

Capítulo Primero

Velocidad, Suma de Movimientos

¿A qué Velocidad nos Movemos?

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

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

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

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

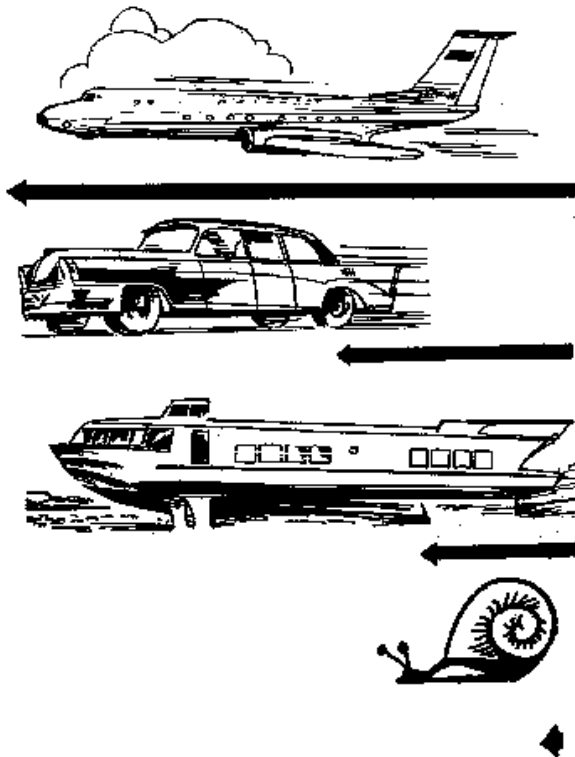
Estos últimos años se han creado en la URSS varios tipos de motonaves de turismo, con alas sumergidas (fig. 3), que alcanzan velocidades de 60-70 km por hora. Por tierra, el hombre puede trasladarse aún más deprisa que por el agua. En muchas líneas férreas de la URSS, los trenes de pasajeros marchan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

Estas velocidades han sido muy superadas por la aviación moderna. En muchas líneas aéreas de la URSS y de otros países funcionan los aviones a reacción soviéticos TU-104 (fig. 1), TU-114, IL-18 y otros, cuyas velocidades medias de vuelo son de 800-1 000 km/h. No hace mucho, ante los constructores de aviones se planteaba el problema de pasar la «barrera de sonido», es decir, de superar la velocidad del sonido (330 m/seg ó 1.200 km/h). Hoy día, la velocidad de los aviones militares, tanto de caza como de bombardeo, supera dos o tres veces esta velocidad. En los próximos años estas velocidades llegarán a ser también ordinarias para los aviones de pasajeros.

Otros aparatos fabricados por el hombre pueden alcanzar velocidades todavía mayores. El primer satélite artificial soviético (Sputnik) fue lanzado con una velocidad inicial de cerca de 8 km/seg. Los cohetes cósmicos soviéticos sobrepasaron la llamada segunda velocidad cósmica, igual a 11,2 km/seg junto a la superficie de la Tierra, con lo cual consiguieron llegar hasta la Luna y, más tarde, hasta Venus y Marte.

Ofrecemos al lector una tabla de velocidades características

El caracol	1,5	mm/seg	5,4	m/h
La tortuga	20	mm/seg	72	m/h
Los peces	1	m/seg	3,6	km/h
El hombre al paso	1,4	m/seg	5	km/h
La caballería al paso	1,7	m/seg	6	km/h
La caballería al trote	3,5	m/seg	12,6	km/h
Las moscas	5	m/seg	18	km/h
Los esquidores	5	m/seg	18	km/h
La caballería a la carrera	8,5	m/seg	30	km/h
Las motonaves con alas sumergidas	16	m/seg	58	km/h
Las liebres	18	M/Seg	65	km/h
Las águilas	24	m/seg	86	km/h
Los galgos	25	m/seg	90	km/h
Los trenes	28	m/seg	100	km/h
Los automóviles de carreras	174	m/seg	633	m
El avión TU-104	220	m/seg	800	km/h
El sonido en el aire	330	m/seg	1,200	km/h
Los aviones a reacción ligeros	550	m/seg	2,000	km/h
La Tierras por su órbita	30000	m/seg	108,000	km/h



En la figura adjunta, un avión turborreactor de pasajeros TU-104, un automóvil «Chaika», una motonave de pasajeros rápida con alas sumergidas y un caracol.

Física Recreativa I

Yakov Perelman

En Persecucion Del Tiempo

Patricio Barros

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

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

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

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

Mark Twain menciona este fenómeno en uno de sus ensayos «Innocents Abroad» (Inocentes en el Extranjero). Durante la travesía del Atlántico, desde Nueva York a las Azores «hacía un magnífico tiempo estival, y las noches eran mejores aún que los días. Durante ellas observábamos un fenómeno extraño: la Luna aparecía cada noche a una misma hora y en un mismo lugar del firmamento. La causa de este original comportamiento de la Luna fue para nosotros un misterio al principio, pero después la comprendimos. Era que íbamos avanzando a razón de 20 minutos de longitud geográfica por hora, es decir, a una velocidad suficiente para que no nos adelantase la Luna.»

Una Mílesima De Segundo

Para los que estamos acostumbrados a medir el tiempo de la forma usual, una milésima de segundo es igual a cero.



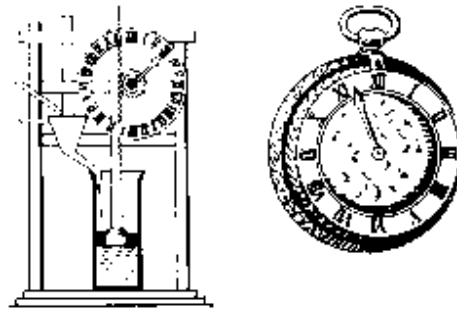
Determinación de la hora por la posición del Sol en el cielo (a la izquierda) y por la longitud de las sombras (a la derecha).

Estos intervalos de tiempo empezaron a utilizarse en la práctica hace poco relativamente. Cuando el tiempo se determinaba por la altura del Sol o por la longitud de las sombras, no podía hablarse ni siquiera de minutos de exactitud.

Se consideraba que un minuto era una magnitud demasiado pequeña para que hubiera necesidad de medirla. En la antigüedad, la vida del hombre no era apresurada y sus relojes, de sol, de agua o de arena, carecían de divisiones especiales para contar los minutos. Hasta principios del siglo XVIII los relojes no tenían minuterios. Pero a comienzos del siglo XIX aparece ya hasta el segundero.

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

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



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

El hombre es incapaz de hacer con sus extremidades movimientos tan rápidos. El más rápido de los movimientos humanos es el parpadeo o «abrir y cerrar de ojos», el cual se realiza con tanta rapidez, que ni lo notamos con la vista. No obstante, son pocos los que saben que este movimiento, sinónimo de rapidez «insuperable», si se mide en milésimas de segundo resulta bastante lento. Según los datos aportados por mediciones precisas, un «abrir y cerrar de ojos» dura, aproximadamente, 215 de segundo, es decir, 400 milésimas de segundo. El parpadeo consta de las siguientes fases: el descenso del párpado (que dura 75-90 milésimas de segundo), el tiempo en que el ojo permanece cerrado (130-170 milésimas de segundo) y la elevación del párpado (cerca de 170 milésimas de segundo). Como puede verse, un «abrir y cerrar de ojos», en el sentido literal de la expresión, es un espacio de tiempo bastante considerable, durante el cual, el párpado puede hasta descansar. Y si pudiéramos percibir aisladamente, impresiones de una milésima de segundo de duración, en un «abrir y cerrar de ojos» distinguiríamos perfectamente los dos suaves movimientos del párpado, separados entre sí por una pausa.

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

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

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

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

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

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

- Usted sabe, naturalmente - dijo Gibbern -, que los objetos al caer recorren 5 m en el primer segundo. El vaso también recorre ahora estos 5 m; pero, comprenda usted, aún no ha transcurrido ni una centésima de segundo¹. Esto le dará idea de la fuerza de mi «acelerador».

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

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

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

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

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

Al lector quizá le interese saber cuál, es el menor intervalo de tiempo que puede medirse con los medios de que dispone la ciencia moderna. A comienzos de siglo, este intervalo era igual a una diezmilésima de segundo; pero en la actualidad los físicos pueden medir en sus laboratorios hasta cienmilmillonésimas ($1/100.000.000.000$) de segundo. Aproximadamente, puede decirse, que este espacio de tiempo es menor que un segundo, ¡tantas veces como un segundo es menor que 3.000 años!

La Cámara Lenta

Cuando Wells escribió «Un acelerador ultramoderno», lo más probable es que no pensara que algo semejante podría realizarse jamás. No obstante, vivió lo suficiente para ver con sus propios ojos, aunque solamente en la pantalla, escenas como aquellas que creó su fantasía. La llamada «cámara lenta» muestra en la pantalla, con ritmo retardado, muchos fenómenos que, generalmente, se desarrollan muy de prisa. La «cámara lenta» no es más que un tomavistas que efectúa, no 24 exposiciones por segundo, como los aparatos ordinarios, sino muchas más.

Cuando las escenas tomadas con 61 se proyectan en la pantalla, haciendo pasar la película a la velocidad normal de 24 cuadros por segundo, el observador ve los movimientos «alargados», es decir, realizándose un número proporcional de veces más despacio que lo normal.

El lector habrá tenido, seguramente, ocasión de ver en la pantalla saltos extraordinariamente lentos y otros movimientos retardados. Con aparatos de este tipo, pero más complicados, se consigue retardar aún más los procesos, de forma, que casi puede reproducirse lo descrito por Wells.

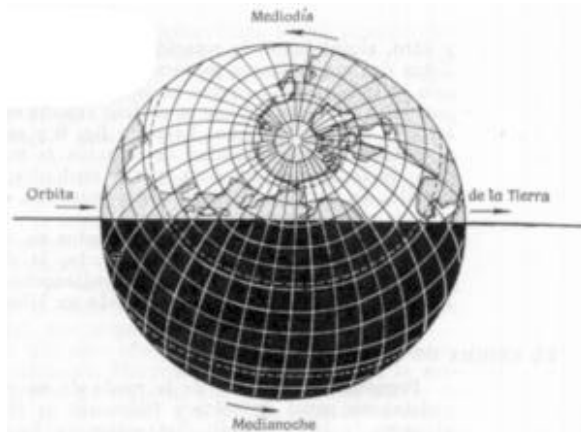
¿Cuándo nos Movemos mas deprisa Alrededor del Sol, de Día o de Noche?

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

En una ocasión, los periódicos parisinos publicaron un anuncio según el cual, por 25 céntimos, se ofrecía dar a conocer un procedimiento de viajar barato y sin el menor cansancio.

No faltaron crédulos que enviaron sus 25 céntimos. Cada uno de ellos recibió por correo una carta en la que se decía:

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



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

El autor del anuncio fue juzgado por estafa, y cuando lo leyeron la sentencia y pagó la multa correspondiente, dicen que adoptó una postura dramática y repitió solemnemente la célebre frase de Galileo:

- Eppur, si muove!²

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

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

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

Sin embargo, no es así. El quid está en que lo que se pregunta no es cuándo la Tierra en su conjunto se traslada más deprisa, sino cuándo nos trasladamos más deprisa entre las estrellas nosotros, es decir, sus habitantes. Así formulada no se trata de una pregunta sin sentido, porque dentro del sistema solar nosotros tenemos dos movimientos: uno de traslación alrededor del Sol y otro, simultáneo, de rotación alrededor del eje de la Tierra. Estos dos movimientos se combinan, pero cuando nos encontramos en el hemisferio en que es de día, el resultado de esta combinación es diferente del que se obtiene cuando estamos en el hemisferio en que es de noche. Véase la anterior y se comprenderá, que a medianoche, la velocidad de rotación *se suma* a la de traslación de la Tierra, mientras que a mediodía, al revés, *se resta* de ella. Es decir, *a medianoche nos movemos, en el sistema solar, más deprisa que a mediodía.*

² ¡Y sin embargo, se mueve!

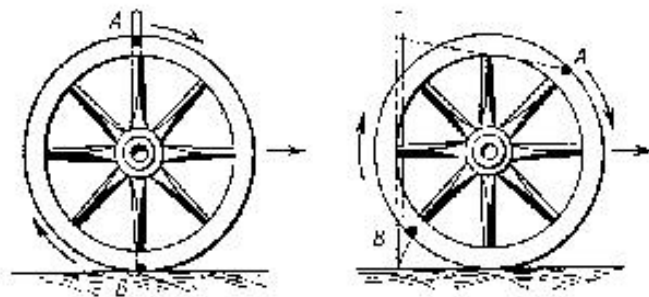
Como quiera que los puntos situados en el ecuador recorren cerca de medio kilómetro por segundo, la diferencia entre las velocidades correspondientes a la medianoche y al mediodía, en la zona ecuatorial, llega a ser de todo un kilómetro por segundo.

El Enigma de la Rueda del Carro

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

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

¿En qué consiste el secreto de este fenómeno tan extraño? Muy sencillo; en que la parte superior de la rueda *se mueve efectivamente más deprisa que la inferior*. Este hecho parece inverosímil a primera vista, pero bastará un simple razonamiento para convencernos de su realidad. Es el caso, que cada punto de la rueda realiza simultáneamente dos movimientos: uno de rotación, alrededor de su eje, y otro de avance, junto con este mismo eje. Tiene lugar, pues, lo mismo que en el caso de la esfera terrestre, una combinación de dos movimientos, pero el resultado de esta combinación es diferente para las partes inferior y superior de la rueda. En la parte superior, el movimiento de rotación de la rueda *se suma* al de avance, ya que estos dos movimientos van en el mismo sentido. En la parte inferior, al revés, el movimiento de rotación tiene dirección *contraria* al de avance y, por consiguiente, *se resta* de este último. He aquí por qué la parte superior de la rueda se mueve más deprisa, con relación a un observador fijo, que la parte inferior de la misma. Para demostrar que esto efectivamente es así, puede hacerse un sencillo experimento. Hinquemos un palo junto a la rueda de un carro parado, de manera, que quede frente al eje de aquélla.



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

En la parte más alta y más baja de la rueda, hagamos con tiza unas señales de referencia. Estas señales se encontrarán también enfrente del palo. Hecho esto, desplazemos el carro hacia la derecha, hasta que el eje de la rueda se aleje del palo unos 20 ó 30 centímetros, y observemos cómo se han desplazado las señales de referencia. Está claro, que la señal superior A ha experimentado un avance mucho mayor que el de la señal inferior B, la cual apenas si se ha separado del palo.

El Punto De La Rueda Que Se Mueve Mas Despacio

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

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

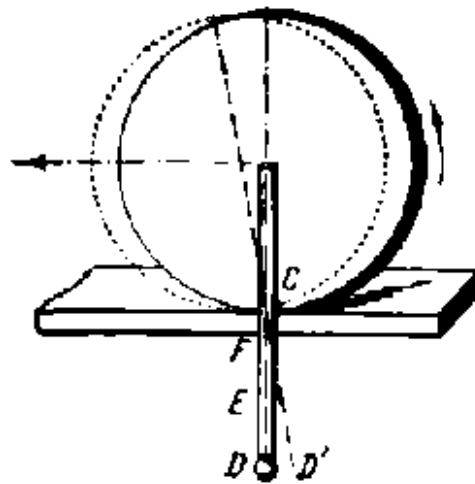
Todo lo que hemos dicho hasta ahora se refirió exclusivamente a las ruedas *que ruedan*, y no a aquellas que solamente giran sobre un eje fijo. Los puntos de la llanta de una rueda volante, por ejemplo, estén en su parte superior o inferior, se mueven a una misma velocidad.

Este Problema no es de Broma

He aquí otro problema no menos curioso:

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

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



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

Todos sabemos que las ruedas de ferrocarril tienen en sus bandajes un reborde saliente. Pues bien, cuando el tren se mueve, el punto inferior de este reborde no se desplaza hacia adelante, sino ¡hacia atrás! Este hecho es fácil de comprobar haciendo el siguiente experimento. Tomemos un objeto redondo cualquiera, por ejemplo, una moneda o un botón, y sujetemos a él, con un poco de cera, un palillo o una cerilla, de tal forma, que, coincidiendo con la dirección de su radio, sobresalga bastante de su borde.

Si apoyamos este objeto redondo (fig. 8) sobre el canto de una regla, en el punto C, y comenzamos a rodarlo de derecha a izquierda, tendremos, que los puntos F, E y D de la parte sobresaliente no se desplazarán hacia adelante, sino hacia atrás. Cuanto más lejos esté el punto del borde del objeto redondo, tanto mejor se notará su desplazamiento hacia atrás al rodar aquél (el punto D ocupará la posición D').

Los puntos de los rebordes de las ruedas de ferrocarril se mueven de igual manera que la parte sobresaliente de la cerilla antedicha. Sabiendo esto, no debe llamarnos la atención, que en un tren haya puntos que se mueven, no hacia adelante, sino hacia atrás.

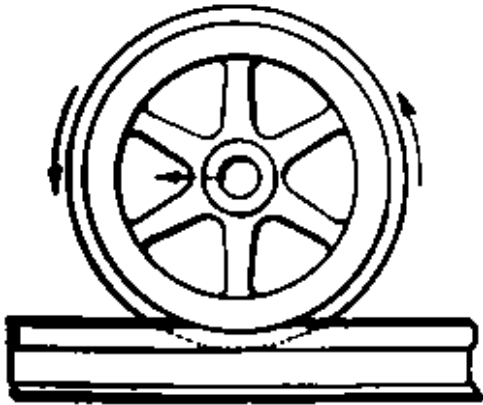
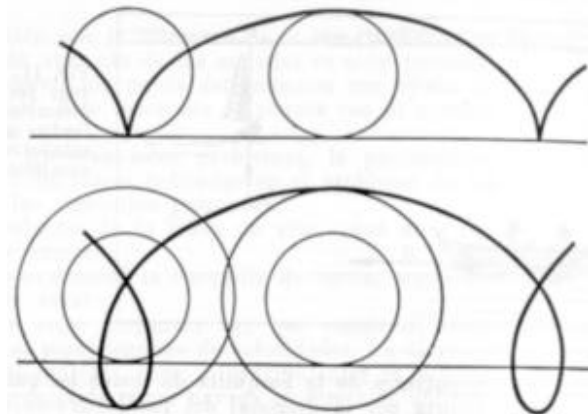


Fig. 9. Cuando la rueda de ferrocarril avanza hacia la izquierda, la parte inferior de su reborde se mueve hacia la derecha, es decir, en dirección contraria

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



Es verdad, que este movimiento dura una insignificante fracción de segundo; pero sea como fuere, y en contra de lo que generalmente nos parece, este movimiento, contrario a la dirección del tren, existe.

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

¿De Donde Partio La Barca?

Supongamos que una barquilla de remos navega por un lago y que la flecha a (fig. 11) representa el sentido y la velocidad de su movimiento.

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

Porque para estos tripulantes, la barca de vela no avanza en ángulo recto a la dirección que sigue la suya. Ellos no se dan cuenta de su propio movimiento. Al contrario, a ellos les parece que están fijos en un sitio, mientras que todo lo que hay a su alrededor se mueve, con la velocidad que ellos llevan, y en sentido contrario.



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

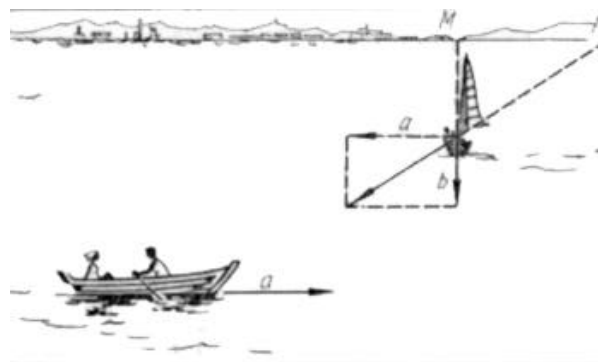


Fig. 12. A los pasajeros de la barca de remos les parece que el avance de la de vela es oblicuo, y no perpendicular a su propia dirección, y que partió del punto N, en vez del M

Por esta razón, para ellos, la barca de vela, además de avanzar en la dirección de la flecha b, lo hace en la dirección que indica la línea de puntos a, contraria a la de la barquilla de remos (fig. 12). Estos dos movimientos de la barca de vela, es decir, el real y el aparente, se combinan de acuerdo con la regla del paralelogramo. Como resultado de esta combinación, a los tripulantes de la barquilla de remos les parece, que la de vela avanza por la diagonal del paralelogramo construido sobre los lados b y a. He aquí por qué estos tripulantes se figuran que dicha barca no partió del punto M de la costa, sino de otro punto de la misma, N, que se encuentra bastante más adelante que el primero, en la dirección que sigue su propia barca (fig. 12).

Al movernos junto con la Tierra, siguiendo su órbita, y encontrarnos con los rayos de luz de las estrellas, juzgamos erróneamente sobre la posición que ocupan los puntos de procedencia de estos rayos, de la misma manera que los tripulantes de la barca de remos se equivocaban al determinar el sitio de partida de la barca de vela. Por esto, nos parece que las estrellas están un poco desplazadas hacia adelante, siguiendo la trayectoria de la Tierra. Claro, que como la

velocidad de traslación de la Tierra es insignificante en comparación con la velocidad de la luz (10 000 veces menor), la desviación aparente de las estrellas es muy pequeña. No obstante, esta desviación puede determinarse con ayuda de aparatos astronómicos. Este fenómeno se conoce con el nombre de aberración de la luz.

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

- 1) Para los tripulantes de la barca de vela, ¿qué dirección seguirá la barca de remos?
- 2) ¿Hacia dónde se dirigirá la barquilla de remos, según los tripulantes de la de vela? .

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