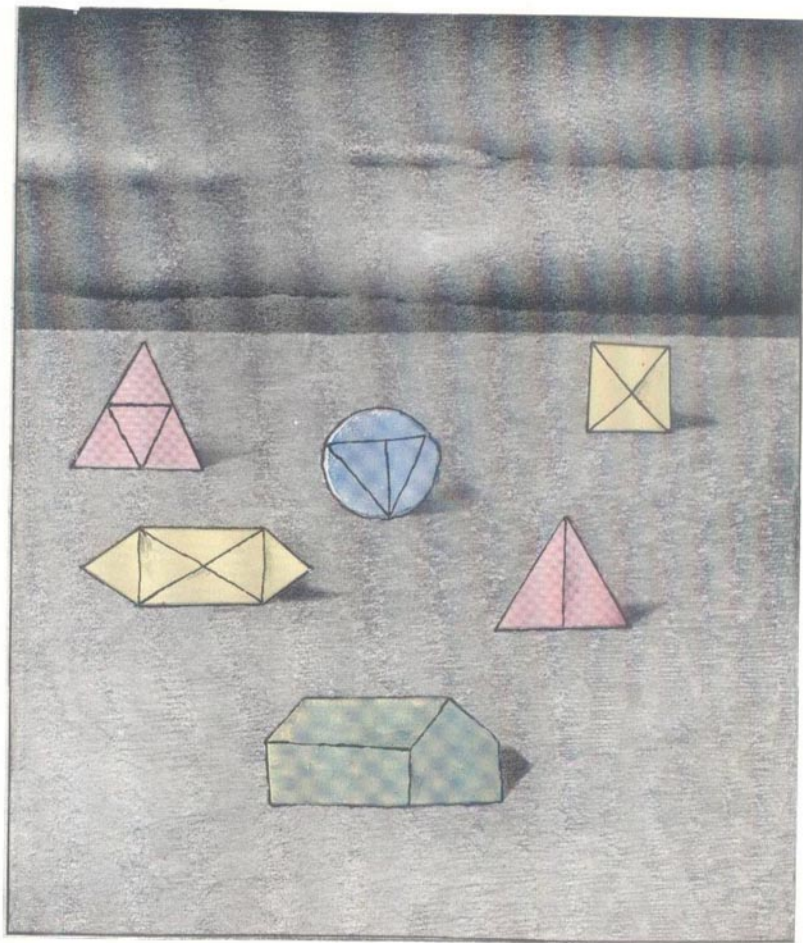
		44	55	66	77	88	99		
4	36	48	60	72	84	96			
5	26	39	52	65	78	91	104	117	
6	14	28	42	56	70	84	98	112	126
7	15	30	45	60	75	90	105	120	135
8	16	32	48	64	80	96	112	128	144
9	17	34	51	68	85	102	119	136	153
0	36	54	72	90	108	126	144		
1	37	56	76	95	114	133			





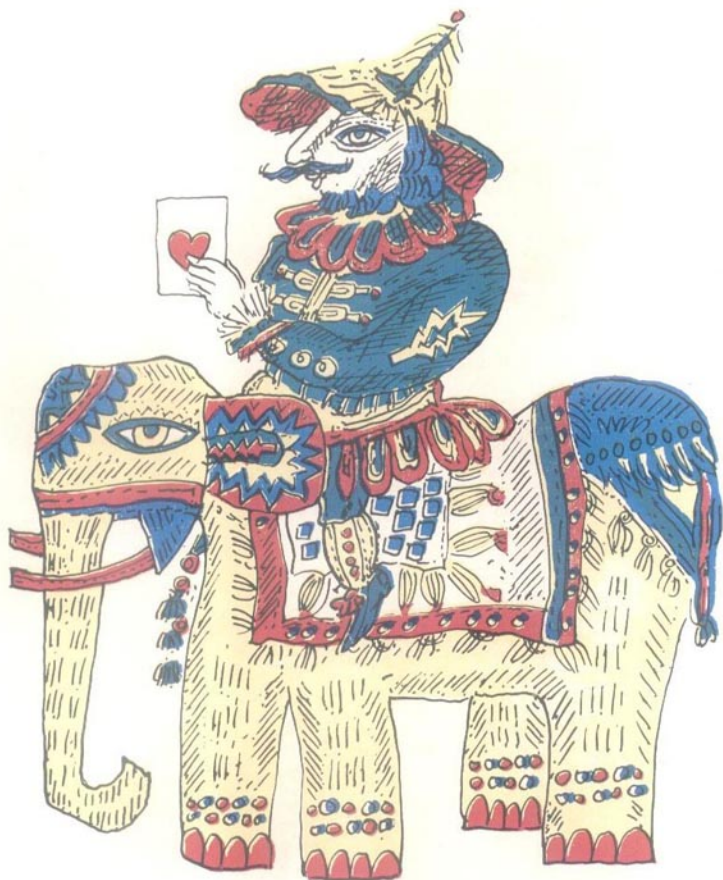
23













Tijeras y papel *De un corte, en tres partes • ¿Cómo poner de canto una tira de papel? • Anillos encantados • Resultados inesperados de un corte • Una cadena de papel • ¿Cómo meterse por una hoja de papel?*

Usted pensará, como es natural — lo mismo que yo pensaba hace tiempo —, que en este mundo hay cosas que no sirven. Pero se equivoca: no hay trastos viejos que no sirvan para algo. Lo que no vale para una cosa, vale para otra, y lo que no sirve para nada útil, puede servir para distraerse.

En el rincón de un cuarto recién reparado me encontré una vez con varias tarjetas postales viejas y un montón de tiras estrechas de las que suelen recortarse de los papeles pintados cuando se empapan las habitaciones. «Esto —pensé yo— no vale más que para quemarlo en la estufa». Pero resultó que hasta estas cosas, tan inútiles al parecer, pueden servir de pasatiempo interesante. Mi hermano mayor me enseñó una serie de ingeniosos rompecabezas que pueden hacerse con este material.

Empezó por las tiras de papel. Me dio una que tendría unos tres palmos de largo y me dijo:

—Coge unas tijeras y corta esta tira en tres partes...

Me disponía ya a cortar, cuando mi hermano me detuvo:

—Espera que aún no he terminado. Córtala en tres partes, pero de un solo tajo.

Esto ya era más difícil. Intenté hacerlo de varias formas y me convencí de que el problema que me había puesto era embarazoso. Al fin llegué a la conclusión de que no se podía resolver.

—¿Qué quieres, reírte de mí? —le dije—. Esto es imposible.

—Piénsalo mejor, quizá comprendas lo que hay que hacer.

—Lo que yo he comprendido ya es que este problema no tiene solución.

—Pues, lo has comprendido mal. Dame.

Mi hermano me quitó la tira y las tijeras, dobló el papel y lo cortó por la mitad. Resultaron tres trozos.

—¿Ves?

—Sí, pero has doblado el papel.

—¿Y por qué no lo doblaste tú?

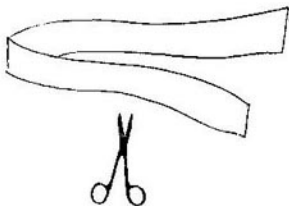


Figura 1

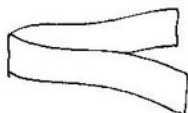


Figura 2

—Porque no me dijiste que se podía doblar.
—Pero tampoco te dije que no se podía. Así que, reconoce que no has sabido resolver el problema.
—Ponme otro. Ya verás como no me coges más.
—Toma esta otra tira. Ponla de canto sobre la mesa.

—¿Para que se quede en pie, o para que se caiga?
—le pregunté, imaginándome que se trataba de una nueva trampa.

—Para que se quede en pie, claro está. Si no, no estaría de canto.

«Para que se quede ... de canto» —pensé yo, y de repente se me ocurrió que la tira se podía doblar. La doblé y la puse sobre la mesa.

—Ahí la tienes, ¡de canto! De que no se podía doblar no dijiste nada.

—Está bien.

—¡Venga otro problema!

—Con mucho gusto. ¿Ves?, he pegado los extremos de varias tiras y han resultado unos anillos de papel. Coge un lápiz rojo y azul y traza a todo lo largo de la parte exterior del anillo una raya azul, y a lo largo de la parte interior, una raya roja.

—¿Y qué más?

—Eso es todo.

¡Qué tarea más simple! Y, sin embargo, no me salió bien. Cuando cerré la raya azul y quise empezar la roja, me encontré con que, por descuido, había trazado rayas azules a los dos lados del anillo.

—Dame otro anillo —le dije desconcertado—. Este lo he estropeado sin querer.

Pero con el segundo anillo me ocurrió lo mismo: no me dí cuenta de cómo rayé sus dos partes.

—¿Qué confusión es ésta?, también lo he estropeado. ¡Dame el tercero!

—Cógelo, no te preocupes.

Y, ¿qué piensa usted? Esta vez también resultaron rayados con trazo azul los dos lados del anillo. Para el lápiz rojo no quedó parte libre.

Me apesadumbré.

—¡Una cosa tan fácil y no puedes hacerla! —dijo mi hermano riéndose—. A mí me sale en seguida.

Y, efectivamente, cogió un anillo y trazó rápidamente por su lado exterior una raya azul y por todo el interior, una raya roja.

Recibí un nuevo anillo y empecé, con el mayor cuidado posible, a trazar la raya por una de sus partes.

Por fin, procurando no pasarme al otro lado inopinadamente, cerré el trazo. Y... otra vez fracasé: ¡las dos partes quedaron rayadas! Cuando las lágrimas se me saltaban ya, miré confuso a mi hermano y, sólo entonces, por su sonrisa astuta, comprendí que pasaba algo anormal.

—Eh..., ¿has hecho un truco? —le pregunté.

—Sí. Los anillos están encantados —me respondió—. ¡Son maravillosos!

—¿Maravillosos? Son anillos como otros cualesquiera. Pero tú les haces algo.

—Intenta hacer con ellos alguna otra cosa. Por ejemplo, ¿podrías cortar uno de estos anillos a lo largo, para que salieran dos más estrechos?

—¡Vaya trabajo!

Corté el anillo, y ya me disponía a enseñarle a mi hermano la pareja obtenida, cuando vi con sorpresa que tenía en mis manos no dos anillos, sino uno más largo.

—¿Qué, dónde están tus dos anillos? —me preguntó él con aire de burla.

—Dame otro anillo: probaré otra vez.

—¿Para qué quieres otro? Corta ese mismo que acabas de obtener.

Así lo hice. Y esta vez conseguí, indudablemente, tener dos anillos en mis manos. Pero cuando quise separarlos, resultó que era imposible, ya que estaban enlazados. Mi hermano tenía razón: ¡aquel anillo estaba encantado de verdad!

—El secreto de este encantamiento es bien sencillo —replicó mi hermano—. Tú mismo puedes hacer anillos tan extraordinarios como éstos. Todo consiste en que, antes de pegar los extremos de la tira de papel, hay que volver uno de dichos extremos de esta forma (fig. 3).

—¿Y de esto depende todo?

—Exactamente. Pero yo, como es natural, rayé con el lápiz un anillo ... ordinario. Aún resulta más interesante si el extremo de la tira se vuelve no una, sino dos veces.

Mi hermano confeccionó ante mis ojos un anillo de este último tipo y me lo dio.

—Córtalo a lo largo —me dijo—. a ver que sale.

Lo corté y resultaron dos anillos, pero enlazados el uno al otro. ¡Tenía gracia! No se podían separar.

Yo mismo hice tres anillos más, iguales que éstos, y al cortarlos obtuve tres nuevos pares de anillos inseparables.

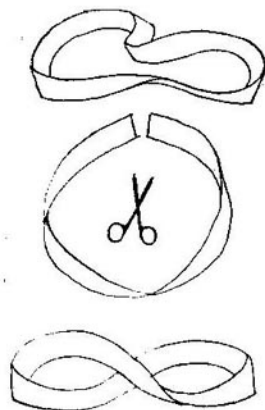


Figura 3

—¡Ja, ja! Un agujero que sea más grande que la propia tarjeta, ¿eso es lo que tú quieres?

—Exactamente. Muchas veces mayor que la tarjeta.

—Aquí no hay astucia que valga. Lo imposible es imposible.

—Pero lo posible es posible —dijo mi hermano y comenzó a cortar.

Aunque yo estaba convencido de que quería reírse de mí, observé con curiosidad lo que hacían sus manos. Dobló la tarjeta postal por la mitad, trazó con un lápiz dos rectas paralelas, próximas a los bordes largos de la tarjeta doblada, e hizo dos cortes junto a los otros dos bordes.

Después cortó el borde doblado, desde el punto A hasta el B, y empezó a dar cortes cercanos unos a otros así:

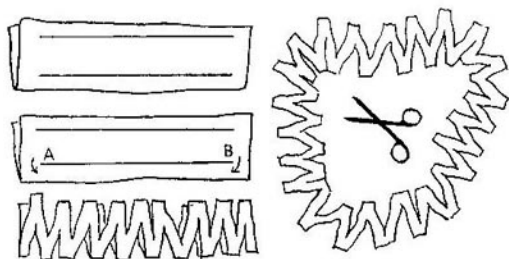


Figura 5

—¡Listo! —anunció mi hermano.

—Pues, yo no veo ningún agujero.

—¡Mira!

Mi hermano extendió la cartulina. Y figúrese usted: ésta se desarrolló formando una cadeneta tan larga, que el hermano me la echó por la cabeza sin dificultad y ella cayó a mis pies rodeándome con sus zigzagues.

—¿Qué, se puede meter uno por ese agujero?

—¡Y dos también, sin apretarse! —exclamé yo admirado.

Mi hermano dio con esto por terminados sus experimentos y rompecabezas y me prometió que en otra ocasión me enseñaría toda una serie de pasatiempos valiéndose exclusivamente de monedas.



Pasatiempos
de monedas

Moneda visible e invisible • Un vaso insondable • ¿Adónde fue a parar la moneda? • Problemas de distribución de monedas • ¿En qué mano está la moneda de diez copeikas? • Juego de transposición de monedas • Leyenda hindú • Soluciones de los problemas

—Ayer prometiste enseñarme unos trucos con monedas —le recordé a mi hermano cuando tomábamos el té de desayuno.

—¿Desde por la mañana vamos a empezar con los trucos? Bueno. Vacía este lavafrutas.

En el fondo de la vasija recién vacía puso mi hermano una moneda de plata:

—Mira al lavafrutas sin moverte de tu sitio y sin inclinarte hacia adelante. ¿Ves la moneda?

—Sí, la veo.

Mi hermano alejó un poco la vasija:

—¿Y ahora?

—Veo nada más que el borde de la moneda. Lo demás está oculto.

Alejando un poquitín más la vasija, consiguió mi hermano que yo dejase de ver la moneda, la cual quedó completamente oculta por la pared del lavafrutas.

—Estate tranquilo y no te muevas. Yo echo agua en la vasija. ¿Qué ocurre con la moneda?

—Otra vez la veo totalmente, como si hubiera subido junto con el fondo. ¿A qué se debe esto?

Mi hermano cogió un lápiz y dibujó en un papel el lavafrutas con la moneda. Y entonces todo quedó claro. Mientras la moneda se encontraba en el fondo de la vasija sin agua, ni un solo rayo de luz procedente de aquella podía llegar a mi ojo, ya que la luz seguía líneas rectas y la pared opaca del lavafrutas se interponía en su camino entre la moneda y el ojo. Cuando echó el agua, la situación cambió: al pasar del agua al aire, los rayos de luz se quiebran (o como dicen los físicos: «se refractan») y salen ya por encima del borde del recipiente, pudiendo llegar al ojo. Pero nosotros estamos acostumbrados a ver las cosas solamente en el lugar de donde parten los rayos rectos y, por esto, suponemos inconscientemente que la moneda se encuentra no donde está en realidad, sino más alta, en la prolongación del rayo refractado. Por esto nos parece que el fondo de la vasija se elevó junto con la moneda.

—Te aconsejo que recuerdes este experimento —me dijo mi hermano—. Te servirá cuando te estés bañando. Si te bañas en un sitio poco profundo, donde se vea

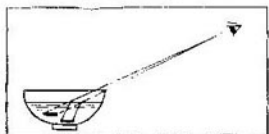
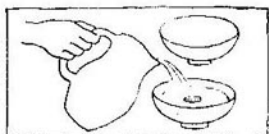


Figura 6

el fondo, no te olvides de que verás dicho fondo más arriba de donde está en realidad. Bastante más arriba: aproximadamente en toda una cuarta parte de la profundidad total. Donde la profundidad verdadera sea, por ejemplo, de 1 metro, te parecerá que sólo es de 75 centímetros. Por esta causa ya han ocurrido no pocas desgracias con los niños que se bañan: se dejan llevar por la engañosa visión y no calculan bien la profundidad.

—Yo me he dado cuenta de que, cuando vas en barca por un sitio así, donde se ve el fondo, parece que la profundidad mayor se encuentra precisamente debajo de la barca y que alrededor es mucho menor. Pero llegas a otro sitio, y otra vez la profundidad es menor alrededor y mayor debajo de la barca. Da la sensación de que el sitio más profundo se traslada con la barca. ¿Por qué ocurre esto?

—Ahora no te será difícil comprenderlo. Los rayos que salen del agua casi verticalmente, cambian de dirección menos que los demás, por lo que en estos puntos parece que el fondo está menos elevado que en otros, de los cuales llegan a nuestro ojo rayos *oblicuos*. Es natural que, en estas condiciones, el sitio más profundo nos parezca que está precisamente debajo de la barca, aunque el fondo sea llano. Y ahora hagamos otro experimento de un tipo completamente distinto.

Mi hermano llenó un vaso de agua hasta los mismos bordes:

—¿Qué crees que ocurrirá si ahora echo en este vaso una moneda de veinte copeikas?

—Está claro: el agua rebosará.

—Hagamos la prueba.

Con mucho cuidado, procurando no agitar el agua, mi hermano dejó caer una moneda en el vaso lleno. Pero no se derramó ni una sola gota.

—Intentemos ahora echar otra moneda de veinte copeikas —dijo mi hermano.

—Entonces es seguro que se derramará —le advertí yo con certeza.

Y me equivoqué: en el vaso lleno cupo también la segunda moneda. A ella siguió una tercera y luego una cuarta.

—¡Este vaso es insondable! —exclamé yo.

Mi hermano, en silencio y sin inmutarse, continuaba echando en el vaso una moneda tras otra. La quinta, sexta y séptima moneda de veinte copeikas



cayeron en el fondo del vaso sin que el agua se derramara. Yo no podía creer lo que mis ojos veían. Estaba impaciente por saber el desenlace.

Pero mi hermano no se daba prisa a explicármelo. Dejaba caer con precaución las monedas y no paró hasta la decimoquinta moneda de veinte copeikas.

—Por ahora basta —dijo por fin—. Mira como ha subido el agua sobre los bordes del vaso.

Efectivamente: el agua *sobresalía* de la pared del vaso aproximadamente el grueso de una cerilla, redondeándose junto a los bordes como si estuviera en una bolsita transparente.

—En esta «hinchazón» está la clave del secreto —continuó diciendo mi hermano—. Ahí es adonde fue a parar el agua que desplazaron las monedas.

—¿Y 15 monedas han desplazado tan poca agua? —dije yo sorprendido—. El montón de 15 monedas de veinte copeikas es bastante alto, mientras que aquí sólo sobresale una capa delgada cuyo espesor apenas si es mayor que el de una de dichas monedas.

—Ten en cuenta no sólo el espesor de la capa, sino también su área. Supongamos que el espesor de la capa de agua no sea mayor que el de una moneda de veinte copeikas. Pero, ¿cuántas veces es mayor su anchura?

Yo calculé que el vaso sería unas cuatro veces más ancho que la moneda de veinte copeikas.

—Cuatro veces más ancho y con el mismo espesor. Quiere decir —resumí yo—, que la capa de agua es solamente cuatro veces mayor que una moneda de veinte copeikas. En el vaso podrían haber cabido cuatro monedas, pero tú has echado ya 15 y, por lo que veo, piensas echar más. ¿De dónde sale el sitio para ellas?

—Es que tú has calculado mal. Si un círculo es cuatro veces más ancho que otro, su área no es cuatro veces mayor, sino 16 veces.

—¿Cómo es eso?

—Tú debías saberlo. ¿Cuántos centímetros cuadrados hay en un metro cuadrado? ¿Cien?

—No: $100 \times 100 = 10\,000$.

—¿Ves? Pues, para los círculos sirve esa misma regla: si la anchura es doble, el área es cuatro veces mayor; si la anchura es triple, el área es nueve veces mayor; si la anchura es cuádruple, el área es 16 veces mayor y así sucesivamente. Por lo tanto, el volumen del agua que sobresale de los bordes del vaso es 16 veces

mayor que el volumen de una moneda de veinte copeikas. ¿Comprendes ahora de donde salió el sitio para que las monedas cupieron en el vaso? Y todavía hay más, porque el agua puede llegar a sobresalir de los bordes unas dos veces el espesor de esta moneda.

—¿Será posible que metas en el vaso 20 monedas?

—Y más, siempre que se introduzcan con cuidado y sin mover el agua.

—¡Jamás hubiera creído que en un vaso lleno de agua hasta los bordes pudieran caber tantas monedas!

Pero tuve que creerlo cuando con mis propios ojos vi este montón de monedas dentro del vaso.

—¿Podrías tú —me dijo mi hermano— colocar once monedas en 10 platillos, de modo que en cada platillo no haya más que una moneda?

—¿Los platillos tendrán agua?

—Como quieras. Pueden estar secos —respondió mi hermano, echándose a reír y colocando 10 platillos uno detrás de otro.

—¿Esto también es un experimento físico?

—No, psicológico. Empieza.

—11 monedas en 10 platillos y ... una en cada uno. No, no puedo —dije, y capitulé en el acto.

—Prueba, yo te ayudaré. En el primer platillo pondremos la primera moneda y, temporalmente, la undécima.

Yo coloqué en el primer platillo dos monedas y esperé perplejo el desenlace.

—¿Has puesto las monedas? Está bien. La tercera moneda ponla en el segundo platillo. La cuarta, en el tercero; la quinta, en el cuarto, y así sucesivamente.

Hice lo que me decía. Y cuando la décima moneda la puse en el noveno platillo, vi con sorpresa que aún estaba libre el décimo.

—En él pondremos la undécima moneda que temporalmente dejamos en el primer platillo —dijo mi hermano, y cojiendo del primer platillo la moneda sobrante, la depositó en el décimo.

Ahora había 11 monedas en 10 platillos. Una en cada uno. ¡Era como para volverse loco!

Mi hermano recogió con presteza las monedas y no quiso explicarme lo que pasaba.

—Tú mismo debes adivinarlo. Esto te será más útil e interesante que si conoces las soluciones acabadas.

Y sin atender a mis ruegos, me propuso un nuevo problema:



--Aquí tienes seis monedas. Colócalas en tres filas, de manera que en cada fila haya tres monedas.

--Para eso hacen falta nueve monedas.

--Con nueve monedas cualquiera puede hacerlo.

No, hay que conseguirlo con seis.

--¿Otra vez algo inconcebible?

--¡Que pronto te das por vencido! Mira que sencillo es.

Cogió las monedas y las dispuso del modo siguiente:

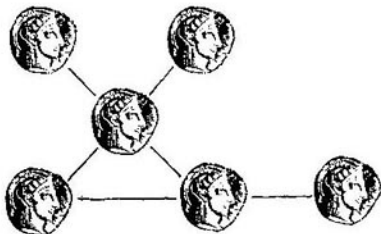


Figura 7

--Aquí hay tres filas y en cada una de ellas hay tres monedas --me explicó.

--Pero estas filas se cruzan.

--¿Y qué? ¿Dijimos acaso que no podían cruzarse?

--Si hubiera sabido que se podía hacer así, lo habría adivinado yo mismo.

--Bueno, pues, adivina cómo se resuelve este mismo problema por otro procedimiento. Pero no ahora, sino después, cuando tengas tiempo libre. Y aquí tienes tres problemas más del mismo tipo. Primero: coloca nueve monedas en 10 filas, a tres monedas en cada fila. Segundo: distribuye 10 monedas en cinco filas, de modo que haya cuatro monedas en cada una. Y el tercero es el siguiente. Yo dibujo un cuadrado con 36 casillas. Hay que poner en él 18 monedas, a una por casilla, de manera que en cada fila longitudinal o transversal haya tres monedas ... Espera, acabo de acordarme de otro truco con monedas. Empuña una moneda de 15 copeikas con una mano y otra de diez con la otra, pero no me enseñes ni me digas qué moneda tienes en cada mano. Yo mismo lo adivinaré. Lo único que tienes que hacer es lo que sigue: duplica mentalmente el valor de la moneda que tienes en la mano derecha, triplica el

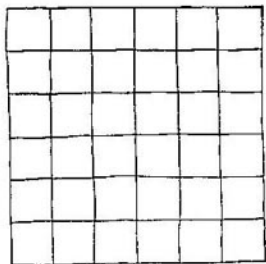


Figura 8

de la que tienes en la izquierda y suma los dos valores así obtenidos. ¿Lo has hecho ya?

—Sí.

—¿El número que resulta, es par o impar?

—Impar.

—La moneda de diez copeikas la tienes en la mano derecha y la de quince, en la izquierda —dijo mi hermano inmediatamente y acertó.

Repetimos el juego. El resultado fue esta vez par, y mi hermano, sin confundirse, dijo que la moneda de diez copeikas estaba en la mano izquierda.

—Acerca de este problema, reflexiona también cuando tengas tiempo —me aconsejó mi hermano—. Y para terminar te enseñaré un interesante juego con monedas.

Puso tres platillos en fila y colocó en el primero un montón de monedas: debajo, una de a rublo, sobre ella, una de cincuenta copeikas, encima, una de veinte, luego, una de quince, y finalmente, una de diez.

—Este montón de cinco monedas debe trasladarse al tercer platillo ateniéndose a las siguientes reglas. Primera regla: las monedas sólo se pueden trasladar una a una. Segunda: se prohíbe colocar una moneda mayor sobre otra menor. Tercera: las monedas se pueden poner *provisionalmente* en el segundo platillo, pero cumpliendo las dos reglas anteriores, y al final todas las monedas deben estar en el tercer platillo y en el mismo orden que tenían al principio. Como ves, las reglas no son difíciles de cumplir. Cuando quieras puedes empezar.

Comencé a transponer las monedas. Puse la de diez copeikas en el tercer platillo, la de quince, en el segundo, y me quedé cortado. ¿Dónde poner la de veinte copeikas siendo mayor que la de diez y que la de quince?

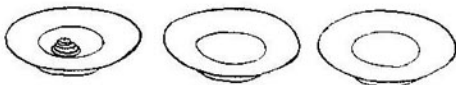


Figura 9

—¿Qué te pasa? —intervino mi hermano—. Pon la moneda de diez copeikas en el platillo de en medio, sobre la de quince. Así queda libre el tercer platillo para la moneda de veinte copeikas.

Hice lo que decía, pero me encontré con una nueva dificultad. ¿Dónde colocar la moneda de cincuenta



copeikas? Sin embargo, pronto caí en lo que había que hacer: pasé primero la moneda de diez copeikas al primer platillo, la de quince al tercero y luego, la de diez también al tercero. Ahora podía poner la de cincuenta copeikas en el platillo de en medio, que había quedado libre. Después de muchas transposiciones logré trasladar también el rublo y reunir, por fin, todo el montón de monedas en el tercer platillo.

—¿Cuántas transposiciones has hecho en total?

—me preguntó mi hermano, aprobando mi trabajo.

—No las he contado.

—Vamos a contarlas. Lo más interesante es saber cuál es el número mínimo de movimientos con que se puede lograr el fin propuesto. Si el montón fuera no de cinco monedas, sino de dos solamente, de la de quince copeikas y de la de diez, por ejemplo, ¿cuántos movimientos habría que hacer?

—Tres: pasar la diez al platillo de en medio, la de quince al tercero y luego la de diez, también al tercero.

—Muy bien. Añadamos ahora otra moneda —la de veinte copeikas— y contemos cuántos movimientos hay que hacer para trasladar el montón formado por estas monedas. Lo haremos así: primero pasaremos sucesivamente las dos monedas menores al platillo de en medio. Para esto, como ya sabemos, hay que hacer tres movimientos. Después pasaremos la moneda de veinte copeikas al tercer platillo, que está libre y será un paso más. Y, por fin, trasladaremos las dos monedas del platillo de en medio al tercer platillo, para lo cual habrá que hacer otros tres movimientos. En total serán $3 + 1 + 3 = 7$ movimientos.

—Déjame que cuente yo mismo los movimientos que hay que hacer para trasladar cuatro monedas. Primero pasaré las tres menores al platillo de en medio, haciendo siete movimientos, después pondré la moneda de cincuenta copeikas en el tercer platillo, y será un movimiento más, y luego volveré a trasladar las 3 monedas menores al tercer platillo, para lo que tendré que hacer otros siete movimientos. En total serán $7 + 1 + 7 = 15$.

—Perfectamente. ¿Y para cinco monedas?

— $15 + 1 + 15 = 31$.

—Ves, ya sabes cómo se hace el cálculo. Pero te voy a enseñar cómo se puede simplificar. Fíjate, todos los números que hemos obtenido, —3, 7, 15, 31— son el producto de 2 por sí mismo, efectuado

una o varias veces, pero restándole una unidad. ¡Observa! —dijo mi hermano y escribió la siguiente tabla:

$$\begin{aligned} 3 &= 2 \times 2 - 1, \\ 7 &= 2 \times 2 \times 2 - 1, \\ 15 &= 2 \times 2 \times 2 \times 2 - 1, \\ 31 &= 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 - 1. \end{aligned}$$

—Entendido: hay que tomar el número dos como factor tantas veces como monedas hay que trasladar, y luego restar una unidad. Ahora podría calcular el número de pasos para cualquier montón de monedas. Por ejemplo, para siete monedas:

$$2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 - 1 = 128 - 1 = 127.$$

—Bueno, has comprendido este antiguo juego. Pero debes saber una regla práctica más: si el número de monedas del montón es impar, la primera moneda se pasa al tercer platillo, y si es par, se pasa al platillo de en medio.

—Has dicho que es un juego antiguo. Entonces, ¿no lo has inventado tú?

—No, yo lo único que he hecho es aplicarlo a las monedas. Pero este juego es de procedencia muy antigua y quizá sea de origen hindú. En la India existe una leyenda interesantísima ligada a este juego. En la ciudad de Benarés hay, por lo visto, un templo en el cual el dios hindú Brahma, cuando creó el mundo, puso tres barritas de diamante y ensartó en una de ellas 64 discos de oro: el mayor debajo y cada uno de los siguientes menor que el anterior. Los sacerdotes de este templo tienen la obligación de pasar sin descanso, día y noche, estos discos de una barrita a otra, utilizando la tercera como auxiliar y siguiendo las reglas de nuestro juego, es decir, pasando cada vez un solo disco, sin poner nunca uno mayor sobre otro menor. Dice la leyenda que cuando los 64 discos hayan sido trasladados, se acabará el mundo.

—¿Entonces, ya hace tiempo que no debía existir!

—¿Tú crees que el traslado de los 64 discos no ocupa mucho tiempo?

—Naturalmente. Haciendo un movimiento cada segundo, se pueden hacer 3600 traslados en una hora.

—¿Y qué?

—Y en un día, cerca de 100 mil. En diez días, un millón. Con un millón de pasos creo que se pueden trasladar no 64 discos, sino todo un millar.

—Pues, te equivocas. Para trasladar 64 discos se necesitan aproximadamente 500 mil millones de años.



—¿Cómo es eso? El número de pasos es igual solamente al producto de 64 doses, y esto da ...

—«Nada más» que 18 trillones y pico.

—Espera un poco, ahora hago la multiplicación y veremos.

—Perfectamente. Y mientras tú multiplicas tendré tiempo de ir a hacer algunas cosas —dijo mi hermano y se fue.

Yo hallé primeramente el producto de 16 doses y después este resultado —65 536— lo multipliqué por sí mismo, y con lo que obtuve repetí esta operación. El trabajo era bastante aburrido, pero me arré de paciencia y lo llevé hasta el fin. Me resultó el siguiente numero:

18 446 744 073 709 551 616.

¡Mi hermano tenía razón!

Cobré ánimo y me puse a resolver los problemas que él me había propuesto para que yo los hiciera sin su ayuda. Resultó que no eran difíciles y que algunos incluso eran muy fáciles. Con las 11 monedas en los diez platillos la cosa tenía gracia por su sencillez: en el primer platillo pusimos la primera y la undécima moneda; en el segundo, la *tercera*, después,

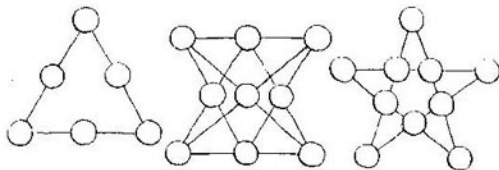


Figura 10

la cuarta y así sucesivamente. Pero, ¿dónde pusimos la *segunda*? ¡En ninguna parte! Ahí está el secreto. También es muy fácil el secreto para adivinar en qué mano está la moneda de diez copeikas: todo se reduce a que la moneda de 15 copeikas, cuando se duplica, da un número par, y cuando se triplica, un número impar; en cambio, la de diez copeikas da siempre un número par; por esto, si de la suma resultaba un número par, quería decir que la de 15 copeikas había sido duplicada, es decir, que estaba en la mano *derecha*, y si la suma era impar, es decir, si la de 15 copeikas había sido triplicada, se hallaba en la mano *izquierda*. Las soluciones de los problemas referentes a colocaciones de monedas se ven claramente en los dibujos siguientes (fig. 10).

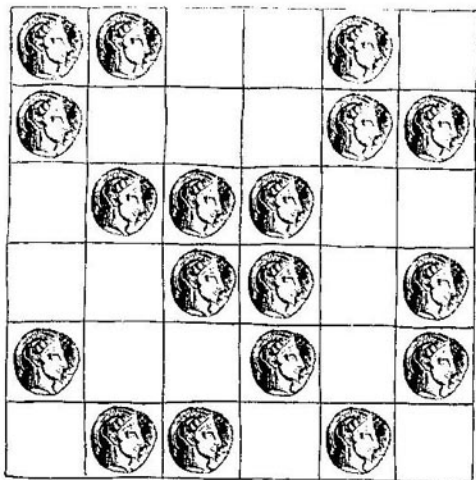


Figura 11

Finalmente, el problema de las monedas y las casillas se resuelve como muestra la fig. 11: las 18 monedas han sido alojadas en el cuadrado de 36 casillas y en cada fila hay tres monedas.

Perdidos
en un laberinto

*Perdidos en un laberinto • Hombres y ratas
• Regla de la mano derecha o de la mano
izquierda • Laberintos de la antigüedad •
Tournefort en la cueva • Soluciones a los
problemas sobre laberintos*

—¿De qué te ríes leyendo ese libro? ¿Es alguna historia graciosa? — me preguntó mi hermano.

—Sí. Es el libro de Jerome «Tres en un botes»¹⁾.

—Lo he leído. Es interesante. ¿En qué pasaje estás?

—En el que cuenta cómo un montón de gente se perdió en el laberinto de un parque y no podía salir de él.

—¡Curioso cuento! Léemelo.

Leí en voz alta el cuento de los que se perdieron en el laberinto.

¹⁾ «Three Men in a Boats»



—«Harris me preguntó si había estado alguna vez en el laberinto del Hampton Court. El tuvo ocasión de estar allí una vez. Lo había estudiado en el plano y la estructura del laberinto le pareció que era simple hasta la necedad y que, por lo tanto, no valía la pena pagar por entrar. Pero fue allí con uno de sus parientes.

—Vamos, si quiere —le dijo él—. Pero aquí no hay nada interesante. Es absurdo decir que esto es un laberinto. Se da una serie de vueltas hacia la derecha y ya se está a la salida. Lo recorreremos en diez minutos.

En el laberinto se encontraron con varias personas que paseaban ya por él cerca de una hora y que celebraban el poder salir. Harris les dijo que, si querían, podían seguirle: él acababa de entrar y sólo quería dar una vuelta. Ellos le respondieron que lo harían con mucho gusto y lo siguieron.

Por el camino se les fue incorporando más gente, hasta que por fin se reunió todo el público que se hallaba en el laberinto. Como habían perdido ya toda esperanza de salir de allí y de poder ver alguna vez a sus familiares y amigos, se alegraban de ver a Harris, se unían a su comitiva y hasta lo bendecían. Según Harris, se juntaron unas veinte personas, entre ellas una mujer con un niño, que llevaba ya toda la mañana en el laberinto y que ahora se aferró a su mano para no perderse por casualidad. Harris torcía siempre hacia la derecha, pero el camino resultó ser muy largo y su pariente le dijo que, por lo visto, el laberinto era muy grande.

—¡Sí, uno de los más grandes de Europa! —le aseguró Harris.

—Me parece —prosiguió el pariente— que ya hemos recorrido dos buenas millas.

Harris empezaba a sentirse preocupado, pero siguió animoso hasta que se toparon con un trozo de galleta que estaba tirada en el suelo. Su pariente juró que había visto aquel trozo de galleta hacía siete minutos.

—¡No puede ser! —replicó Harris. Pero la señora que llevaba al niño aseguró que sí podía ser, porque a ella misma se le había caído aquel trozo antes de encontrarse con Harris. Y después añadió que mejor hubiera sido no encontrarse con él, porque suponía que era un embustero. Esto hizo que Harris se indignara: sacó el plano y explicó su teoría.

—El plano vendría muy bien —le indicó uno de sus compañeros de viaje— si supiéramos dónde nos encontramos.

Harris no lo sabía y dijo que, a su parecer, lo mejor sería volver a la entrada y comenzar de nuevo. La última parte de su proposición no despertó gran entusiasmo, pero la primera —referente a volver a la entrada— fue aceptada por unanimidad y todos le siguieron en su marcha atrás. Al cabo de diez minutos se encontró el grupo en el centro del laberinto.

Harris quiso decir que aquí era adonde él se había dirigido, pero como vio que la gente estaba de mal humor, prefirió aparentar que había llegado allí casualmente.

De todas maneras había que ir a alguna parte. Ahora ya sabían donde estaban y, como es natural, echaron una ojeada al plano. Al parecer no era difícil salir de allí y, por tercera vez, emprendieron la marcha.

Tres minutos más tarde estaban ... de nuevo en el centro del laberinto.

Después de esto ya no había manera de deshacerse de él. Cualquiera que fuera la dirección que tomaran, volvían inevitablemente al centro. Esto se repetía con tal regularidad, que algunos decidieron quedarse allí y esperar a que los demás hicieran su recorrido siguiente y retornaran a donde ellos estaban. Harris sacó el plano, pero, al verlo, la multitud se puso furiosa.

Por fin se desconcertaron y empezaron a llamar al guarda. Este apareció, se subió a una escalera de mano y les gritó hacia donde tenían que ir.

Sin embargo, estaban ya tan atontados, que no consiguieron entender nada. Entonces, el guarda les gritó que no se movieran de donde estaban y que le esperasen. Ellos se apiñaron dispuestos a esperar, y él bajó de la escalera y se dirigió hacia ellos.

El guarda era joven y no tenía experiencia; una vez dentro del laberinto no consiguió encontrarlos, todos sus intentos de llegar a ellos fracasaron, y por fin, él mismo se perdió. De vez en cuando ellos le veían aparecer y desaparecer, ya en un punto ya en otro, al otro lado del seto vivo, y él, al distinguirlos, corría hacia ellos, pero al cabo de un minuto volvía a aparecer en el mismo sitio y les preguntaba dónde se habían metido.

Y no tuvieron más remedio que esperar hasta que vino en su ayuda uno de los guardas antiguos.»



—A pesar de todo —dije yo, después de terminar la lectura—, fueron torpes, porque, teniendo el plano en la mano, no encontrar el camino ...

—Y ¿tú crees que lo encontrarías en seguida?

—¿Por el plano? ¡Cómo no!

—Pues, espera. Yo creo que tengo el plano de ese laberinto —dijo mi hermano y empezó a buscar en su estante.

—Pero, ¿este laberinto existe en realidad?

—¿Hampton Court? Claro que existe. Está cerca de Londres. Hace ya más de doscientos años que lo



Figura 12

hicieron. Aquí está el plano. Resulta que no es tan grande: tiene en total 1000 metros cuadrados.

Mi hermano abrió el libro en que estaba representado el pequeño plano.

—Figúrate que tú estás aquí, en la plazoleta central del laberinto, y que quieres salir fuera. ¿Qué camino tomarías para ello? Sácale punta a una cerilla e indícala con ella la ruta a seguir.

Puse la punta de la cerilla en el centro del laberinto y la deslicé resueltamente por los sinuosos pasadizos del plano. Pero la cosa resultó ser más difícil que lo que yo pensaba. Después de dar varias vueltas, me encontré de nuevo en el pradejón central, lo mismo que los héroes de Jerome de que me había leído.

—Lo ves: el plano tampoco ayuda mucho. Pero las ratas resuelven el problema sin necesidad de plano.

—¿Las ratas? ¿Qué ratas?

—Las ratas de que habla este libro. ¿Tú crees que ésta es una obra sobre jardinería? No, es un tratado acerca de las facultades mentales de los animales.

Para comprobar la inteligencia de las ratas, los científicos hacen, de escayola, una especie de laberinto y meten en él a los animales que desean experimentar. Según dice este libro, las ratas encontraban el camino en el laberinto de Hampton Court, de escayola, en media hora, es decir, más de prisa que la gente de que habla Jerome.

—A juzgar por el plano, el laberinto no parece complicado. No piensas que es tan traicionero.

—Existe una regla muy sencilla, conociendo la cual uno entra en un laberinto cualquiera sin temor a no encontrar el camino para volver a salir.

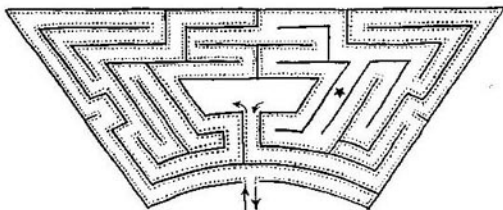


Figura 13

—¿Qué regla es esa?

—Hay que ir por el laberinto pasando por su pared la mano derecha —o la izquierda, es igual—, pero la misma durante todo el tiempo.

—¿Y eso es todo?

—Sí. Puedes probar esta regla en la práctica dándote mentalmente un pasco por el plano.

Yo puse en camino mi cerilla, teniendo en cuenta la regla antedicha, y, en efecto, bien pronto llegué desde la entrada exterior hasta el centro del laberinto y desde aquí hasta la salida al exterior.

—¡Magnífica regla!

—No del todo —repuso mi hermano—. Esta regla es buena para no perderse en el laberinto, pero no sirve para recorrer todos sus caminos sin excepción.

—Sin embargo, yo he pasado ahora por todos los paseos del plano sin omitir ninguno.

—Estás equivocado: si hubieras marcado con una raya punteada el camino recorrido, hubieses descubierto que en uno de los paseos no has estado.

—¿En cuál?

—En este que señalo con una estrellita en el plano (fig. 13). Aquí no has estado. En otros laberintos



esta regla te llevará a dejar de lado grandes partes de los mismos, de manera, que aunque saldrás de ellos felizmente, no los verás en su totalidad.

—Pero, ¿existen muchos laberintos diferentes?

—Sí, muchos. Ahora sólo se hacen en jardines y parques: en ellos yerras al aire libre entre altos muros de setos vivos. Pero en la antigüedad hacían laberintos dentro de vastos edificios y en subterráneos. Se hacía esto con el cruel objeto de condenar a los desgraciados que allí metían a errar desesperados por una ingeniosa red de corredores, pasadizos y salas, hasta morir de hambre. Así era, por ejemplo, el laberinto legendario de la isla de Creta, construido, según la tradición, por orden del rey Minos. Sus pasadizos estaban tan embrollados, que su propio constructor, Dédalo, al parecer, no pudo encontrar la salida. El poeta romano Ovidio describe así este edificio:

Al hacer la casa laberinto, con ciegos muros y techo,

Dédalo —genio constructor, célebre entonces—

Erigió un edificio, de peculiaridades exento,

Cuyos largos corredores curvos, formando red,

En sentidos diversos se extendían para burlar

ojos escrutadores.

Y más adelante dice que

...Caminos sin cuento hizo Dédalo en la casa dicha,
Tantos, que difícil le era a él mismo hallar la salida.

Otros laberintos de la antigüedad —prosiguió mi hermano— tenían por objeto guardar las sepulturas de los reyes, protegiéndolos contra los ladrones. El sepulcro se hallaba en el centro del laberinto, de modo que si el avaricioso buscador de tesoros enterrados conseguía llegar hasta ellos, no podía encontrar la salida: la tumba del rey se convertía también en tumba suya.

—Y ¿por qué no aplicaban la regla de que tú me has hablado antes?

—En primer lugar, porque, al parecer, en la antigüedad nadie sabía esa regla. Y, en segundo, porque, como ya te he explicado, no da siempre la posibilidad de recorrer todos los rincones del laberinto. Este puede construirse de manera, que el que utilice esta regla no pase por el sitio del laberinto en que se encuentran los tesoros ocultos.

—¿Y se puede construir un laberinto del que sea imposible salir? Está claro que el que entre en él

aplicando tu regla, podrá salir. Pero, ¿y si se mete dentro a alguien y se deja que se pierda?

—Los antiguos pensaban que, cuando los caminos del laberinto estaban suficientemente embrollados, era imposible salir de él. Pero esto no es así. Puede demostrarse con certeza matemática que es imposible construir laberintos de los cuales no se pueda salir. Es más: no sólo se puede hallar la salida de cualquier laberinto, sino también recorrer absolutamente todos sus rincones. Lo único que hace falta es acometer la empresa siguiendo un sistema riguroso y tomando ciertas medidas de seguridad. Hace 200 años, el botánico francés Tournefort se atrevió a visitar, en la isla de Creta, una cueva acerca de la cual existía la tradición de que, debido a sus innumerables pasadizos, era un laberinto sin salida. Cuevas como ésta hay varias en Creta y tal vez fueran ellas las que dieron origen en la antigüedad a la leyenda sobre el laberinto del rey Minos. ¿Qué hizo el botánico francés para no perderse? He aquí lo que acerca de esto cuenta el matemático Lucas, compatriota suyo.

Mi hermano cogió del estante un libro viejo titulado «Distracciones Matemáticas» y leyó en alta voz el siguiente pasaje, que yo copié luego:

«Después de deambular algún tiempo con nuestros compañeros por toda una red de corredores subterráneos, llegamos a una galería larga y ancha que conducía a una amplia sala en la profundidad de laberinto. En media hora —dijo Tournefort— hemos dado 1460 pasos por esta galería, sin desviarnos a la derecha ni a la izquierda ... A ambos lados de ella hay tantos corredores, que si no tomamos las precauciones necesarias nos perderemos inevitablemente; y como teníamos muchísimas ganas de salir de aquel laberinto, nos preocupamos de asegurar el camino de retorno.

En primer lugar, dejamos a uno de nuestros guías a la entrada de la cueva y le ordenamos que, si no regresábamos antes de que fuera de noche, reuniera gente de las aldeas vecinas para acudir en socorro nuestro. En segundo lugar, cada uno de nosotros llevaba una antorcha encendida. En tercero, en todos los recodos que pensábamos serían difíciles de encontrar después, fijábamos en la pared derecha un papel con un número. Y, en cuarto, uno de nuestros guías iba dejando por el lado izquierdo hacecillos de endrina, preparados de antemano, y otro guía rociaba el camino con paja cortada que llevaba en un saco.

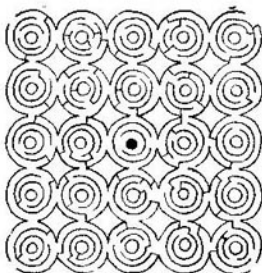


Figura 14

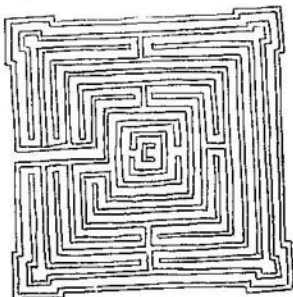


Figura 15



Figura 16

¡Todas estas engorrosas precauciones —dijo mi hermano, cuando terminó la lectura del trozo— no son tan necesarias como pueden parecerse. En la época de Tournefort no se podía proceder de otro modo, porque entonces aún no había sido resuelto el problema de los laberintos. Pero ahora ya se han elaborado unas reglas menos embarazosas para explorar los laberintos, y tan seguras como las medidas tomadas por el botánico francés.

—¿Y tú conoces esas reglas?

—Sí. No son difíciles. La primera regla consiste en que, una vez que se entre en el laberinto, se va por cualquier camino hasta que se llega a un corredor sin salida o a una encrucijada. Si se llega a un corredor sin salida, se vuelve atrás y a su entrada se ponen dos piedrecitas, que indicarán que dicho corredor ha sido recorrido dos veces. Si se llega a una encrucijada, se seguirá adelante por cualquiera de los corredores, señalando cada vez con una piedrecita el camino por el cual se llegó y el camino por el que se prosigue. Esta es la primera regla. La segunda dice lo siguiente: si por un nuevo corredor se llega a un cruce en el que ya se estuvo antes (lo que se nota por las piedrecitas), inmediatamente hay que retornar por dicho corredor y poner a su entrada dos piedrecitas. Finalmente, la tercera regla requiere que, si se llega a una encrucijada, ya visitada, por un corredor por el cual ya se ha pasado una vez, hay que señalar este camino con una segunda piedrecita y seguir por uno de los corredores aún no recorridos ninguna vez. Si tal corredor no existe, se opta por uno a cuya entrada sólo haya una piedrecita (es decir, por un corredor recorrido una sola vez). Observando estas reglas pueden recorrerse dos veces, una en un sentido y otra en el opuesto, todos los corredores del laberinto, sin dejar ni un solo rincón, y salir de él felizmente.

Yo tengo varios planos de laberintos que recorté en su tiempo de revistas ilustradas (figs. 14, 15 y 16). Si quieres puedes intentar recorrerlos. Espero que, después de lo que ya sabes, no corras peligro de perderte en ellos. Y si tienes bastante paciencia, puedes hacer en el patio de nuestra casa un laberinto semejante, por ejemplo, al de Hampton Court, del que escribía Jerome. Para ello puedes contar con la ayuda de tus amigos y con la nieve que hay allí.



Con más maña
que Colón

«Cristóbal Colón fue un gran hombre—escribía un escolar en uno de sus ejercicios de composición— que descubrió América y puso un huevo de pie». Ambas hazañas le parecían al joven escolar igualmente dignas de

admiración. En cambio, el humorista norteamericano Mark Twain no veía nada extraordinario en que Colón hubiera descubierto América: «Lo sorprendente hubiera sido que no la hallara en su sitio».

Y yo pienso que tampoco vale mucho la segunda proeza del insigne navegante. ¿Sabe usted cómo puso Colón el huevo de pie? Simplemente lo chafó contra la mesa, es decir, aplastó la cáscara en su parte inferior. Con esto, como es natural, cambió la forma del huevo. Pero, ¿cómo puede ponerse en pie un huevo, sin cambiar su forma? Este problema no fue resuelto por el intrépido marino.

Sin embargo esto es incomparablemente más fácil que descubrir América e incluso la isla más diminuta. Le enseñaré tres procedimientos de hacerlo: uno, para los huevos duros, otro, para los crudos, y el tercero, para unos y otros.

Para poner de pie un huevo duro no hay más que hacerlo girar con los dedos de una mano o entre las palmas de las dos manos, como si fuera un trompo: el huevo comenzará a girar de pie y conservará esta posición mientras gire. Después de hacer dos o tres pruebas, este experimento se logra realizar con bastante facilidad.

Pero por este procedimiento no se puede poner de pie un huevo crudo: como quizá haya notado usted, los huevos crudos giran mal. En esto consiste precisamente un procedimiento seguro de distinguir, sin romper la cáscara, un huevo cocido de otro crudo. El contenido líquido del huevo crudo no es arrastrado por un movimiento de rotación tan rápido como el de la cáscara y, por esto, parece que lo frena. Hay, pues, que buscar otra manera de poner el huevo de pie. Este procedimiento existe. El huevo se sacude fuertemente varias veces: con esto, la yema rompe su delicada envoltura y se esparce por el interior del huevo. Si después se pone el huevo de pie sobre su extremo romo y se mantiene en esta posición durante cierto tiempo, la yema —que es más pesada que la clara—

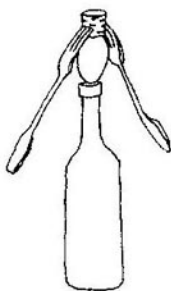


Figura 17

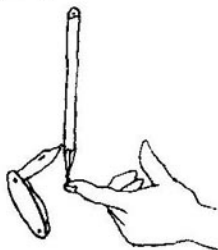


Figura 18

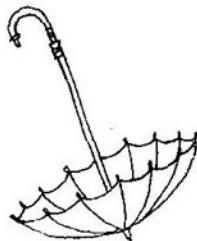


Figura 19

escurre hacia abajo y se reúne en la parte inferior del huevo. En virtud de esto el centro de gravedad del huevo desciende y éste adquiere una estabilidad mayor que la que tenía antes de someterlo a la operación indicada.

Finalmente, hay un tercer procedimiento de poner de pie el huevo. Se pone, por ejemplo, sobre el tapón de una botella tapada, y encima de él se coloca otro tapón con tenedores clavados. Todo este «sistema» (como diría un físico) es bastante estable y conserva el equilibrio incluso si la botella se inclina con precaución. ¿Por qué no se caen el tapón y el huevo? Por la misma razón que no se cae un lápiz colocado verticalmente sobre un dedo, si se le hinca previamente un cortaplumas. «El centro de gravedad del sistema está más bajo que su punto de apoyo» —le explicaría a usted un científico. Esto quiere decir, que el punto a que está aplicado el peso del «sistema» se encuentra más bajo que el punto en que dicho sistema se apoya.

Fuerza
centrífuga

Abra una sombrilla, apoye su contra en el suelo, hágala girar y eche al mismo tiempo dentro de ella una pelotita, una bola de papel, un pañuelo o cualquier objeto ligero que no se rompa. Ocurrirá algo

inesperado para usted. La sombrilla parece que no quiere admitir su obsequio: la pelotita o la bola de papel empiezan a subir solas hasta el borde de la sombrilla y desde allí salen despedidas siguiendo una línea recta.

La fuerza que en este experimento lanza la pelota suele llamarse «fuerza centrífuga», aunque sería más correcto denominarla «inercia». Esta fuerza la encontramos cada vez que un cuerpo se mueve por un camino circular. Esto no es más que uno de los casos en que se manifiesta la inercia, es decir, la tendencia del objeto que se mueve a conservar la dirección y la velocidad de su movimiento.

Con la fuerza centrífuga nos encontramos con mucha más frecuencia de lo que sospechamos. Si usted hace girar con la mano una piedra atada a una cuerda, notará que la cuerda se tensa y amenaza romperse por la acción de la fuerza centrífuga. Un arma para arrojar piedras tan antigua como la honda, funciona en virtud de esta misma fuerza. La fuerza centrífuga rompe las muelas de los molinos si giran demasiado de prisa y no son suficientemente resistentes. Si se

da usted maña, esa misma fuerza le ayudará a hacer el truco con el vaso, del cual no se derramará el agua aunque lo ponga boca abajo: para esto no hay más que subir rápidamente la mano que sostiene el vaso, haciéndola describir rápidamente una circunferencia vertical. La fuerza centrífuga le ayuda al ciclista del circo a describir el vertiginoso «rizo de la muerte». Ella separa la nata de la leche en las desnatadoras; saca la miel de los panales en las centrifugadoras llamadas meloextractores; seca la ropa, extrayéndole el agua en secadoras centrifugadoras, etc.

Cuando un tranvía toma una curva, por ejemplo, cuando tuerce de una calle a otra, los pasajeros sienten directamente la fuerza centrífuga, la cual les empuja en dirección a la pared exterior del vagón. Si la velocidad del movimiento fuera suficiente, todo el vagón podría ser volcado por esta fuerza, si el raíl exterior de la curva no hubiera sido colocado más alto que el interior: a esto se debe que el vagón se incline ligeramente hacia dentro en las curvas. Parece extraño que un vagón que se inclina hacia un costado sea más estable que otro que se mantiene vertical.

Sin embargo es así. Y un pequeño experimento le ayudará a comprender cómo ocurre esto. Curve una hoja de cartón de manera que tome la forma de una superficie cónica de gran diámetro o, mejor, coja usted, si la hay en casa, una escudilla de pared cónica. También puede servir muy bien para nuestro fin una pantalla cónica de vidrio o de hojalata de las que se usan en las lámparas eléctricas. Una vez que disponga de uno de estos objetos, haga rodar por su interior una moneda, un pequeño disco metálico o un anillo. Describirán círculos por el fondo del recipiente inclinándose sensiblemente hacia dentro. A medida que la moneda o el anillo vayan perdiendo velocidad, las circunferencias que describan serán cada vez menores y se aproximarán al centro del recipiente. Pero bastará girar levemente dicho recipiente, para que la moneda vuelva a rodar con mayor rapidez; y entonces se alejará del centro describiendo cada vez mayores circunferencias. Y si adquiere mucha velocidad, podrá incluso, rodando, salirse del recipiente.

Para las carreras de bicicletas, en los velódromos se hacen pistas circulares especiales, las cuales, como podrá usted comprobar, sobre todo donde las curvas son cerradas, se construyen con una inclinación considerable hacia el centro (peralte). La bicicleta da

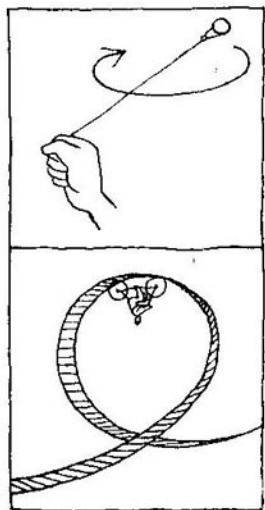


Figura 20

vueltas por estas pistas manteniéndose en una posición muy inclinada —lo mismo que la moneda en la escudilla— y no sólo no se vuelca, sino que, al contrario, precisamente en esta posición, adquiere una estabilidad extraordinaria. En los circos, los ciclistas llaman la atención del público describiendo circunferencias por un tablado muy empinado. Ahora comprenderá usted que esto no tiene nada de particular. Lo que sí sería un arte difícil para el ciclista es dar vueltas así por una pista *horizontal* lisa. Por esta misma razón se inclinan también hacia dentro, en las curvas cerradas, el jinete y el caballo.

De estos hechos pequeños pasaremos a uno más grande. La esfera terrestre, en que habitamos, es un cuerpo en rotación y en él debe manifestarse la fuerza centrífuga. ¿En qué se manifiesta? En que debido a la rotación de la Tierra todos los cuerpos que hay en la superficie se hacen más livianos. Cuanto más cerca del ecuador, tanto mayor es la circunferencia que tienen tiempo de describir los cuerpos en 24 horas, es decir, giran a mayor velocidad y, por lo tanto, pierden más peso. Si una pesa de 1 kilogramo se traslada desde el polo al ecuador y aquí se vuelve a pesar en una balanza de resorte (dinamómetro), se notará una pérdida de 5 g de peso. Esta diferencia, verdaderamente, no es grande, pero cuanto más pesado sea el cuerpo, mayor será su pérdida de peso. Una locomotora que desde Arkángel llegue a Odesa, resultará ser en esta última 60 kg más ligera, es decir, en lo que pesa una persona adulta. Y un navío de línea de 20 mil toneladas que llegue desde el Mar Blanco al Mar Negro, perderá aquí, nada menos que 80 t. ¡Lo que pesa una buena locomotora!

¿A qué se debe esto? A que la esfera terrestre, al girar, tiende a despedir de su superficie todos los cuerpos, lo mismo que la sombrilla de nuestro experimento despide la pelotita que echamos en ella. La esfera terrestre despediría dichos cuerpos, pero a esto se opone el hecho de que la Tierra atrae hacia sí todos los cuerpos. A esta atracción le damos el nombre de «gravedad». La rotación no puede hacer que los cuerpos salgan despedidos de la Tierra, pero sí pueden disminuir su peso. He aquí por qué los cuerpos se hacen más livianos en virtud de la rotación de la esfera terrestre.

Cuanto más rápida sea la rotación, tanto más perceptible deberá hacerse la disminución del peso. Los científicos han calculado que si la Tierra girara

no como ahora, sino 17 veces más de prisa, los cuerpos perderían totalmente su peso en el ecuador: se harían ingravidos. Y si la Tierra girara con mayor rapidez aún, por ejemplo, si diera una vuelta completa en 1 hora, los cuerpos perderían por completo su peso no sólo en el mismo ecuador, sino también en todos los países y mares próximos al mismo.

Figúrese usted lo que esto significaría: ¡los cuerpos perderían su peso! Esto quiere decir que no habría cuerpo que usted no pudiera levantar: locomotoras, peñascos, cañones gigantescos, barcos de guerra enteritos, con todas sus máquinas y armamento podrían ser levantados por usted como si fueran plumas. Y si los dejara caer usted, no habría peligro: no aplastarían a nadie. Y no lo aplastarían por la sencilla razón de que no caerían, puesto que no pesarían nada. Permanecerían flotando en el aire en el mismo sitio en que los soltaran. Si usted se encontrara en la barquilla de un globo y quisiera tirar sus bártulos por la borda, éstos no caerían a ninguna parte, sino que permanecerían en el aire. ¡Qué mundo tan maravilloso sería éste! Podríamos saltar tan alto como nunca hallamos saltado ni en sueños: más alto que los edificios y las montañas más altas. Pero no lo olvide: saltar sería muy fácil, pero volver a caer, imposible. Exento de peso, de por sí, no caería usted a tierra.

Este mundo tendría otras incomodidades. Imagínese las usted mismo: todas las cosas, tanto pequeñas como grandes, si no estuvieran sujetas, saldrían volando en cuanto soplara la más leve brisa. La gente, los animales, los automóviles, los carros, los barcos, todo se movería desordenadamente en el aire, rompiéndose, estropeándose y mutilándose entre sí.

Eso es lo que ocurriría si la Tierra girara mucho más de prisa.

Diez perinolas

En los dibujos que le ofrecemos puede ver usted toda clase de perinolas, hechas de 10 modos distintos. Con ellas podría hacer toda una serie de experimentos divertidos e instructivos. Su fabricación no requiere un arte especial: usted mismo puede hacerlas sin que nadie le ayude y sin gastar nada.

Veamos cómo son estas perinolas.

1. Si cae en sus manos un botón con agujero central, como el representado en la fig. 21, no hay nada más fácil que transformarlo en una peonza. Haga



Figura 21

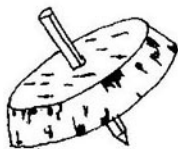


Figura 22



Figura 23

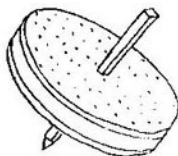


Figura 24

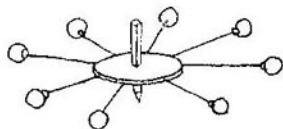


Figura 25

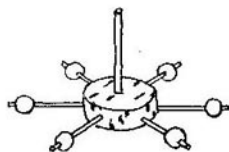


Figura 26

pasar por el agujero de en medio —único que nos hace falta— una cerilla de palo, que entre bien ajustada y que tenga un extremo afilado, y la peonza ya está hecha. Dará vueltas no sólo sobre el extremo afilado de su eje, sino también sobre el romo: para esto no hay más que hacerla girar como de ordinario se hace, sujetando su eje entre los dedos y dejándola caer después con destreza sobre el extremo romo: la peonza girará sobre él balanceándose graciosamente de un lado a otro.

2. Podemos arreglárnoslas también sin botón con agujero en medio. Un tapón siempre se encuentra a mano. Corte usted una rodaja de él, atravesese su centro con una cerilla de palo y tendrá la perinola número 2 (fig. 22).

3. En la fig. 23 ve usted una peonza poco corriente; una nuez que gira sobre un saliente agudo. Para convertir una nuez apropiada en peonza, basta clavar en ella, por su parte achatada, una cerilla de palo y después hacerla girar.

4. Todavía será mejor si consigue un tapón plano ancho (o la tapadera de plástico de un frasco no muy grande). Caldee usted entonces un alambre de hierro o una aguja de hacer punto y queme con ella el tapón, a lo largo de su eje, de manera que quede un agujerito para la cerilla. Esta peonza bailará durante mucho tiempo con estabilidad.

5. Una perinola especial se muestra en la figura siguiente: una cajita redonda, de píldoras, atravesada por una cerilla afilada. Para que la cajita se mantenga firmemente en el eje, sin deslizarse a lo largo de él, hay que lacrar el orificio (fig. 24).

6. Una peonza muy interesante es la que ve usted en la fig. 25. A la periferia de su disco de cartón van atados con hilos unos botoncitos esféricos con ojos. Cuando la peonza gira, los botoncitos son lanzados a lo largo de los radios del disco, tensan los hilos y ponen de manifiesto claramente la acción de la fuerza centrífuga que ya conocemos.

7. Esto mismo, pero de otro modo, lo muestra la perinola de la fig. 26. En el disco de corcho de la peonza van hincados unos alfileres, en los cuales hay ensartadas cuentas multicolores que pueden deslizarse libremente por ellos. Cuando la peonza gira, las cuentas son empujadas por la fuerza centrífuga hacia las cabezas de los alfileres. Si la peonza en rotación está bien iluminada, las varillas de los alfi-

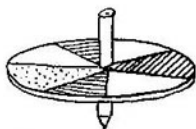


Figura 27

leres se confunden y forman una cinta plateada continua bordeada por la abigarrada circunferencia que originan las cuentas. Para poder contemplar durante más tiempo el efecto que produce esta peonza, conviene hacerla bailar en un plato llano.

8. La peonza de la fig. 27 es de colores. Su fabricación es laboriosa, pero ella compensa el trabajo realizado poniendo de manifiesto propiedades admirables. De un trozo de cartón corte usted un círculo liso, traspáselo, con una aguja de hacer punto, en el centro y póngale una cerilla de palo afilada, apretándolo, para mayor solidez, entre dos círculos de corcho. Ahora divida el disco de cartón en partes iguales por medio de líneas rectas que vayan desde el centro a la periferia, lo mismo que cuando se corta una tarta redonda; las partes obtenidas —que un matemático llamaría «sectores»— píntelas alternativamente de amarillo y azul. ¿Qué verá usted cuando empiece a girar la peonza? El disco no parecerá azul ni amarillo, sino verde. Los colores azul y amarillo, al confundirse en nuestro ojo, dan un color nuevo, el verde.

Continúe sus experiencias acerca de la mezcla de colores. Prepare un disco cuyos sectores estén pintados alternativamente de color celeste y anaranjado. Esta vez el disco, cuando gire, será blanco (o mejor dicho, gris claro, tanto más claro cuanto más puras sean sus pinturas). Dos colores que al mezclarse dan el blanco, se llaman en física «complementarios». Nuestra peonza nos ha demostrado, pues, que el celeste y el anaranjado son dos colores complementarios.

Si su colección de colores es buena, puede usted atreverse a repetir el experimento que hace 200 años hizo el eminente científico inglés Newton. Concretamente: pinte los sectores del disco con los siete colores del iris: violeta, azul, celeste, verde, amarillo, anaranjado y rojo. Cuando el disco gire, estos siete colores deben confundirse dando un color blanco grisáceo. Este experimento le ayudará a comprender que cada rayo de luz solar blanca se compone de muchos rayos de color.

Una variante de nuestros experimentos con la peonza de colores consiste en lo siguiente: cuando la peonza esté ya bailando, eche sobre ella un anillo de papel; el color de este último cambiará inmediatamente (fig. 28).

Figura 28

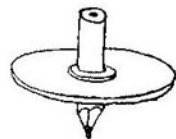
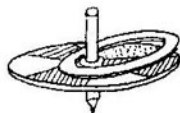


Figura 29

9. Peonza registradora (fig. 29). Haga usted una peonza como acabamos de decir, pero póngale como



eje no una cerilla afilada o un palito, sino un lápiz blando con punta. Haga que esta peonza baile sobre una hoja de cartón un poco inclinada. La peonza, al girar, irá bajando poco a poco por el cartón y dibujando con el lápiz una serie de rizos. Estos rizos serán fáciles de contar, y como cada uno de ellos se forma al dar una vuelta completa la peonza, observando su rotación con un reloj en mano no será difícil determinar cuántas vueltas da la peonza cada segundo¹⁾. A simple vista sería imposible contarlas.

A continuación se representa otro tipo de peonza registradora. Para hacerla hay que conseguir un disco de plomo, de esos que se ponen en los bordes de las cortinas para que queden tirantes. En el centro del disco hay que horadar un orificio (el plomo es blando y perforarlo no es difícil) y a ambos lados de éste practicar dos agujeritos (uno a cada lado).

El disco se ensarta por el orificio central en un palito afilado, a través de uno de los agujeritos se hace pasar un trozo de sedal de kaprón (fibra sintética) o de cerda, de manera que salgan por abajo un poquito más que el eje de la peonza; el sedal se fija en esta posición con una astillita de palo de una cerilla. El tercer agujerito se deja sin emplear; lo horadamos para que el disco de plomo pese exactamente lo mismo por ambos lados de su eje, de lo contrario la peonza estaría cargada irregularmente y no bailarían con suavidad.

Ya está hecha la peonza registradora; pero para hacer los experimentos con ella hay que preparar un plato ahumado. Después de mantener el fondo del plato sobre la llama de una astilla ardiendo, o de una vela encendida, hasta que su superficie se cubra de una capa uniforme de hollín espeso, se echa a bailar la peonza por esta superficie. Al girar, la peonza se deslizará por ella y el extremo del sedal trazará al mismo tiempo, en blanco sobre negro, un dibujo complicado pero bastante bonito (fig. 30).

10. La cumbre de nuestros esfuerzos será la última perinola, una peonza carrusel. El hacerla es mucho más

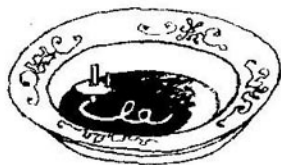


Figura 30

¹⁾ Los segundos pueden contarse también sin reloj, determinándolos por medio del cálculo mental. Para esto hay que aprender de antemano a pronunciar las palabras «uno», «dos», «y tres», «y cuatro», «y cinco» ... de manera que en nombrar cada número se invierta exactamente 1 segundo.

No crea que esto es un arte tan difícil: para aprenderlo harán falta unos diez minutos de entrenamiento, no más.

fácil de lo que parece a primera vista. El disco y la varilla que hace de eje son en este caso lo mismo que en la peonza de colores que ya conocemos. En el disco se hincan alfileres con gallardetes distribuyéndolos simétricamente alrededor del eje. Después se pegan en el disco unos diminutos caballitos de papel, con

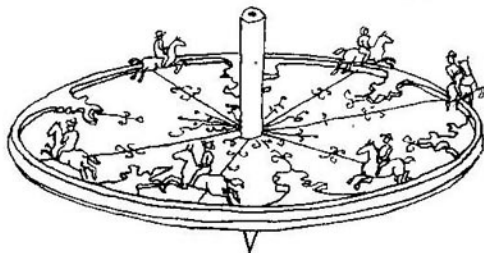


Figura 31

sus jinetes respectivos, y ya tiene usted un pequeño carrusel para distraer a su hermanito o hermanita menor (fig. 31).

Choque

Si se produce una colisión entre dos barcas, dos tranvías o dos bolas de croquet, sea esto un accidente o simplemente el desenlace de una jugada ordinaria, el físico denomina este hecho con la palabra «choque».

El choque dura un brevísimo instante; pero si los cuerpos que chocan son, como suele ocurrir de ordinario, elásticos, en este instante tienen tiempo de ocurrir muchas cosas. En cada choque elástico distingue el físico tres períodos. En el primer período del choque los dos cuerpos que intervienen en la colisión comprimen el uno al otro en el punto en que entran en contacto. Entonces comienza el segundo período, en el cual la compresión mutua alcanza su más alto grado; la reacción interna, que se produce en respuesta a la compresión, dificulta la continuación de esta última, ya que equilibra a la fuerza que presiona. En el tercer período del choque, la fuerza de reacción, al tender a restablecer la forma del cuerpo modificada durante el primer período, empuja a los cuerpos en sentidos opuestos: el objeto que chocó parece que recibe su golpe de vuelta. Y observamos, en efecto, que sí, por ejemplo, una bola de croquet choca contra otra que esté en reposo y que pese lo mismo que ella,

debido al contragolpe, la bola que choca se para en el sitio y la que estaba en reposo empieza a rodar con la velocidad que traía la primera.

Es muy interesante observar lo que ocurre cuando una bola choca con una cadena de bolas en contacto mutuo que forman una fila recta. El golpe que recibe la bola que está en el extremo parece que pasa por la cadena, pero todas las bolas permanecen inmóviles

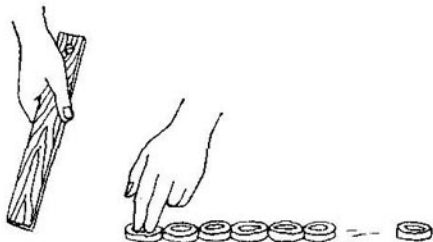


Figura 32

en sus puestos y sólo la última, es decir, la más alejada del lugar del choque, sale despedida hacia un lado, ya que ella no tiene a quien transmitir el golpe y de quién recibirlo de vuelta.

Este experimento puede hacerse con bolas de croquet, pero también se consigue realizarlo con fichas del juego de damas o con monedas. Ponga las fichas formando una fila recta. La fila puede ser muy larga, pero las fichas deben estar necesariamente en apretado contacto unas con otras. Sujete con un dedo la ficha del extremo y déle un golpe a su canto con una regla de madera: verá usted cómo del otro extremo sale disparada la última ficha, mientras las intermedias continúan en sus puestos.

El huevo
en el vaso

Los payasos de circo maravillan al público en ciertas ocasiones tirando bruscamente del mantel que cubre una mesa servida, pero toda la vajilla —platos, vasos, botellas, etc.— permanece indemne en su sitio. Aquí

no hay trampa ni maravilla, esto es cuestión de habilidad, que se adquiere a fuerza de entrenarse mucho.

Esta agilidad de manos no es probable que la consiga usted. Pero hacer un experimento semejante en pequeña escala no será difícil. Prepare usted en la

mesa un vaso lleno de agua hasta la mitad y una tarjeta postal (o mejor aún, media tarjeta); pídale a sus mayores un anillo grande (de hombre), para hacer un experimento, y consiga un huevo duro. Coloque estos objetos así: el vaso con el agua tápelo con la tarjeta; sobre ésta, ponga el anillo, y encima de él coloque de pie el huevo. ¿Puede quitarse la tarjeta sin que el huevo caiga sobre la mesa?

A primera vista esto es tan difícil como tirar del mantel sin que caiga al suelo la vajilla que hay sobre él. Pero usted puede resolver esta delicada cuestión dándole un buen papirotazo al borde de la tarjeta. Esta se desplazará de su sitio y saldrá lanzada hacia el extremo opuesto de la habitación, y el huevo ... el huevo y el anillo irán a parar indemnes al vaso con el agua. El agua amortiguará el golpe e impedirá que se rompa la cáscara del huevo.

Una vez adquirida cierta habilidad, puede arriesgarse a hacer este experimento con un huevo crudo.

La explicación de esta pequeña maravilla consiste en que, debido a la corta duración del golpe, el huevo no tiene tiempo de recibir de la tarjeta expulsada una velocidad algo apreciable; mientras tanto, la propia tarjeta, que recibe el golpe directamente, tiene tiempo de deslizarse. El huevo, al quedarse sin apoyo, cae verticalmente dentro del vaso.

Si este experimento no le sale bien la primera vez, adiéstrese previamente haciendo otra experiencia más sencilla del mismo tipo. Deposite sobre la palma de su mano izquierda una tarjeta postal (o mejor, media tarjeta) y ponga encima de ella una moneda lo más pesada posible. Después déle un papirotazo al borde de la tarjeta y expúlsela de debajo de la moneda: la cartulina se deslizará, pero la moneda quedará en su mano. El experimento resulta mejor aún si en vez de la tarjeta postal se utiliza un billete de ferrocarril.

Una rotura
extraordinaria

Los ilusionistas hacen con frecuencia en escena un bonito experimento que parece extraordinario, aunque se explica con bastante facilidad. Un palo bastante largo se cuelga de dos anillos de papel; en los anillos se apoyan los extremos del palo. Uno de los anillos pende a su vez apoyándose en el filo de una navaja de afeitar, y el otro, está colgado de una gran pipa de fumar. El ilusionista coge otro palo, lo bolea,

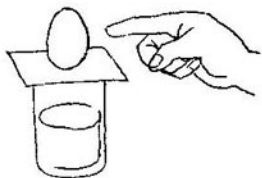


Figura 33



y le da con él un golpe al primero. ¿Y qué ocurre? ¡Se rompe el palo, y los anillos de papel y la pipa se conservan absolutamente indemnes!

La explicación de este experimento es la misma que la del precedente. El golpe es tan rápido y la acción tan poco duradera, que ni los anillos de papel ni los extremos del palo golpeado tienen tiempo de recibir desplazamiento alguno. Se mueve únicamente la parte del palo que recibe directamente el golpe, y por esto se rompe dicho palo. Por consiguiente, el secreto del éxito está en que el golpe sea muy *rápido* y *seco*. Un golpe lento y flojo no romperá el palo, sino los anillos de papel.

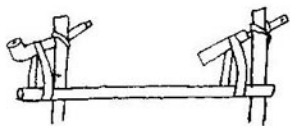


Figura 34

Entre los malabaristas hay algunos tan diestros, que se las ingenian para romper un palo apoyado en los bordes de dos vasos finos, y el vidrio queda intacto.

Digo esto como es natural, no para recomendar que se hagan semejantes trucos. Usted tendrá que conformarse con otras variantes más modestas de

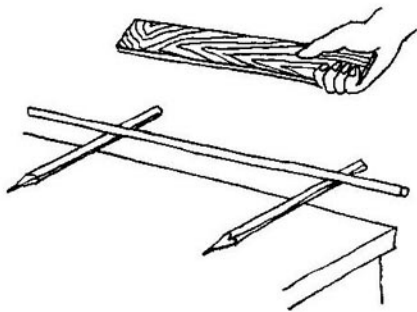


Figura 35

estos experimentos. Ponga sobre el borde de una mesa baja o de un banquillo dos lápices, de manera que una parte de ellos sobresalga libremente, y encima de estos extremos libres ponga un palito delgado y largo. Un golpe fuerte y rápido, dado con el canto de una regla en el centro del palo antedicho, lo romperá por la mitad, pero los lápices en que se apoyaban sus extremos continuarán donde estaban.

Después de esto comprenderá usted por qué es imposible cascar una nuez presionándola suavemente, aunque sea con fuerza, con la palma de la mano, mientras que es muy fácil romperla dándole un golpe

fuerte con el puño; en este último caso el golpe no tiene tiempo de propagarse por la parte carnosa del puño, y nuestros blandos músculos no ceden a la presión de la nuez y actúan sobre ella como si fueran un cuerpo rígido.

Por esta misma razón una bala hace en la ventana un agujero pequeño y redondo, mientras que una china tirada con la mano, cuyo vuelo es mucho menos rápido, hace astillas todo el vidrio. Un empujón aún más lento puede hacer que la hoja de la ventana gire sobre sus goznes; ni la bala ni la china pueden hacer esto.

Finalmente, otro ejemplo de este mismo efecto es el corte de un tallo por un golpe dado con una varilla. Presionando lentamente con la varilla, aunque sea con mucha fuerza, no conseguirá usted cortar el tallo, sino únicamente desviarlo hacia un lado. Pero si le da un golpe con impulso, lo cortará con toda seguridad, siempre que el tallo no sea demasiado grueso. Aquí también, lo mismo que en los casos anteriores, con la rapidez del movimiento de la varilla se consigue que el golpe no tenga tiempo de transmitirse a todo el tallo. Se concentra solamente en la pequeña parte, afectada directamente, que sufre todas las consecuencias del golpe.

Como un
submarino

Un huevo fresco se hunde en el agua, esto lo sabe cada ama de casa. Cuando quiere saber si los huevos son frescos, los somete precisamente a esta prueba: si un huevo se hunde, es fresco, si flota, no debe comerse.

El físico deduce de esta observación que el huevo más fresco pesa más que un volumen igual de agua pura. Digo «pura» porque, si no es pura —por ejemplo, si tiene sal—, pesa más.

Puede prepararse una disolución tan densa de sal en agua, que el huevo sea más liviano que la salmuera que desaloja. Entonces, por el principio de flotación que descubrió Arquímedes en la antigüedad, el huevo más fresco flotará en esta agua.

Aplique usted estos conocimientos para hacer el siguiente experimento aleccionador: conseguir que el huevo ni se hunda, ni flote, es decir, que se mantenga «entre dos aguas». El físico diría que el huevo en este estado estaría «suspendido». Para esto tendrá usted que preparar una solución de sal en agua tan concentrada, que el huevo sumergido en ella desaloje exactamen-



Figura 36

te la misma cantidad de salmuera que él mismo pesa. Semejante solución sólo puede obtenerse después de hacer varias pruebas: si el huevo emerge, se añade un poco de agua, y si se hunde, se añade un poco de salmuera más concentrada. Con cierta paciencia logrará usted por fin obtener la salmuera en que el huevo sumergido ni flota ni se va al fondo, sino que permanecerá quieto en el sitio en que lo ponga.

En un estado semejante se encuentra el submarino. Este únicamente puede mantenerse debajo de la superficie del agua, sin caer al fondo, cuando pesa exactamente lo mismo que el agua que desaloja. Para conseguir que tenga este peso, los marinos dejan entrar dentro de él, a unos depósitos especiales, agua del mar; cuando hace falta elevarse, se expulsa esta agua.

El dirigible —no el avión, sino precisamente el dirigible— flota en el aire por esta misma causa: de un modo semejante al huevo en el agua salada, el dirigible desaloja exactamente las mismas toneladas de aire que él pesa.

La aguja flotante ¿Se puede hacer que una aguja de acero flote en el agua lo mismo que una pajita? Al parecer es imposible: un trozo macizo de hierro, aunque sea pequeño, debe hundirse inevitablemente en el agua.

Así piensan muchos, y si usted se encuentra entre estos «muchos», el siguiente experimento le obligará a cambiar de opinión.

Coja usted una aguja de coser ordinaria, que no sea demasiado gruesa, úntela de aceite o de grasa y deposítela con precaución en la superficie del agua de una taza, de un cubo o de un vaso. Verá con admiración que la aguja no se va al fondo. Se mantendrá en la superficie.

¿Por qué no se hunde, siendo más pesada que el agua? Indudablemente la aguja es siete u ocho veces más pesada que el agua y si se encontrara sumergida, no podría de ninguna manera emerger de por sí como emerge una cerilla. Pero nuestra aguja no se va al fondo. Para hallar la causa de que esto ocurra, fíjese atentamente en la superficie del agua junto a la aguja en flotación. Verá que junto a ella forma el agua un hueco, un pequeño valle, en cuyo fondo se encuentra la aguja.

La superficie del agua se comba junto a nuestra aguja porque ésta está recubierta de una tenue capa de grasa que el agua no moja. Usted quizá haya notado

que, cuando tiene las manos grasientas, el agua que se echa en ellas deja la piel seca, es decir, no la moja. Las alas de los gansos, y de todas las aves que nadan (palmípedas), están siempre recubiertas de la grasa que segrega una glándula especial; por esto el agua no se adhiere a ellas. Por esta razón, sin jabón, que disuelve la capa de grasa y la elimina de la piel, es imposible lavarse las manos grasientas incluso en agua caliente. A la aguja engrasada tampoco la moja el agua y por eso la vemos en el fondo de la cañada líquida, mantenida por una película de agua que tiende a enderezarse. Esta tendencia del agua a enderezar la superficie sometida a la presión de la aguja, empuja a esta última hacia arriba y no deja que se hunda.

Como nuestras manos tienen siempre algo de grasa, aunque no la engrasemos adrede, la aguja que tengamos en ellas estará ya recubierta de una fina capa grasienta. Por esto se puede que flote una aguja que no haya sido engrasada intencionadamente: lo único que hace falta es adiestrarse a depositarla con mucho cuidado sobre el agua. Esto puede hacerse del siguiente modo: sobre la superficie del agua se pone un trozo de papel de fumar y sobre él se deposita la aguja, después, con otra aguja, se van doblando hacia abajo los bordes del papel hasta que éste se sumerge totalmente en el agua. El trozo de papel de fumar se va entonces al fondo y la aguja se queda en la superficie.

Si ahora tiene usted ocasión de ver al insecto llamado tejedor o zapatero andando por el agua como si fuera por tierra, no le llamará la atención. Comprenderá usted que las patas de este insecto están recubiertas de una grasa que el agua no moja, por lo que debajo de ellas forman una depresión que, al tender a enderezarse, empuja al insecto desde abajo.

Campana de buzo Para hacer este sencillo experimento sirve una palangana ordinaria; pero si se puede conseguir un tarro profundo y ancho, resulta más cómodo. Nos hará falta, además, un vaso alto o una copa grande. Este último será nuestra campana de buzo, y la palangana con agua representará el mar o un lago en pequeña escala.

No es probable que haya un experimento más simple que éste. Sujete el vaso boca abajo y sumérgalo hasta el fondo de la palangana, sin dejar de sostenerlo con la mano (para que el agua no lo eche hacia arriba).

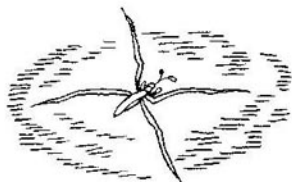


Figura 37

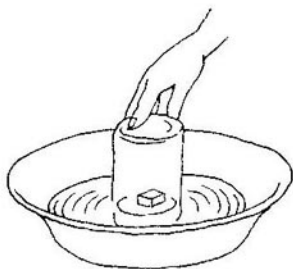


Figura 38

Al hacer esto notará usted que el agua casi no penetra dentro del vaso: el aire le impide el paso. Esto se hace mucho más visible cuando debajo de la campana se encuentra cualquier objeto que se moje fácilmente, por ejemplo, un trocito de azúcar. Ponga sobre el agua un disco de corcho, deposite en él el trozo de azúcar, tápelo con el vaso y sumerja este último en el agua. El azúcar se encontrará entonces más abajo que el nivel del agua, pero seguirá estando seco, ya que por debajo del vaso no entra agua.

Este mismo experimento puede hacerse con un embudo de vidrio, poniéndolo con la parte ancha hacia abajo, tapando bien con un dedo su orificio y sumergiéndolo así en el agua. Esta no penetrará debajo del embudo; pero en cuanto quite el dedo del orificio y le dé salida al aire, el agua se elevará rápidamente en el embudo hasta el nivel de la circundante.

Como ve usted, el aire no es «nada», como estamos acostumbrados a pensar, sino que ocupa un sitio determinado y no lo cede a otros cuerpos si no tiene a donde ir a parar.

Estos experimentos deben servirle también de explicación clara de cómo los hombres pueden hallarse y trabajar debajo del agua, en la campana del buzo o dentro de los tubos llamados «cajones de cimentación». El agua no penetra en la campana de buzo o en el cajón de cimentación, por la misma razón que no pasa por debajo del vaso en nuestro experimento.

Por que no
se derrama

El experimento que vamos a describir es uno de los más fáciles de hacer. Este es el primer experimento que yo hice en los días de mi infancia. Llene de agua un vaso, tápelo con una tarjeta postal o con una hoja de papel y, sujetando ligeramente la tarjeta con dos dedos, invierta el vaso. Ya puede usted quitar la mano: el papel no se caerá y el agua no se derramará, si dicho papel está en posición completamente horizontal.

De esta forma puede usted trasladar resueltamente el vaso de un sitio a otro, incluso, quizá, con más comodidad que en las condiciones normales, porque el agua no salpicará. Cuando tenga ocasión, no le será difícil sorprender a sus amigos trayéndoles el agua — cuando le digan que quieren beber — en un vaso ... boca abajo.



Figura 39

¿Qué es lo que impide que se caiga la tarjeta venciendo el peso del agua que hay sobre ella? La presión del aire: esta presión actúa sobre la tarjeta desde fuera con una fuerza que, como puede calcularse fácilmente, es mucho mayor que el peso del agua que hay en el vaso, es decir, que 200 gramos.

El que por primera vez me enseñó y explicó este experimento me advirtió que, para que salga bien, el vaso debe estar completamente lleno de agua, desde el fondo hasta los bordes. Si al agua sólo ocupa una parte del vaso, y el resto está lleno de aire, el experimento puede fracasar: el aire que hay dentro del vaso presionará sobre el papel, equilibrando la presión que ejerce el aire exterior, y éste, por consiguiente, deberá caerse.

Al saber esto, decidí hacer inmediatamente el experimento con el vaso a medio llenar, para ver yo mismo cómo caía el papel. Puede usted figurarse cuál sería mi sorpresa cuando vi que ... ¡tampoco se caía! Repetí varias veces el experimento y me convencí de que la tarjeta se mantiene tan bien como si el vaso estuviera lleno.

Esto me sirvió de clara lección de cómo hay que estudiar los fenómenos de la naturaleza. En las ciencias naturales, el juez supremo debe ser la *experiencia*. Toda teoría, por muy verosímil que parezca a nuestra razón, debe comprobarse con un experimento. «Creyendo y comprobando»—ésta era la regla de los primeros investigadores de la naturaleza (los académicos florentinos) en el siglo XVII; esta misma regla sigue en vigor para los físicos del siglo XX. Y si al comprobar una teoría resulta que la experiencia no la confirma, hay que buscar en qué peca precisamente dicha teoría.

En nuestro caso no es difícil encontrar el error del razonamiento que, a primera vista, parecía convincente. Separemos con cuidado uno de los ángulos del papel en el instante en que está tapando por abajo la boca del vaso medio lleno de agua. Veremos que, a través del vaso del agua, pasa una burbuja de aire. ¿Qué indica esto? Naturalmente, que el aire que hay en el vaso está más enrarecido que el que hay fuera: de lo contrario el aire de fuera no se lanzaría hacia el espacio que hay sobre el agua. En esto consiste la solución: en el vaso, aunque queda aire, éste es menos denso que el exterior y, por lo tanto, ejerce menos presión. Es evidente que, al invertir el vaso, el agua



que baja desaloja de él parte del aire; la parte que queda, al ocupar el volumen inicial, se enrarece y presiona menos.

Como puede ver, incluso los experimentos físicos más simples, si se les presta la atención debida, pueden inducir a razonamientos serios. Estas son las cosas pequeñas que enseñan lo grande.

Del agua
y seca

Nos hemos convencido de que el aire que nos rodea por todas partes presiona con una fuerza considerable sobre todos los objetos con los cuales está en contacto. El experimento que vamos a describir ahora demuestra de un modo todavía más claro la existencia de lo que los físicos llaman la «presión atmosférica».

Ponga en un plato llano una moneda o un botón metálico y eche agua. La moneda quedará debajo del agua. Sacarla ahora con las manos desnudas, sin mojarse los dedos y sin vaciar el agua del plato, dirá usted, como es natural, que es imposible. Pero so equívoca, porque es completamente posible.

He aquí lo que hay que hacer. Prenda fuego a un papel dentro de un vaso, y cuando el aire se caliente, invierta el vaso y póngalo en el plato junto a la moneda, de modo que esta última no quede debajo del vaso. Ahora observe lo que va a ocurrir. No tendrá que esperar mucho. El papel que ardía, como es natural, se apaga en seguida y el aire que hay en el vaso comienza a enfriarse. A medida que esto ocurre, el agua será como absorbida por el vaso y pronto se recogerá toda allí, dejando descubierto el fondo del plato.

Espere un poco, para que la moneda se seque, y cójala sin mojarse los dedos.

Comprenda la causa de estos fenómenos no es difícil. Cuando el aire que hay en el vaso se calienta, se dilata, lo mismo que todos los cuerpos calentados, y la parte sobrante de su nuevo volumen sale del vaso. Pero cuando el aire que queda comienza a enfriarse, resulta insuficiente para, en estado frío, ejercer la misma presión que antes, es decir, para equilibrar la presión exterior de la atmósfera. Por esta razón, debajo del vaso el agua experimenta ahora, sobre cada centímetro de su superficie, una presión menor que en la parte abierta del plato; no es de extrañar, pues, que se vea obligada a entrar debajo de aquél empujada por el exceso de presión del aire exterior. Por consiguiente, el agua no es «absorbida» por el



Figura 40

vaso, como parece a primera vista, sino metida a presión debajo de él desde fuera.

Ahora, cuando ya conoce usted la causa de los fenómenos que aquí ocurren, comprenderá también que para hacer este experimento no es necesario utilizar un papel ardiendo, un algodón empapado en alcohol y quemado (como suele aconsejarse) ni, en general, llama alguna. Basta enjugar el vaso con agua hirviendo y el experimento saldrá tan bien como antes. De lo que se trata es de calentar el aire que hay dentro del vaso; y el procedimiento por que esto se consiga es absolutamente indiferente.

Es fácil, por ejemplo, hacer este experimento de la forma siguiente. Después de beberse el té, invierta el vaso, antes de que enfrie, y póngalo sobre un platillo en que haya echado usted un poco de té de antemano, para que en el instante de hacer el experimento ya esté frío. Al cabo de uno o dos minutos todo el té del platillo se habrá recogido debajo del vaso.

Paracaídas

De una hoja de papel de seda haga un círculo de varios palmos de diámetro. En el centro recórtele un circulito de varios dedos de anchura.

A los bordes del círculo grande ate hilos, ensartándolos en agujeritos; a los extremos colgantes de los hilos, que deben tener la misma longitud, ate cualquier peso ligero. Esta es toda la estructura del paracaídas, semejante, en pequeñas dimensiones, a la gran sombrilla que salva la vida de los aviadores obligados por cualquier motivo a abandonar su aparato.

Para probar cómo funciona nuestro paracaídas en miniatura, déjelo caer, desde la ventana de un piso alto, con el peso hacia abajo. El peso tensará los hilos, el círculo de papel se extenderá y el paracaídas descenderá con suavidad y tomará tierra blandamente. Ésto si no hace viento. Pero si lo hace, aunque sea leve, nuestro paracaídas será arrastrado hacia arriba, se alejará de casa o irá a caer en algún lugar apartado.

Cuanto mayor sea la «sombrilla» del paracaídas, tanto mayor será el peso que pueda usted colgar de él (el peso hace falta para que el paracaídas no sea volcado), tanto más lentamente caerá, si no hace viento, y tanto más largo será su viaje, si lo hace.

Pero, ¿por qué se mantiene el paracaídas tanto tiempo en el aire? Como es natural, usted considera

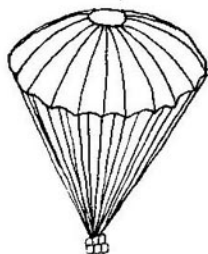


Figura 41



que el aire entorpece la caída del paracaídas; si el peso no fuera atado a la hoja de papel, caería rápidamente a tierra. La hoja de papel aumenta la superficie del objeto que cae, sin aumentar casi nada su peso; y cuanto mayor es la superficie del objeto, tanto más sensible es la resistencia que opone el aire a su movimiento.

Si ha comprendido usted esto, comprenderá también por qué flotan las partículas de polvo en el aire. Suele decirse: el polvo flota en el aire porque es más liviano que él. Esto es falso.

¿Qué son las partículas de polvo? Partículas diminutas de piedra, arcilla, metal, madera, carbón, etc. Todos estos materiales son centenares y millares de veces más pesados que el aire: la piedra, 1500 veces; el hierro, 6000 veces, la madera, 300 veces, y así sucesivamente. Por consiguiente, las partículas de polvo no son más livianas que el aire; al contrario, son mucho más *pesadas* que él y en modo alguno podrían flotar en este medio como las astillas en el agua.

Por lo tanto, toda partícula de cuerpo sólido o líquido debe caer inevitablemente en el aire, es decir, debe «hundirse» en él. Y, en efecto, cae, pero su caída se efectúa de un modo parecido a como lo hace el paracaídas.

Esto se explica por el hecho de que en los granitos pequeños la superficie no disminuye tanto como el peso; en otras palabras, los granitos más pequeños poseen una superficie bastante grande comparada con su peso. Si compara un perdigón con una bala redonda que pese 1000 veces más que él, la superficie del primero resultará ser solamente 100 veces menor que la de la segunda. Esto quiere decir que la superficie del perdigón, si se compara con su peso, es diez veces mayor que la de la bala. Figúrese usted que el perdigón sigue disminuyendo hasta que se hace un millón de veces más ligero que la bala, es decir, hasta que se convierte en una *partícula* de plomo. La superficie de esta partícula, en comparación con el peso, será 10 000 veces mayor que la de la bala. El aire dificultará su movimiento con una fuerza 10 000 veces mayor que la que opone al movimiento de la bala. Por esto la partícula *planea* en el aire, es decir, apenas si se nota como cae, y el soplo más leve de viento hasta puede arrastrarla hacia arriba.

La serpiente
y la mariposa

De una tarjeta postal o de una hoja de papel fuerte, recorte usted un círculo del tamaño de la boca de un vaso. Luego, con unas tijeras, corte este círculo siguiendo una línea espiral como si fuera una serpiente

enroscada; el extremo del rabo de la serpiente colóquelo, después de apretarlo un poco para hacer un hueco pequeño en el papel, sobre la punta de una aguja de hacer punto clavada en un corcho. Las espiras de la serpiente bajarán al hacer esto y formarán algo parecido a una escalera de caracol.

La serpiente ya está hecha. Pueden empezarse los experimentos con ella. Póngala junto a una hornilla encendida; la serpiente empezará a dar vueltas, con tanta más velocidad cuanto más caliente esté la plancha. En general, junto a cualquier objeto caliente —una lámpara, el samovar—, la serpiente girará más o menos activamente y sin parar, mientras dicho objeto no se enfríe. Girará con mucha rapidez si se cuelga sobre un quinqué, haciendo pasar un hilo por el extremo del rabo y anudándolo.

¿Qué es lo que hace girar a la serpiente? Lo mismo que hace girar las aspas de los molinos de viento: la corriente de aire. Junto a cada objeto caliente existe una corriente de aire templado que se eleva. Se origina esta corriente porque el aire, cuando se calienta, lo mismo que les ocurre a todos los cuerpos (menos al agua helada), se dilata y, por consiguiente, se enrarece, es decir, se hace más ligero. El aire circundante está más frío y, por lo tanto, es más denso y pesado y empuja al caliente obligándolo a subir, y él mismo ocupa su puesto, pero se calienta en el acto y sigue la suerte del primero, siendo desplazado por una nueva porción de aire más frío. De este modo cada objeto caliente origina sobre sí una corriente de aire que se mantiene mientras el objeto esté más caliente que el aire que lo rodea. En otras palabras, de cada objeto caliente sopla hacia arriba un viento caliente imperceptible. Este viento choca con las espiras de nuestra serpiente de papel y hace que gire, lo mismo que el viento hace girar las aspas de un molino.

En vez de la serpiente puede hacerse girar un papel de otra forma, por ejemplo, una mariposa. Lo mejor es recortarla de papel de fumar, atarla por el centro y colgarla de un hilo muy fino o de un pelo.



Figura 42

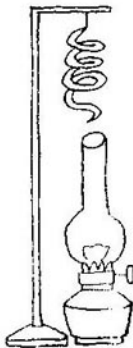


Figura 43

Cuelgue esta mariposa sobre una lámpara y ella empezará a dar vueltas como si estuviera viva. Además, la mariposa proyectará su sombra en el techo, la cual repetirá intensificados todos los movimientos de la de papel que gira. A cualquiera que no sepa de lo que se trata le parecerá que ha entrado en la habitación una gran mariposa negra que planea febrilmente cerca del techo.

También puede hacerse lo siguiente: hincar una aguja en un corcho y colocar la mariposa recortada del papel sobre la punta de esta aguja, apoyándola en un punto tal, que la mariposa quede en equilibrio (este punto —centro de gravedad de nuestra mariposa— hay que buscarlo haciendo una serie de pruebas). La mariposa empezará pronto a dar vueltas si cerca de ella hay algún objeto caliente. A este molinete basta acercarle la palma de la mano para que comience a girar con cierta rapidez.

Con la dilatación del aire al calentarse y sus corrientes templadas ascendentes nos encontramos realmente a cada paso.

Todos saben que, en una habitación con calefacción, el aire caliente se acumula cerca del techo, y el más frío junto al suelo. Por eso parece que una corriente de aire sopla por abajo nuestros pies cuando la habitación no está aún suficientemente caliente. Si se abre un poco la puerta que comunica una habitación caliente con otra fría, el aire frío entra por abajo, y el caliente sale por arriba; la llama de una vela colocada junto a la puerta indicará las direcciones de estas corrientes. Si desea conservar el calor en una habitación con calefacción, procure que por debajo de la puerta no entre en ella aire frío. Para esto no hay más que tapar la rendija con una esterilla o incluso con una simple hoja de periódico. En estas condiciones el aire caliente, como no es desalojado desde abajo por el frío, no puede salir por las rendijas superiores de la habitación.

Y, ¿qué es el tiro de la estufa o de la chimenea de una fábrica si no una corriente ascendente de aire caliente?

Podríamos decir aún muchas cosas acerca de las corrientes templadas y frías de nuestra atmósfera, de los alisios, monzones, brisas y otros vientos semejantes, pero esto nos llevaría demasiado lejos de nuestro tema.

Hielo en una
botella

¿Es fácil conseguir en invierno una botella de hielo? Al parecer no hay nada más sencillo, si en la calle está helando. Se llena de agua una botella, se pone fuera de la ventana,

y lo demás lo hará la helada. El frío helará el agua y tendremos una botella llena de hielo.

Pero si hace este experimento se convencerá de que la cosa no es tan fácil. Obtendrá hielo, pero la botella no resultará: la presión del hielo al congelarse, la rompe. Ocurre esto porque el agua, al helarse, aumenta de volumen de un modo bastante sensible, aproximadamente en una décima parte. La dilatación se realiza con tal fuerza, que no sólo se rompen las botellas tapadas, sino que incluso a las abiertas se les rompe el gollote, por la presión que ejerce el hielo al dilatarse debajo de él; el agua que se hiela en el gollote hace las veces de tapón de hielo que cierra la botella.

La fuerza de dilatación del agua al helarse puede romper hasta un metal, si la capa de él no es muy gruesa. El agua expuesta a la helada revienta las paredes de 5 centímetros de una bomba de hierro. No es de extrañar que se rompan con tanta frecuencia las tuberías de conducción de agua cuando ésta se hiela en ellas.

Por la dilatación del agua al helarse se explica también que el hielo flote en el agua y no se vaya al fondo. Si el agua se comprimiera al solidificarse —como casi todos los demás líquidos—, el hielo que se forma en ella no flotaría en su superficie, sino que se hundiría. Y entonces nos veríamos privados de los servicios que nos presta cada invierno

...es el hielo-papá
vapor y locomotora nuestra,
gratuita y natural.

Cortar una barra
de hielo . . .
dejándola entera

Usted habrá oído decir seguramente que dos trozos de hielo sometidos a presión se «sueldan». Esto significa que dichos trozos se hielan aún más intensamente cuando son oprimidos. Precisamente ocurre lo contrario:

cuando la presión es muy grande el hielo se *funde*, pero en cuanto el agua fría que se forma en este caso se libera de la presión, vuelve a helarse

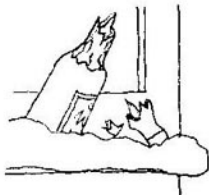


Figura 44



(porque su temperatura es inferior a 0°). Cuando apretamos unos trozos de hielo ocurre lo siguiente. Los extremos de las partes sobresalientes que se ponen en contacto entre sí y que sufren la presión más fuerte, se funden, formando agua cuya temperatura es inferior a cero grados. Esta agua sale hacia los lados, hacia los intersticios vacíos que hay entre los salientes; aquí no experimenta ya la presión elevada e inmediatamente se hiela, con lo cual suelda los trozos de hielo, formando uno mayor continuo.

Esto que acabamos de decir puede usted comprobarlo haciendo el bonito experimento siguiente. Elija

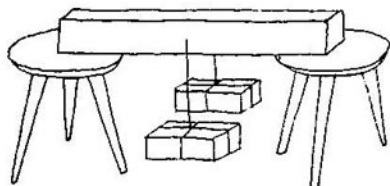


Figura 45

una barra de hielo y apoye sus extremos en dos taburetes, sillas u otros objetos cualesquiera. Tienda por encima de la barra, transversalmente, un alambre de acero delgado, de unos 80 centímetros de largo; el grosor del alambre debe ser de medio milímetro o menos. De los extremos de este alambre cuelgue dos planchas o cualquier otro objeto que pese unos diez kilogramos. Por la presión de la carga, el alambre se hundirá en el hielo, pasará lentamente por toda la barra, pero ... no lo cortará. Cójala resueltamente: jestará entera, como si el alambre no la hubiera pasado de arriba a abajo!

Después de lo que se dijo antes acerca de la «soldadura» del hielo, comprenderá usted a qué se debe este raro fenómeno. Somctido a la presión del alambre, el hielo se iba fundiendo, pero el agua pasaba a la parte superior del alambre, se liberaba de la presión y volvía a helarse inmediatamente. En resumen, mientras el alambre cortaba las capas inferiores, las superiores volvían a soldarse.

El hielo es la única substancia de la naturaleza con la cual puede hacerse semejante experimento. Por esto se puede viajar en trineo y patinar sobre el hielo. Cuando un patinador apoya el peso de su cuerpo sobre el patín, el hielo se funde bajo esta presión (si la helada no es demasiado intensa) y dicho patín

se desliza; pero al pasar a otro sitio, el patín hace que también aquí se funda el hielo. Donde quiera que el patinador pone el pie, éste convierte la tenue capa de hielo que hay debajo del acero del patín, en agua, la cual, en cuanto se libera de la presión, vuelve a helarse. Por esto, aunque el hielo está seco cuando se hiela, debajo de los patines está siempre lubricado por agua. Esta es la causa de que sea resbaladizo.

Transmisión ¿Ha tenido usted ocasión de observar
del sonido desde lejos a un leñador cortando
 un árbol? O, quizá sea más probable,
 ¿ha visto desde lejos a un carpintero
 clavar un clavo? Si es así, se habrá
 dado cuenta de una cosa muy rara:

el golpe suena no cuando el hacha se hunde en el árbol o cuando el martillo le pega al clavo, sino después, cuando el hacha o el martillo ha vuelto a ser levantado.

Si tiene ocasión de observar esto otra vez, retírese cierta distancia hacia atrás o acérquese. Después de hacer varias pruebas hallará un punto en el cual el sonido de los golpes del hacha o del martillo se oirá en el instante en que se ven dichos golpes. Retorne al sitio en que estaba antes y volverá a notar que el sonido no coincide con los golpes.

Ahora le será más fácil comprender cuál es la causa de estos extraños fenómenos. El sonido requiere cierto tiempo para ir desde el sitio en que se produce hasta nuestro oído; la luz recorre esta distancia casi instantáneamente. Y puede ocurrir que mientras el sonido va por el aire hacia su oído, el hacha o el martillo ya han tenido tiempo de levantarse para dar un nuevo golpe. Entonces el ojo ve lo que el oído escucha; a usted le parece que el sonido coincide no con el instante en que la herramienta baja, sino con el de su subida. Pero si se aleja hacia atrás o se acerca hasta la distancia que recorre el sonido durante un vaivén del hacha, en el instante en que el sonido llegue a su oído, el hacha habrá tenido tiempo de bajar de nuevo. En este caso, como es natural, verá y oirá usted simultáneamente un golpe, pero este golpe no será el mismo, sino *distinto*: verá usted el último golpe, pero oirá un golpe ya pasado (el penúltimo u otro anterior).

¿Qué distancia recorre el sonido en el aire en 1 segundo? Esto se ha medido exactamente: cerca de $\frac{1}{3}$ de kilómetro. Cada kilómetro es recorrido por el sonido en 3 segundos, y si el leñador que corta el



árbol sacude el hacha dos veces por segundo, será suficiente que usted se halle a una distancia de 160 metros de él para que el sonido del hachazo coincida con la subida del hacha. La luz recorre en el aire cada segundo una distancia casi un millón de veces mayor que el sonido. Usted comprenderá, como es natural, que para todas las distancias que hay en la Tierra podemos considerar, sin temor a equivocarnos, que la velocidad de la luz es instantánea.

El sonido se propaga no sólo a través del aire sino también a través de otros cuerpos gaseosos, líquidos y sólidos. En el agua se propaga el sonido cuatro veces más de prisa que en el aire, y debajo del agua se oye claramente cualquier ruido. Los obreros que trabajan en los cajones de cimentación (grandes tubos verticales) debajo del agua, oyen perfectamente los sonidos de la orilla. Los pescadores pueden decirle cómo huyen los peces del menor ruido sospechoso que se produce en la orilla.

Aún mejor y más de prisa propagan el sonido los materiales sólidos elásticos, por ejemplo, la fundición, la madera, el hueso. Aplique su oreja al extremo de una vigueta o tronco de madera larga y pídale a un camarada que dé un golpecito con la uña o con un palito en el extremo opuesto: oírás usted el sonido fuerte del golpe transmitido a través de toda la longitud de la vigueta. Si alrededor hay suficiente silencio y no estorban sonidos extraños, puede oírse también a través de la vigueta el tic-tac de un reloj aplicado al extremo opuesto. También se propaga bien el sonido a través de los raíles o de las vignetas de hierro, de los tubos de fundición e incluso a través del suelo. Aplicando el oído a la tierra se puede escuchar el chacoloteo de las patas de los caballos mucho antes de que se perciba a través del aire. Por este procedimiento pueden oírse los cañonazos de piezas de artillería tan alejadas, que por el aire no se percibirían en absoluto.

Así transmiten el sonido únicamente los materiales sólidos *elásticos*; los tejidos blandos, mullidos y los materiales *inelásticos* propagan muy mal el sonido, lo «absorben». He aquí por qué se cuelgan cortinas gruesas en las puertas cuando se quiere que el sonido no llegue a la habitación vecina. Las alfombras, los muebles tapizados y los vestidos actúan sobre el sonido de un modo semejante.

La campana

Entre los materiales que transmiten bien el sonido mencioné en el artículo anterior el *hueso*. ¿Quiere usted convencerse de que los huesos de su propio cráneo poseen esta propiedad?

Coja con los dientes la argollita de un reloj de bolsillo y tápese los oídos con las manos; oirá usted con bastante claridad los golpes acompasados del áncora, sensiblemente más sonoros que el tic-tac que de ordinario percibe el oído, a través de los huesos de la cabeza.

Aquí tiene otro experimento divertido que demuestra que los sonidos se transmiten bien a través de los huesos del cráneo. Ate usted una cuchara sopera en la mitad de una cuerda, de modo que ésta última tenga los dos extremos libres. Estos extremos apriételes con los dedos a sus oídos cerrados e inclinando el cuerpo hacia adelante, para que la cuchara pueda balancearse sin dificultad, haga que ésta choque con cualquier cuerpo sólido. Oirá usted un sonido bajo, como si al lado mismo de su oído sonara una campana.

El experimento resulta todavía mejor si en vez de una cuchara se toma algo más pesado.

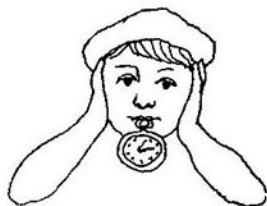


Figura 46

Una sombra horrible

—¿Quieres ver algo extraordinario? —me preguntó mi hermano mayor una tarde—. Ven conmigo a la habitación de al lado.

La habitación estaba a oscuras. Mi hermano cogió una vela y nos fuimos. Yo iba delante muy decidido, abrí la puerta con audacia y entré el primero en la habitación haciendo alarde de valor. Pero de repente me quedé pasmado: desde la pared me miraba un monstruo absurdo. Era plano, como una sombra, pero me miraba con los ojos desencajados.

Lo reconozco, me acobardé bastante. Y seguramente hubiera echado a correr, si no hubiese oído a mi espalda una carcajada de mi hermano.

Me volví, y comprendí de qué se trataba: el espejo que había colgado en la pared, estaba totalmente tapado con una hoja de papel, en la cual habían recortado unos ojos, una nariz y una boca, y mi hermano dirigía hacia él la luz de la vela de modo que la reflexión de estas partes del espejo cayeran precisamente sobre mi sombra.

Pasé una gran vergüenza: me había asustado de mi propia sombra.

Cuando después quise gastarles la misma broma a mis camaradas, me convencí de que no era tan fácil colocar el espejo de la forma conveniente. Tuve que entrenarme no poco antes de dominar este arte. Los rayos de luz se reflejan en el espejo según unas reglas

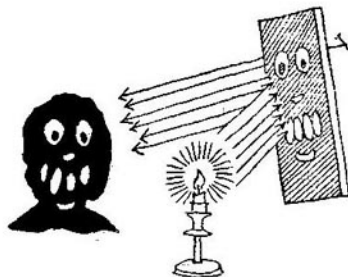


Figura 47

determinadas, a saber: el ángulo que forman con el espejo al encontrarse con él, es igual al que forman después de reflejarse. Cuando conocí esta regla ya no fue difícil darme cuenta de cómo había que colocar la vela con respecto al espejo para que las manchas claras fueran a caer precisamente en los sitios necesarios de la sombra.

Medir
la intensidad
de la luz

Una vela colocada a doble distancia da una luz más débil. Pero, ¿cuántas veces más débil? ¿Dos veces? No, si pone usted dos velas a doble distancia no darán la misma luz que una a la distancia inicial. Para conseguir la misma iluminación que antes, a doble distancia hay que poner no dos, sino dos por dos, es decir, cuatro velas. A una distancia triple habrá que poner no tres, sino tres por tres, es decir, nueve velas, y así sucesivamente. Esto demuestra que a doble distancia la intensidad de la luz se debilita en cuatro veces, a triple, en nueve, a cuádruple, en 16, a quíntuple, en 5×5 , es decir, en 25 veces, etc. Esta es la ley de la disminución de la intensidad de la luz con la distancia. Y al mismo tiempo diremos que la ley de disminución de la intensidad del sonido es idéntica: a una distancia séxtuple, el sonido se debilita no en seis, sino en 36 veces¹⁾.

Conociendo esta ley podemos aplicarla para comparar entre sí la brillantez de dos lámparas o, en general, de dos fuentes de luz de distinta intensidad. Supongamos, por ejemplo, que usted desea saber con cuántas veces más intensidad brilla su lámpara que una vela ordinaria; en otras palabras, quiere determinar cuántas velas ordinarias serían necesarias para sustituir dicha lámpara y obtener la misma iluminación.

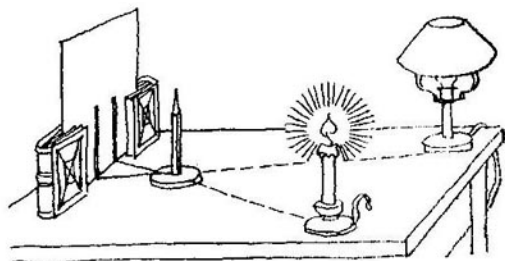


Figura 48

Para esto ponga usted la lámpara y una vela encendida en un extremo de la mesa, y en el otro coloque verticalmente (sujetándolo, por ejemplo, entre las páginas de unos libros) una hoja de cartulina blanca. Delante de esta hoja, no lejos de ella, sitúe, también verticalmente, un palito cualquiera, por ejemplo, un lápiz. Este proyectará sobre el cartón dos sombras: una, debida a la lámpara, y otra, debida a la vela. La densidad de estas dos sombras, en general, será distinta, porque una de ellas proviene de la lámpara brillante, y la otra, de la pálida vela. Aproximando esta última podrá conseguir que ambas sombras sean igual de negras. Esto significará que ahora la

¹⁾ Esto explica por qué, en el teatro, el cuchicheo de su vecino le impide a usted oír la voz fuerte del actor en escena. Si la escena está 10 veces más lejos de usted que su vecino, la voz del actor se debilitará 100 veces con respecto a como la escucharía si el mismo sonido procediera de la boca de su vecino. Por esto no es extraño que a usted le parezca más débil que el cuchicheo. Por esta misma razón tiene tanta importancia que los alumnos guarden silencio en clase durante las lecciones: la voz del maestro llega a los alumnos (sobre todo a los que están sentados lejos de él) tan debilitada, que incluso un leve cuchicheo del vecino más próximo impide oírlos.



intensidad con que ilumina la lámpara es igual precisamente a la intensidad con que lo hace la vela. Pero la lámpara se encuentra más lejos de la cartulina iluminada por ella que la vela; mida usted cuántas veces está más lejos y podrá calcular cuántas veces *brilla más* la lámpara que la vela. Si, por ejemplo, la lámpara está tres veces más lejos de la cartulina que la vela, su brillo será 3×3 , es decir, nueve veces mayor que el de esta última. Por qué esto es así se comprende fácilmente si se recuerda lo que dice la ley de la debilitación de la intensidad de la luz.

Otro procedimiento de comparar la intensidad de la luz de dos focos consiste en utilizar una mancha de grasa en un papel. Esta mancha parece clara, si está iluminada por detrás, y oscura, si lo está por delante. Pero los dos focos que se comparan pueden situarse por ambos lados de la mancha a unas distancias tales, que ésta parezca que está igualmente iluminada por las dos partes. Entonces no queda más que medir las distancias de la mancha a los focos y repetir los cálculos que hicimos en el caso anterior. Y para comparar simultáneamente las dos partes de la mancha, lo mejor es colocar el papel manchado delante de un espejo; en estas condiciones puede verse una parte directamente y la otra, en el espejo. Cómo hacerlo es cosa que usted mismo resolverá.

Cabeza abajo

La habitación en que entró Iván Ivánovich estaba completamente a oscuras, porque los postigos de las ventanas estaban cerrados, y un rayo de luz que entraba por un agujero practicado en uno de ellos tomaba un color irisado y, al toparse con la pared contraria, dibujaba en ella un abigarrado paisaje de tejados de juncos, árboles y el vestido tendido en el patio, pero todo visto del revés.

GOGOL. «De cómo riñeron Iván Ivánovich y Iván Nikiforovich».

Si en su apartamento o en el de alguno de sus conocidos hay una habitación cuyas ventanas den a la parte del sol, no le será difícil convertirla en un aparato físico que se conoce con el antiquísimo nombre de «cámara oscura». Para esto hay que cerrar la ventana con un tablero, por ejemplo, con una chapa de madera o una hoja de cartón forrada de papel oscuro, y practicar en esta última un pequeño orificio. Un día que haga sol, cierre usted la ventana y la puerta de la habitación, para que quede oscura, y ponga frente al orificio y a cierta distancia de él una hoja de papel grande o una sábana: esto será su «pantalla».

En ella parecerá inmediatamente la imagen disminuida de todo lo que puede verse desde la habitación, si se mira a través del orificio practicado. Las casas, los árboles, la gente, aparecerán en la pantalla con sus colores naturales, pero invertidos: las casas, con el tejado hacia abajo, la gente, cabeza abajo, etc.

¿Qué demuestra este experimento? Que la luz se propaga en líneas rectas: los rayos procedentes de la parte superior del objeto y los procedentes de su parte inferior se cruzan en el orificio del tablero y



Figura 49

siguen adelante de tal modo, que los primeros resultarán abajo y los segundos arriba. Si los rayos de luz no fueran rectos, sino que se torcieran o quebraran, resultaría algo completamente distinto.

Es interesante el hecho de que la forma del orificio no influye nada en las imágenes que se obtienen. La imagen que se obtiene en la pantalla será la misma si taladra usted en el tablero un orificio redondo o practica uno cuadrado, triangular, hexagonal o de otra forma cualquiera. ¿Ha tenido usted ocasión de ver en la tierra, bajo algún árbol frondoso, unas manchitas claras ovaladas? Pues éstas no son más que imágenes del Sol dibujadas por los rayos que pasan a través de diversos intersticios entre las hojas. Son casi redondas porque el Sol es redondo, y un poco alargadas, porque inciden oblicuamente sobre la tierra. Ponga usted una hoja de papel de manera que forme un ángulo recto con los rayos de sol y obtendrá en ella manchas completamente redondas. Y durante un eclipse de sol, cuando la oscura esfera de la Luna se aproxima al Sol y lo tapa, convirtiéndolo en una hoz brillante, las manchas redondas de debajo de los árboles se transforman en pequeñas medias lunas.



El aparato con que trabajan los fotógrafos no es otra cosa que una cámara oscura, con la única diferencia de que en su orificio se ha puesto un objetivo para que la imagen resulte más clara y nítida. En la pared posterior de esta cámara se coloca un vidrio esmerilado, en el cual se obtiene la imagen cabeza abajo; el fotógrafo puede observarla únicamente si cubre la cámara y su propia cabeza con un lienzo negro, para que la luz extraña no moleste sus ojos.

Una cámara, semejante hasta cierto punto a ésta, puede hacerla usted mismo. Consiga una caja cerrada alargada y taladre en una de sus paredes un agujero. Quite la pared opuesta al orificio practicado y extienda en su lugar un papel untado en aceite. Este papel hará las veces de vidrio esmerilado. Colocando la caja en la habitación oscura y aplicando su agujero al practicado en la ventana cerrada, verá en su pared posterior una imagen bastante clara del mundo exterior, invertida, como es natural.

Su cámara tendrá la ventaja de que con ella no necesitará usted la habitación oscura, y podrá sacarla al aire libre y ponerla en cualquier parte. Lo único que tendrá que hacer es taparse la cabeza, y la cámara, con un lienzo oscuro, para que la luz extraña no le impida distinguir bien la imagen que se obtiene en el papel engrasado.

El alfiler
invertido

Acabamos de hablar acerca de la cámara oscura, y de explicar como se hace, pero no hemos dicho una cosa interesante: que cada persona lleva siempre consigo dos pequeñas cámaras oscuras. Estas son nuestros

ojos. Figúrese usted, el ojo está construido de un modo semejante a la caja que le he propuesto hacer. Lo que se llama «pupila» del ojo no es un circuito negro en él, sino un orificio que conduce a las negras entrañas de nuestro órgano visual. Este orificio está cubierto por fuera de una capa transparente y de una substancia gelatinosa, también transparente que hay debajo de la primera; por detrás se adapta a la pupila el «cristalino», que tiene forma de lente biconvexa, y todo el interior del ojo, desde detrás del cristalino hasta la pared posterior, en que se dibuja la imagen de los objetos externos, está llena de una substancia transparente. La forma que tiene nuestro ojo cortado longitudinalmente se representa en la fig. 50. Pero todo esto no impide que el ojo siga siendo una cámara oscura,

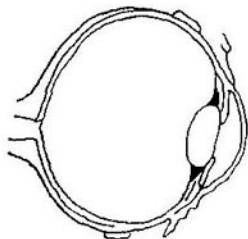


Figura 50

sólo que perfeccionada, ya que en el ojo se obtienen imágenes más claras y nítidas. Estas imágenes en el fondo del ojo son muy pequeñas: por ejemplo, un poste del telégrafo de 8 metros de altura, visto desde 20 metros de distancia, se dibuja en el fondo del ojo en forma de una rayita finísima de, aproximadamente, medio centímetro de longitud.

Pero lo más interesante aquí es que, aunque todas las imágenes se forman en el ojo, lo mismo que en la cámara oscura, invertidas, nosotros vemos los objetos derechos. Esta reinversión se produce en virtud de la larga costumbre: nosotros estamos acostumbrados a utilizar nuestros ojos de modo que a cada imagen visual percibida le hacemos tomar su posición natural.

Que esto ocurre efectivamente así, puede usted comprobarlo en la experiencia. Procuremos hacer de forma que en el fondo del ojo se forme no una imagen invertida, sino derecha, del objeto. ¿Qué veremos entonces? Como estamos acostumbrados a invertir todas las imágenes, también invertiremos ésta; esto quiere decir que, en este caso, debemos ver no la imagen derecha, sino la invertida. Así es en realidad. El siguiente experimento revela esto con bastante claridad.

Con un alfiler, haga un agujerito a una tarjeta postal y manténgala delante de la ventana o de una lámpara a unos 10 centímetros del ojo derecho; delante de la tarjeta tenga el alfiler de tal modo, que su cabeza se halle frente al agujerito. En estas condiciones verá usted el alfiler como si estuviera *detrás* del orificio y, lo que es más importante, *invertido*. La fig. 51 muestra esta vista insólita. Y si desplaza el alfiler un poco hacia la derecha, su ojo verá que se desplaza *hacia la izquierda*.

La causa de que esto ocurra es que, en este caso, el alfiler se dibuja en el fondo del ojo no en posición invertida, sino derecha. El orificio de la tarjeta desompeña aquí el papel de foco luminoso que proyecta la sombra del alfiler. Esta sombra incide sobre la pupila y su imagen se obtiene no invertida, porque está demasiada próxima a la pupila. En la pared posterior del ojo se obtiene un círculo brillante; ésta es la imagen del orificio de la tarjeta. Y en él se ve la silueta oscura del alfiler, es decir, su sombra en posición derecha. Pero a nosotros nos parece que vemos el alfiler a través del agujerito de la tarjeta, detrás de él (ya que sólo vemos la parte del alfiler que cabe en el orificio) e

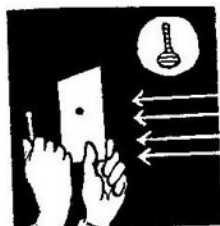


Figura 51

invertido, porque, debido a la costumbre ya arraigada, le damos la vuelta inconscientemente a todas las imágenes visuales que percibimos.

Encender fuego con hielo De pequeño me gustaba ver como mi hermano encendía el cigarrillo con un cristal de aumento. Colocaba el cristal bajo los rayos del sol, enfocaba la brillante manchita al extremo del cigarrillo y éste empezaba a echar una columnita azulada de humo, ardía.

—Pues, sabes —me dijo mi hermano un día de invierno—, el cigarro puede encenderse también con hielo.

—¿Con hielo? —me asombré yo.

—Lo enciende, como es natural, no el hielo, sino el sol, pero el hielo concentra sus rayos lo mismo que este vidrio.

—¿Y tú quieres hacer un vidrio de hielo, para encender?

—De hielo ni yo ni nadie puede hacer un vidrio. Pero una lente de hielo con la que se pueda encender fuego, podemos hacerla.

—Y, ¿qué es una lente?

—La forma que le daremos al hielo, como la de este vidrio, parecida a la de una lenteja: redonda, convexa, gruesa en el centro y delgada en los bordes.

—¿Y encenderá?

—Claro que encenderá.

—¡Pero si estará fría!

—Eso no importa. Si quieres, probamos.

Lo primero que hizo mi hermano es decirme que trajera una jofaina. La traje y él la desechó..

—Esta no sirve: ves, tiene el fondo plano. Tiene que tener el fondo curvo.

Cuando traje la otra jofaina, mi hermano echó agua limpia en ella y la puso a que se helase:

—Déjala que se hiele hasta el fondo; entonces tendremos una lente de hielo: por una parte será plana, y por la otra, convexa.

—¿Y tan grande?

—Cuanto más grande sea, mejor: más rayos solares recogerá en un punto.

Al día siguiente por la mañana corrí a ver nuestra jofaina. El agua se había helado en ella hasta el mismo fondo.

—Va a ser una lente estupenda —decía mi hermano, dándole golpecitos con el dedo al hielo—. Saquémosla de la jofaina.



Figura 52

Esto resultó ser cosa fácil. Mi hermano metió la jofaina helada en otra, que tenía agua caliente, y el hielo se derritió pronto junto a las paredes. Sacamos la jofaina con el hielo al patio y pusimos la lente sobre una tabla.

—Hace buen tiempo —dijo mi hermano, entornando los ojos al sol—. El más a propósito para encender. Ten el cigarro.

Yo sostuve el cigarrillo y mi hermano cogió la lente con ambas manos y la volvió hacia el sol, de modo que él mismo no le daba sombra. Tuvo que hacer no pocas tentativas hasta que consiguió dirigir la manchita brillante de la lente al cigarrillo. Cuando la manchita se detenía en mis manos, yo sentía lo caliente que era. Yo no dudaba de que el hielo encendería el cigarrillo.

Y, en efecto, cuando la manchita cubrió el extremo del cigarrillo y se mantuvo allí cosa de un minuto, éste empezó a arder y a echar humo azulado.

—Ves, lo hemos encendido con hielo —dijo mi hermano, llevándose a la boca el cigarrillo encendido—. Así puede encenderse una boguera, sin cerillas, aunque sea en el mismo polo, si es que hay leña.

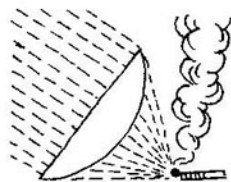


Figura 53

La aguja
magnética

Usted ya sabe lo que hay que hacer para que una aguja flote en la superficie del agua. Aproveche ahora este arte para hacer un nuevo experimento más interesante. Consiga un imán, aunque sea un pequeño imán en herradura. Si este imán se acerca a un platillo con agua en el que flote una aguja, ésta se dirigirá dócilmente hacia el correspondiente borde del platillo. La aguja hará esto con mucha más rapidez, si antes de ponerla sobre el agua pasa usted el imán varias veces por ella (debe pasarse uno de los extremos del imán y siempre en la misma dirección, y no en un sentido y en otro). Al hacer esto, la propia aguja se convierte en imán, es decir, se imana, y por esto, cuando está flotando, se dirige incluso a cualquier objeto no magnético de hierro ordinario.

Con una aguja magnética puede hacer usted muchas observaciones interesantes. Abandónela a sí misma, sin atraerla hacia el borde del platillo con ningún hierro o imán. La aguja tomará en el agua una dirección determinada, a saber, la dirección norte—sur, lo mismo que la de la brújula. Gire el platillo, y verá que la aguja sigue indicando, como antes, con uno de

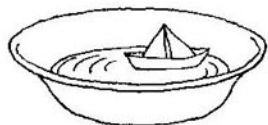


Figura 54

sus extremos, el norte, y con el otro, el sur. Aproxime a uno de los extremos de la aguja un extremo (polo) del imán y observará que aquél no siempre es atraído por éste. La aguja puede volverse con respecto al imán, para acercarse a él su extremo opuesto. Aquí tenemos un caso de *interacción* de dos imanes. La regla de esta interacción dice, que los extremos de *distinto nombre* (norte de un imán y sur de otro) se atraen, y los del *mismo nombre* (ambos norte o ambos sur) se repelen.

Después de estudiar las peculiaridades de los movimientos de la aguja imanada, haga un pequeño barquito de papel y entre los pliegues de este último esconda una aguja. Así podrá admirar a sus camaradas no enterados, dirigiendo los movimientos del barquito sin tocarlo: éste obedecerá los movimientos de su mano, si, como es natural, tiene usted oculto en ella imán, cuya presencia no sospechen sus amigos.

Teatro
magnético

Mejor dicho, no es un teatro, sino un circo, porque en él se presentan bailarines funambúlicos ... recortados de papel.

Ante todo tenemos que construir de cartón el edificio del circo. Después, en la parte baja de la escena tense un alambre, y sobre ella fije un imán en herradura.



Figura 55

Ahora ocúpese de los artistas. Se recortan de papel, en distintas posiciones, de acuerdo con el oficio artístico que se les designe, con la única condición imprescindible de que su altura sea igual a la longitud de la aguja que se pega detrás de ellos, a lo largo de la figura: puede pegarse con dos o tres gotitas de lacra.

Si una figura de éstas se coloca sobre la «cuerda»,

no sólo no se caerá, sino que permanecerá en posición vertical, atraída por el imán. Tirando ligeramente del alambre, animará usted sus bailarines volatineros, haciendo que se balanceen y den saltitos, sin perder el equilibrio.

Un peine
electrizado

Aunque no sepa nada de la ciencia de la electricidad y desconozca hasta las primeras letras de su abecedario, puede hacer una serie de experimentos eléctricos curiosos y, en todo caso, útiles para su futuro estudio de

esta admirable fuerza de la naturaleza.

El mejor sitio y tiempo para hacer estos experimentos eléctricos es una habitación caliente en un día de invierno que esté helando. Los experimentos de este tipo sólo salen bien cuando el aire está seco, y el aire caliente en invierno es mucho más seco que en verano a la misma temperatura.

Dicho esto, pasemos a los experimentos. Usted, como es lógico, se habrá pasado alguna vez un peine ordinario por sus cabellos *completamente* secos. Si ha hecho esto en una habitación caliente y en completo silencio, habrá podido oír el ligero chisporroteo que produce el peine al peinarse. Su peine se electriza al frotar con los cabellos.

Un peine ordinario puede electrizarse no sólo rozándolo con los pelos: si se frota con un paño de lana seco (o un trozo de franela), también adquiere propiedades eléctricas, incluso en mayor grado. Estas propiedades se ponen de manifiesto de formas muy diversas, y ante todo en la atracción de cuerpos ligeros. Acerque un peine frotado a unos trocitos de papel, o salvado, a una bolita de médula de saúco, etc., y todos estos pequeños objetos subirán y se adherirán al peine. Haga unos barquitos diminutos de papel liviano y échelos al agua: con un peine electrizado podrá dirigir los movimientos de su flotilla de papel, lo mismo que con una «varilla de virtudes». Puede hacerse un experimento aún más convincente: coloque un huevo en el huevero seco y, sobre él, ponga en equilibrio, horizontalmente, una regla bastante larga. Esta regla, cuando se acerque el peine electrizado a uno de sus extremos, girará con apreciable rapidez. Usted podrá hacer que la regla siga sumisamente al peine: que gire a uno u otro lado y que hasta dé vueltas completas.

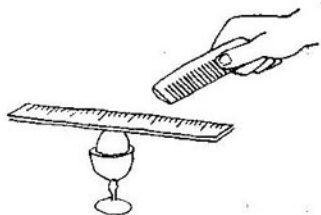


Figura 56

Un huevo
obediente

Estas propiedades eléctricas puede usted comunicárselas no sólo a un peine común, sino también a otros objetos. Una barra de lacre, frotada con franela o con la manga de una chaqueta, si es de lana, manifestará estas mismas propiedades. También se electriza un tubito a una barra de vidrio, si se frota con seda:

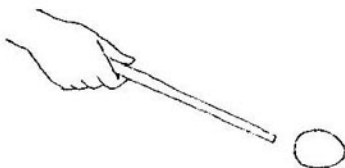


Figura 57

pero el experimento con el vidrio solamente sale bien cuando el aire está muy seco y tanto el vidrio como la seda se ha secado bien calentándolos.

He aquí otro experimento divertido de atracción eléctrica. A través de un pequeño orificio, vacíe el contenido de un huevo de gallina: para conseguir esto, lo mejor es soplar dicho contenido por otro orificio practicado en el extremo opuesto. Una vez obtenido el cascarón vacío (los orificios se tapan con cera blanca), póngalo sobre una mesa, tablero o plato grande y, valiéndose de una varilla electrizada, haga que este huevo vacío rueda obedientemente detrás de ella. En un observador que no sepa que el huevo está vacío, este experimento (ideado por el insigne científico Faraday) produce una impresión desconcertante. Un anillo de papel o una pelotita liviana también siguen a la varilla electrizada.

Interacción

La mecánica enseña que una atracción unilateral —y en general una acción unilateral— no puede existir: toda acción tiene su reacción. Esto quiere decir, que si una varilla electrizada atrae diversos objetos,

la propia varilla es atraída por ellos. Para convencerse de que existe esta atracción no hay más que darle movilidad al peine o a la varilla, por ejemplo, colgándolos de un hilo (que es preferible que sea de seda).

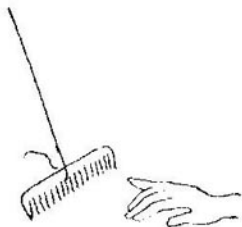


Figura 58

Entonces es fácil notar que cualquier objeto no electrizado —su mano, por ejemplo—, atrae al peine, hace que gire, etc.

Esto, volvemos a repetirlo, es una ley general de la naturaleza. Esta ley se manifiesta siempre y en todas partes: toda acción es la interacción de dos cuerpos que actúan el uno sobre el otro en sentido contrario. Una acción unilateral, no acompañada de la reacción de otro cuerpo, sobre el cual está dirigida, no existe nunca en la naturaleza.

Repulsión eléctrica

Volvamos al experimento con el peine electrizado colgado. Vimos que era atraído por cualquier cuerpo no electrizado. Resulta interesante probar cómo actuará sobre él otro objeto también electrizado. La experiencia le convencerá de que esta acción mutua de dos

cuerpos electrizados puede ser diversa. Si al peine electrizado acerca una varilla de vidrio también electrizada, ambos objetos se atraerán entre sí. Pero si aproxima al peine una varilla de lacre electrizada u otro peine, la interacción se manifiesta en forma de repulsión.

La ley física que abarca este tipo de fenómenos, dice: las electricidades de *signos distintos* se atraen, y las de *signos iguales* se repelen. Son electricidades de igual signo las de los plásticos y el lacre (esta electricidad se llama resinosa o *negativa*), y de signo contrario, la electricidad resinosa y la electricidad vítrea (*positiva*). Las antiguas denominaciones de electricidad «resinosa» y «vítrea» ya no se usan, han sido desplazadas totalmente por las de electricidad «negativa» y «positiva».

En la repulsión de los objetos electrizados con electricidad de igual signo se basa la construcción de un aparato muy simple, que sirve para descubrir la presencia de la electricidad, llamado electroscopio. El sufijo «scopio» procede del griego «σκοπεω» y significa «observar» o «examinar»; por este mismo modelo se forman las palabras «telescopio», «microscopio» y otras.

Usted mismo puede hacer este sencillo aparato. Por el centro de un redondel de cartón o de un corcho, que puedan servir de tapa a la boca de un tarro, se hace pasar una varilla; parte de ella debe sobresalir por arriba. Al extremo inferior de esta varilla se fijan con cera dos tiras de papel de estaño o de papel de fumar. Hecho esto, se pone el corcho o el redondel de



Figura 59



cartón en la boca del frasco, se lacra a ella, y el electroscopio está listo para ser utilizado. Si acerca ahora al extremo saliente de la varilla un objeto electrizado, su electricidad se comunica a las dos tiras; ambas se electrizan simultáneamente y, por esta razón, se separan, debido a la repulsión mutua. La separación de las hojillas indica que el objeto que se puso en contacto con la varilla del electroscopio estaba electrizado.

Si el arte de construir no se le da bien, puede hacer un electroscopio más sencillo: no será tan cómodo ni tan sensible, pero, a pesar de esto, servirá. Cuelgue de un palito de madera dos bolitas de médula de saúco, atadas con unos hilos, de modo que, al colgar, se toquen. Esto es el electroscopio: tocando una de las bolitas con el objeto que se prueba, verá usted que la otra bolita se desvía hacia un lado, si el objeto estaba electrizado.

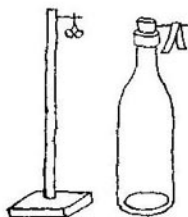


Figura 60

Finalmente, en la figura puede ver usted otro tipo de electroscopio simplificado: de un alfiler hincado en el tapón de una botella se cuelga una tira de papel de estaño doblada por la mitad. Tocando el alfiler con un objeto electrizado, hará usted que las tiras se separen una de otra.

Una de las peculiaridades de la electricidad

Valiéndose de un aparato improvisado fácil de hacer, podrá usted comprobar una peculiaridad interesante y muy importante de la electricidad: ésta se concentra únicamente en la superficie del objeto, es más, solamente en sus partes convexas o salientes.

Con una gota de lacre, pegue usted una cerilla, en posición vertical, a una caja de cerillas; haga dos soportes de este tipo. Después, corte usted una tira de papel cuya anchura sea igual aproximadamente a la longitud de una cerilla, y cuya longitud sea de unas tres cerillas. Los extremos de la tira de papel enróllelos en forma de tubito, para que por ellos pueda meter las cerillas de los soportes. A esta tira de papel péguela a cada lado tres o cuatro tiritas estrechas de papel de fumar fino (fig. 61) y móntela en los soportes antedichos.



Figura 61

Con este aparato podemos hacer ahora unos experimentos. Tensemos la tira de papel y toquémosla con una varilla de lacre electrizada: el papel y todas las tiritas pegadas a él se electrizan simultáneamente; esto se manifiesta en que las tiritas de papel de fumar

se levantan por ambos lados de la tira de papel. Coloque ahora los soportes de tal modo, que la tira se curve, y vuelva a electrizarla: las tiritas de papel de fumar sólo se levantarán en la parte convexa de la tira, en la parte cóncava seguirán colgando como antes. ¿Qué demuestra esto? Que la electricidad se concentra únicamente en la parte convexa. Déle a la tira de papel la forma de *S* y podrá convencerse una vez más de que la electricidad sólo manifiesta su presencia en la parte convexa del papel.