

Capítulo Cuarto

ATRACCION UNIVERSAL

¿Es Grande La Fuerza De La Atracción?

"Si la caída de los cuerpos no fuera una cosa que vemos a cada instante, sería para nosotros el fenómeno más asombroso", escribía el célebre astrónomo francés Arago. La costumbre hace que el hecho de que la Tierra atraiga a todos los cuerpos nos parezca un fenómeno natural y ordinario. Pero cuando se nos dice que los cuerpos también *se atraen entre sí* nos resistimos a creerlo, porque en las condiciones normales de nuestra vida no vemos nada semejante.

Efectivamente, ¿por qué en torno nuestro no se manifiesta constantemente, en las circunstancias normales, la ley de la atracción universal? ¿Por qué no vemos cómo se atraen entre sí las mesas, las sandías, las personas? Porque cuando los objetos son pequeños la fuerza de atracción que ejercen es muy pequeña. Citaré un ejemplo ilustrativo. Dos personas que se encuentren a dos metros de distancia entre sí se atraen mutuamente, pero la fuerza de esta atracción es insignificante. Suponiendo que estas dos personas tienen un peso medio, la atracción será de 1/100 de miligramo. Esto quiere decir que estas dos personas se atraen mutuamente con la misma fuerza con que una pesita de 1/100.000 de gramo presiona sobre el platillo de una balanza. Solamente las balanzas de extraordinaria sensibilidad de los laboratorios de investigación pueden apreciar un peso tan insignificante.

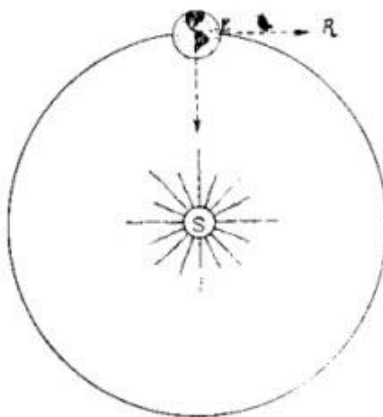


Fig. 45. La atracción del Sol hace que se curve la trayectoria de la Tierra E. La inercia hace que el planeta tienda a seguir la línea tangente ER

Claro está que esta fuerza no puede hacer que nos movamos del sitio, puesto que lo impide el rozamiento entre las suelas de nuestros zapatos y el suelo. Para que nos movamos, estando sobre un suelo de madera, por ejemplo (la fuerza de rozamiento entre las suelas de los zapatos y el suelo será en este caso igual al 30% del peso de nuestro cuerpo) hace falta que sobre nosotros actúe una fuerza mínima de 20 kg. Resulta cómico comparar esta fuerza con la de una centésima de miligramo, que es la que ejerce la atracción. Un miligramo es la milésima parte de un gramo, y un gramo es la milésima parte de un kilogramo; por lo tanto, 0,01 mg será... ¡la mitad de la *mil millonésima* parte de la fuerza necesaria para hacer que nos movamos del sitio! Siendo así, ¿qué tiene de particular que, en condiciones normales, no nos demos ni la más leve cuenta de la atracción entre los cuerpos terrestres?

Si no existiera el rozamiento sería otra cosa; entonces nada impediría que hasta la más leve atracción provocara la aproximación de los cuerpos entre sí. Pero en este caso la

aproximación mutua de dos personas producida por una fuerza de atracción de 0,01 mg sería también muy lenta, es decir, se realizaría con una *velocidad* insignificante. Por medio de cálculos se puede demostrar que, si no existiera rozamiento, dos personas situadas a 2 m de distancia se aproximarían entre sí (por influjo de la atracción mutua) 3 cm durante la primera hora, 9 cm durante la segunda y 15 cm durante la tercera. El movimiento de aproximación se iría acelerando, pero las dos personas no llegarían a juntarse antes de cinco horas.

La atracción entre los cuerpos terrestres se puede notar en aquellos casos en que la fuerza de rozamiento no es un obstáculo, es decir, cuando los cuerpos no se mueven. Un peso colgado de un hilo se halla sometido a la atracción de la Tierra (por eso el hilo está dirigido verticalmente), pero si cerca de este peso se encuentra un cuerpo cuya masa sea grande, aquél será atraído por éste y el hilo se desviará ligeramente de su posición vertical y tomará la dirección de la resultante entre la atracción de la Tierra y la del cuerpo, que será relativamente muy pequeña. La desviación de una plomada en las proximidades de una gran montaña fue observada por vez primera en el año 1775 en Escocia, por Maskelyne, quien comparó la dirección de dicha plomada con la del polo celeste, por los dos lados de una misma montaña. Posteriormente se realizaron otros experimentos más perfectos, utilizando balanzas especiales, que permitieron determinar exactamente la fuerza de la atracción.

Como hemos visto, la fuerza de la atracción entre masas pequeñas es insignificante. A medida que aumenten las masas crece la atracción proporcionalmente al producto de éstas. Pero hay algunas personas propensas a exagerar esta fuerza. Hasta un científico, aunque no físico, sino zoólogo, intentó demostrarme en una ocasión que la atracción que suele observarse entre los barcos se debe a la atracción universal. Por medio de cálculos no es difícil demostrar que la atracción universal no tiene nada que ver con esto. Dos navíos de línea de 25.000 t cada uno que se encuentren a 100 m de distancia entre sí se atraerán mutuamente con una fuerza total de... ¡400 g! Lógicamente esta fuerza es incapaz de producir el más mínimo acercamiento entre dichos barcos. La causa verdadera de la misteriosa atracción que existe entre los barcos es otra, que explicaremos en el capítulo dedicado a las propiedades de los líquidos.

Pero la fuerza de atracción, que es tan insignificante entre masas pequeñas, se hace muy sensible cuando se trata de masas tan colosales como las de los cuerpos celestes. Baste decir que incluso un planeta tan alejado de nosotros como Neptuno, que gira casi en el límite del sistema solar, nos manda su "saludo" atrayendo a la Tierra con una fuerza de... ¡18 millones de toneladas! A pesar de la enorme distancia que nos separa del Sol, la Tierra se mantiene en su órbita gracias a su atracción. Si la atracción que ejerce el Sol desapareciera por cualquier causa, la Tierra, siguiendo una dirección tangencial a su órbita actual, se lanzaría a recorrer eternamente la profundidad insondable del espacio cósmico.

Un Cable De Acero Desde La Tierra Al Sol

Supongamos que la poderosísima atracción del Sol desaparece efectivamente y que el trágico futuro de la Tierra es alejarse para siempre en los fríos y lóbregos desiertos del universo. Pero figurémonos- aunque para esto hace falta no poca fantasía que nuestros ingenieros deciden reemplazar las invisibles cadenas de la desaparecida atracción por un enlace material, es decir, deciden simplemente unir la Tierra con el Sol por medio de fuertes cables de acero, los cuales tendrán la misión de mantener la Tierra en su órbita circular alrededor del Sol. ¡Qué puede haber más fuerte que el acero, cuya resistencia a la tracción alcanza 100 kg por milímetro cuadrado! Figurémonos una poderosa columna de acero de 5 m de diámetro. La superficie de su sección transversal sería, en números redondos, de 20.000.000 mm², por consiguiente, para romper por tracción esta columna se necesitaría un peso de 2.000.000 t. Supongamos ahora que esta columna se extiende desde la Tierra hasta el Sol y que une entre sí a ambos astros. ¿Cuántas columnas como ésta harían falta para mantener la Tierra en su órbita? ¡Un millón de millones! Para que sea más fácil hacerse una idea de lo que sería este bosque de columnas de acero, que poblaría densamente tanto los continentes como los océanos, habrá que decir que, si las columnas estuvieran repartidas uniformemente por todo el hemisferio terrestre que mira al Sol, el espacio entre dos columnas contiguas sería poco

mas ancho que ellas mismas. Imagínense ustedes la fuerza que hace falta para romper este enorme bosque de columnas de acero y tendrán una idea de la fuerza invisible, pero poderosísima, de la atracción mutua entre la Tierra y el Sol.

Toda esta fuerza colosal se manifiesta exclusivamente en torcer el camino por el cual marcha la Tierra. Esta fuerza hace que la Tierra se desvíe 3 mm cada segundo de la línea tangente y que, gracias a esto, el camino que sigue nuestro planeta sea una curva cerrada, es decir, una elipse. Parece imposible que para que la Tierra se desvíe 3 mm cada segundo, es decir, la altura que tiene este renglón, sea necesaria una fuerza tan imponente. Pero si una fuerza tan extraordinaria puede comunicarle solamente una desviación tan insignificante, podemos figurarnos lo enorme que es la masa de nuestro planeta.

¿Es Posible Ocultarse A La Gravitacion?

Acabamos de fantasear sobre lo que ocurriría si desapareciera la atracción mutua entre el Sol y la Tierra y hemos visto que la Tierra, liberada de las cadenas invisibles de la atracción, recorrería vertiginosamente la inmensidad del universo. Abramos ahora nuestra fantasía a otro tema: ¿qué ocurriría con todos los objetos terrestres si no existiera la gravedad? Nada los sujetaría a nuestro planeta y el menor impulso sería suficiente para lanzarlos al espacio interplanetario. Ni siquiera sería necesario aguardar este impulso, la propia rotación de la Tierra dispersaría en el espacio todo cuanto no está sólidamente ligado a su superficie. El escritor inglés Wells utilizó este género de ideas para describir en una novela un viaje fantástico a la Luna. En esta obra ("Los primeros hombres en la Luna") el ingenioso novelista propone un procedimiento muy original para viajar de un planeta a otro. Este procedimiento consiste en el empleo de una sustancia especial, inventada por el científico, héroe de la novela, que posee la magnífica propiedad de ser impenetrable a la gravedad. Si una capa de esta sustancia se coloca debajo de un cuerpo cualquiera, este último se liberará de la atracción de la Tierra y quedará sometido solamente a la atracción de los demás cuerpos. Wells le dio a esta sustancia fantástica el nombre de "cavorita", por ser Cavor su inventor imaginario.

"Sabemos - escribe el novelista -, que para la atracción universal, es decir, para la gravitación, todos los cuerpos son penetrables. Se pueden poner pantallas que impidan el paso de los rayos de luz hasta los objetos; por medio de chapas metálicas se puede preservar un cuerpo contra la llegada de las ondas eléctricas de la radiotelegrafía, pero no existen obstáculos que puedan proteger un objeto de la atracción del Sol o de la gravitación terrestre. No es fácil explicarse por qué no existen en la naturaleza barreras semejantes para la gravitación. Pero Cavor no veía ningún motivo que pudiera impedir la existencia de una sustancia impenetrable a esta atracción y se consideraba a sí mismo capaz de crear artificialmente la sustancia que tuviera esta propiedad".

"Cualquiera que posea una chispa de imaginación puede figurarse fácilmente qué posibilidades tan extraordinarias abriría ante nosotros una sustancia semejante. Si hace falta levantar un peso, aunque éste sea enorme, bastará con poner debajo de él una hoja de esta sustancia para que pueda ser levantado hasta con una pajita".

Después de conseguir esta sustancia estupenda, los héroes de la novela construyen una nave espacial en la cual realizan un intrépido viaje a la Luna. La estructura de este proyectil es muy sencilla; en él no existe ningún mecanismo propulsor, puesto que se mueve por medio de las atracciones que sobre él ejercen los astros.

A continuación reproducimos la descripción que hace Wells de este proyectil imaginario:

"Figúrense ustedes un proyectil esférico bastante amplio, capaz de transportar dos personas con sus equipajes. Este proyectil tiene dos envolturas, una interna y otra externa; la interna de vidrio grueso y la externa de acero. En él se puede hacer provisión de aire condensado, alimentos concentrados, aparatos para destilar agua, etc. La esfera de acero estará totalmente recubierto por fuera con una capa de "cavorita". La envoltura de vidrio interna será continua, excepto la escotilla; la de acero, por el contrario, constará de partes independientes, cada una de las cuales podrá enrollarse como si fuera una cortinilla. Esto se puede conseguir sin dificultad por medio de unos resortes; para subir y bajar las cortinillas se

empleará una corriente eléctrica, que unos alambres de platino conducirán desde la envoltura de vidrio. Pero esto son ya pormenores técnicos. Lo principal es que la envoltura exterior del proyectil estará formada por una especie de ventanas con cortinilla de "cavorita". Cuando todas las cortinillas estén bajadas por completo, en la esfera no podrá penetrar ni luz, ni ninguna clase de energía radiante, ni la fuerza de la atracción universal. Pero imagínense que una de las cortinillas está levantada. En este caso cualquier masa que se encuentre a alguna distancia enfrente de esta ventana nos atraerá hacia sí. Prácticamente podremos viajar por el espacio cósmico atraídos ya por uno, ya por otro cuerpo celeste".

Como Hicieron El Viaje A La Luna Los Heroes De Wells

Es muy interesante cómo el novelista describe el momento en que el vagón interplanetario emprende su viaje. La tenue capa de "cavorita" que recubre la superficie externa del proyectil hace que éste se comporte como si fuera ingrávido. Ustedes comprenderán que un cuerpo ingrávido no puede encontrarse tranquilamente en el fondo del océano aéreo; con él deberá ocurrir lo mismo que un corcho que estuviera en el fondo de un lago y que inmediatamente subiría a la superficie. De la misma forma el proyectil ingrávido - sobre el cual actúa además la inercia de la rotación de la Tierra -, deberá elevarse rapidísimamente y, después de alcanzar los límites de la atmósfera, continuar libremente su camino en el espacio interplanetario. Así fue como emprendieron su vuelo los héroes de la novela. Cuando se hallaron en el espacio cósmico, comenzaron a abrir unas ventanas y a cerrar otras, exponiendo el interior del proyectil unas veces a la atracción del Sol y otras a la de la Tierra o de la Luna, y así llegaron a la superficie de nuestro satélite natural. Después uno de los expedicionarios volvió a la Tierra en este mismo proyectil.

No vamos a discutir aquí la esencia de idea de Wells (esto es cosa que hice en otro lugar¹, donde expuse su inconsistencia). Creamos por un momento al ingenioso novelista y sigamos a sus personajes en la Luna.

Media Hora En La Luna

Veamos cómo se sentían los personajes de la obra de Wells en un mundo donde la gravedad es mucho menor que en la Tierra.

He aquí una página curiosa² de la novela "Los primeros hombres en la Luna". Habla uno de los habitantes de la Tierra recién llegados a la Luna.

"Empecé a destornillar la tapa del proyectil. Me puse de rodillas y me asomé por la escotilla. Abajo, a una distancia de tres pies de mi cabeza, yacía la nieve inmaculada de la Luna. Cavor se lió en una manta, se sentó en el borde de la escotilla y empezó a bajar las piernas. Cuando tenía sus plantas a medio pie del suelo, dudó un momento y se dejó caer sobre la superficie del mundo lunar.

Yo lo estaba mirando a través de la envoltura de vidrio de la esfera. Después de dar varios pasos se detuvo un minuto, miró a su alrededor, y por fin se decidió a saltar hacia adelante. El vidrio deformó este movimiento, pero a mí me pareció que este salto fue demasiado grande en realidad. Cavor se encontró de golpe a 6 ó 10 metros de mí. De pie sobre una peña, me hacía señas; es posible que gritase algo; el sonido no llegaba hasta mis oídos ... Pero, ¿cómo dio el salto?

Yo estaba preocupado y decidí salir por la escotilla y dejarme caer. De esta forma me encontré al borde de un hoyo nevado. Di un paso adelante y después salté.

Sentí que volaba y pronto me encontré cerca de la peña en que estaba esperándome Cavor. Me cogí a ella y quedé suspenso y horriblemente sorprendido.

Cavor se agachó y empezó a gritarme con voz chillona que tuviera cuidado. Me había olvidado de que en la Luna la gravedad es seis veces más débil que en la Tierra. Pero la propia realidad hacía que lo recordase.

¹ Viajes interplanetarios

² El trozo que reproducimos está un poco extractado.

Teniendo precaución y conteniendo mis movimientos logré subir a la cumbre de la peña y andando como un reumático me puse al sol junto a Cavor. Nuestro proyectil estaba a unos treinta pies de nosotros sobre un montón de nieve que se derretía.

- Mire usted - dije, volviéndome hacia Cavor.

Pero Cavor había desaparecido.

Me sobrecogí un instante por esta sorpresa y después, queriendo ver lo que había allá del borde de la peña, di un paso hacia adelante, sin acordarme de que estaba en la Luna. El esfuerzo que hice era el necesario para avanzar un metro en la Tierra, pero aquí fueron seis los que avancé, con lo cual fui a parar cinco metros más allá del borde de la peña.

Sentí la misma impresión que cuando en sueños se cae uno a un abismo y va por el espacio. Cuando se cae una persona en la Tierra, durante el primer segundo baja 5 metros, en la Luna solamente baja 80 centímetros en este mismo tiempo. Por esto yo descendí planeando suavemente hasta una profundidad de cerca de nueve metros. Esta caída me pareció larga, aunque duraría unos tres segundos. Volé por el aire y, después de caer como una pluma, me encontré hundido hasta las rodillas en un montón de nieve y en el fondo de un valle pedregoso.

- ¡Cavor! - grité, mirando a mi alrededor.

No se veían huellas de él por ninguna parte.

- ¡Cavor! - volví a gritar más fuerte.

De repente lo vi. Se estaba riendo y me hacía señas desde un peñasco pelado que había a unos veinte metros de mí. Sus palabras no se podían oír, pero por los gestos comprendí lo que quería. Me invitaba a dar un salto y a reunirme con él.

Dudé un poco, porque la distancia me pareció demasiado grande. Después pensé que si Cavor pudo dar un salto así, también lo podía dar yo.

Di un paso atrás y salté con todas mis fuerzas. Salí por el aire como una flecha y parecía que nunca iba a llegar abajo. Fue un vuelo fantástico, monstruoso como los que se sueñan, pero al mismo tiempo admirable.

El salto resultó demasiado grande y yo pasé volando sobre la cabeza de Cavor".

Disparos En La Luna

El episodio siguiente está tomado de una novela del insigne inventor soviético K. E. Tsiolkovski titulada "En la Luna". Este episodio nos ayudará a comprender las condiciones del movimiento bajo la acción de la gravedad. En la Tierra la atmósfera dificulta el movimiento de los cuerpos y oculta las leyes simples de la caída de los cuerpos, complicándolas con otras condiciones.

En la Luna no existe aire. Por esto nuestro satélite sería un magnífico laboratorio para estudiar la caída de los cuerpos, si pudiéramos encontrarnos allí y dedicarnos a la investigación científica.

En el episodio que a continuación reproducimos, los dos interlocutores se hallan en la Luna y quieren investigar cómo se moverán allí las balas disparadas con una escopeta.

"-¿Funcionará aquí la pólvora?

Por qué no. Los explosivos en el vacío deben poner de manifiesto sus propiedades con más fuerza aún que en el aire, puesto que este último lo único que hace es dificultar su explosión. En cuanto al oxígeno, no les hace falta. Dentro de ellos mismos hay la cantidad suficiente.

- Colocaré la escopeta verticalmente para que la bala caiga más cerca y sea más fácil encontrarla después del disparo.

Hizo fuego y se sintió un ruido muy débil³ y una pequeña sacudida del suelo.

- ¿Dónde estará el taco? Debía haber caído por aquí cerca. - El taco salió disparado junto con la bala y lo más probable es que no se separe de ella, puesto que en la Tierra es la atmósfera la que le impide seguir al plomo; aquí una pluma cae y vuela con la misma rapidez que una piedra. Coge una pluma de esas que salen de la almohada y yo cogeré esta bola de hierro colado. Tú podrás tirar tu pluma y atinar a un blanco, aunque se encuentre bastante

³ En la Luna el sonido se transmite a través del suelo y del cuerpo de las personas, y no a través del aire, puesto, que allí no lo hay.

alejado, con la misma facilidad que yo con mi bola. Yo puedo, si el peso es pequeño, lanzar la bola a 400 metros y tú puedes tirar tu pluma a la misma distancia; claro que con ella no le harás daño a nadie y al lanzarla te parecerá que no has tirado nada. Bueno, tiremos nuestros proyectiles arrojados con todas nuestras fuerzas, que no son muy dispares, a un mismo blanco; a aquella piedra de granito rojo ...

La pluma adelantó un poco a la bola de hierro colado. Parecía que la había arrastrado un fuerte remolino.

¿Qué pasa? Desde que disparamos la escopeta han transcurrido tres minutos y aún no ha regresado la bala.

Espera dos minutos más y verás como vuelve.

Efectivamente, al cabo del tiempo señalado sentimos una pequeña sacudida en el suelo y vimos cómo el taco botaba no muy lejos.

- ¡Cuánto tiempo estuvo volando la bala! ¿A qué altura tenía que remontarse?

- A unos setenta kilómetros. Puede alcanzar esta altura porque la gravedad es pequeña y porque no existe aire que le ofrezca resistencia".

Comprobémoslo. Si consideramos que la velocidad de la bala en el momento de salir del cañón es solamente de 500 m por segundo (en comparación con las armas modernas esta velocidad es vez y media menor que la real), la altura a que subiría en la *Tierra, si no existiera la atmósfera*, sería:

$$h = v^2/2g = 500^2/2 \cdot 10 = 12.500 \text{ m}$$

es decir, 12,5 km. En la Luna, donde la gravedad es 6 veces menor, en lugar de g hay que tomar 10/6; por consiguiente, la bala deberá alcanzar la altura de

$$12.500 \cdot 6 = 75 \text{ km.}$$

En Un Pozo Sin Fondo

Sobre lo que ocurre en las profundas entrañas de nuestro planeta se sabe todavía muy poco. Unos suponen que debajo de una corteza dura de cien kilómetros de espesor comienza una masa líquida incandescente. Otros consideran que todo el globo terráqueo se ha solidificado hasta el mismo centro. Esta es una cuestión difícil de resolver. Hasta ahora el pozo más profundo tiene 7,5 km de hondura y la mina más honda a que ha bajado el hombre tiene una profundidad de 3.300 m⁴, mientras que el radio de la Tierra es igual a 6.400 km. Si a través de nuestro planeta se pudiera perforar un pozo de parte a parte, siguiendo uno de sus diámetros, estos problemas estarían resueltos. Pero la técnica más moderna está muy lejos aún de poder realizar semejante empresa, aunque todos los pozos perforados en la corteza terrestre, tomados conjuntamente, alcanzarían una longitud mayor que el diámetro de nuestro planeta. En el siglo XVIII soñaban con hacer un túnel a través de la Tierra el matemático Maupertuis y el filósofo Voltaire. A este proyecto, aunque en escala más modesta, se refirió también el astrónomo francés Flammarion. En esta página reproducimos el dibujo que encabezaba su artículo dedicado a este tema (fig. 46).

⁴ La mina de oro de Boksburg (Transvaal, Africa del Sur), con la particularidad de que la entrada del pozo se encuentra a 1.600 m de altura sobre el nivel del mar, es decir, la profundidad de la mina con respecto al nivel del mar es solamente de 1.700 m. (*N. de la R.*)



Fig. 46. Si la Tierra se taladrara por su diámetro...

Hasta ahora no se ha hecho, naturalmente, nada parecido; pero aprovechemos este pozo imaginario sin fondo para ocuparnos de un problema muy interesante.

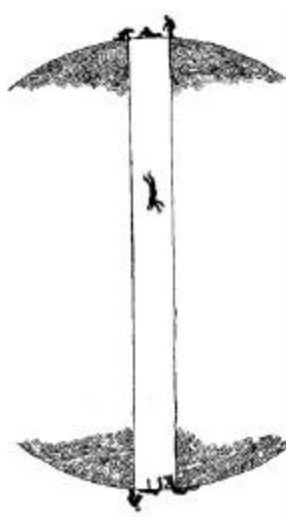


Fig. 47. Si un cuerpo se cayera en un pozo practicado a través del centro de la Tierra oscilaría de un extremo a otro sin detenerse; cada oscilación completa duraría 1 hora 24 minutos.

¿Qué piensa el lector que le ocurriría si se cayese en un pozo sin fondo de este tipo (olvidando por ahora la resistencia del aire)? Estrellarse en el fondo no podría, puesto que no existe fondo, pero, ¿dónde pararía?

¿En el centro de la Tierra? No.

Cuando llegase usted a este centro, su cuerpo tendría una velocidad tan enorme (de cerca de 8 km/seg) que ni hablar se puede de que se parase. Seguiría usted adelante, como disparado, y su movimiento se iría retardando poco a poco hasta que llegara al nivel de los bordes del extremo opuesto del pozo. Aquí tendría que agarrarse bien a dichos bordes, porque de lo contrario tendría que repetir el paseo a través del pozo hasta el otro extremo. Y si tampoco consigue sujetarse a algo, otra vez se hundirá en el pozo y seguirá de esta forma balanceándose indefinidamente.

La Mecánica enseña que, en estas condiciones (si se desprecia la resistencia del aire), el cuerpo debe oscilar, de un lado a otro y viceversa, constantemente⁵.

¿Cuánto duraría una de estas oscilaciones? El recorrido de ida y vuelta duraría 84 minutos y 24 segundos, es decir, en números redondos, hora y media.

"Así ocurriría - continúa C. Flammarion -, si el pozo estuviera abierto por el eje de la Tierra, desde un polo a otro. Pero si se traslada el punto de partida a cualquier otra latitud - a Europa, Asia o África -, hay que tener en cuenta la influencia que ejerce la rotación de la Tierra. Sabemos que cada punto de la superficie terrestre recorre en el ecuador 465 m por segundo, y a la altura de París, 300 m. Como la velocidad circular *aumenta* al alejarse del eje de rotación, una bola de plomo, por ejemplo, dejada caer en un pozo, no caerá verticalmente, sino que se desviará un poco hacia el este. Si el pozo sin fondo se hace en el ecuador, su anchura deberá ser bastante grande, o el pozo estar muy inclinado, puesto que el cuerpo que caiga en él desde la superficie de la Tierra se desviará mucho hacia el este, con respecto a su centro.

Si la boca de entrada del pozo se encontrará en una de las mesetas de América del Sur, a una altura de dos kilómetros sobre el nivel del mar, y el extremo opuesto del túnel estuviera al nivel del océano, la persona que por descuido se cayese en la boca americana, al llegar al otro extremo llevaría tanta velocidad que se elevaría dos kilómetros sobre la superficie.

Si los dos extremos del pozo se encontraran al nivel del océano, se le podría dar una mano a la persona caída en el momento en que apareciera por una de las bocas, puesto que su velocidad sería igual a cero. Pero en el caso anterior, por el contrario, habría que apartarse por temor a un viajero tan extraordinariamente precipitado".

Un Camino Ideal

Hace tiempo, en San Petersburgo (hoy Leningrado) apareció un folleto que tenía un título tan extraño como el siguiente: "Ferrocarril subterráneo automotriz entre San Petersburgo y Moscú. Novela fantástica en tres capítulos, incompletos por ahora". El autor de este folleto A.A. Rodnig, propone un proyecto ingenioso que puede interesar a los aficionados a las paradojas físicas.

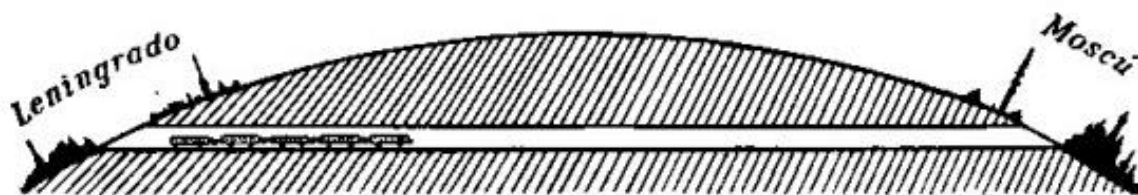


Fig. 48. Si se hiciera un túnel entre Leningrado Y Moscú, los trenes circularían por él en ambas direcciones por su propio peso, sin necesidad de locomotoras.

El proyecto consiste en "hacer un túnel de 600 km de longitud para unir entre sí las dos capitales, siguiendo una línea subterránea completamente recta. De esta forma tendríamos la posibilidad de realizar el viaje en línea recta, y no siguiendo vías curvas como hasta ahora" (El autor quiere decir que todos los ferrocarriles se amoldan a la curvatura de la superficie de la Tierra y, por lo tanto, forman arcos, mientras que el túnel que él ha proyectado sigue una línea recta, es decir, una cuerda).

Si se pudiera hacer este túnel, tendría una propiedad magnífica que no tiene ningún ferrocarril del mundo. Esta propiedad consiste en que cualquier carruaje *se movería por él de por sí solo*. A propósito de esto, recordemos nuestro pozo perforado atravesando la Tierra. El túnel Leningrado-Moscú sería un pozo semejante a aquél, pero perforado no por el diámetro, sino por la cuerda. Es verdad que mirando la fig. 48 puede parecer que el túnel es horizontal y que, por consiguiente, no hay ninguna causa para que podamos viajar por él a costa de la

⁵ La resistencia del aire haría que las oscilaciones se fueran amortiguando paulatinamente y al final la persona se detendría en el centro de la Tierra.

gravedad. Pero esto es solamente una ilusión óptica. Si trazamos mentalmente los radios de la esfera correspondientes a los extremos del túnel (la dirección del radio es la de la plomada), veremos que éste no está hecho en dirección perpendicular a la de la plomada, es decir, horizontal, sino inclinada.

En un pozo inclinado como éste todo cuerpo debe rodar hacia adelante y hacia atrás atraído por la gravedad y presionando continuamente sobre el fondo. Si dentro de este túnel se ponen vías, los vagones de ferrocarril podrán desplazarse por él solos; el peso de los propios vagones sustituirá a la tracción de la locomotora. Al principio este tren se moverá despacio. Pero su velocidad irá en aumento cada segundo y pronto se hará insospechadamente grande, de manera que el aire estorbará mucho su avance. Pero olvidémonos temporalmente de este lamentable obstáculo, que impide la realización de tantos proyectos seductores, y sigamos adelante con nuestro tren. En la mitad del túnel el tren tendrá una velocidad mucho mayor que la de una bala de cañón, con la que podrá llegar casi hasta el otro extremo. Si no hubiera rozamiento, tampoco existiría este "casi"; el tren, sin locomotora, haría perfectamente el recorrido desde Leningrado hasta Moscú. El viaje en una dirección duraría, según los cálculos, lo mismo que en el caso de la caída al pozo perforado siguiendo el diámetro de la Tierra, es decir, 42 minutos y 12 segundos. Aunque parezca extraño, la duración no depende de la longitud del túnel. El viaje por el túnel Moscú-Leningrado duraría lo mismo que por un túnel Moscú-Vladivostok o Moscú-Melbourne⁶.

Lo mismo ocurriría con cualquier otro carruaje, fuera una vagoneta, un coche, un automóvil, etc. En realidad sería un camino ideal que, permaneciendo inmóvil, haría que todos los carruajes marchasen por él, de un extremo al otro, con extraordinaria rapidez.

¿Como Se Hacen Los Tuneles?

En la fig. 49 se muestran tres procedimientos de trazar túneles, ¿por cuál de los tres se consigue que el túnel sea horizontal?

Ni por el primero ni por el tercero. Por el de en medio, en que el túnel tiene forma de arco y en todos sus puntos forma ángulos rectos con la dirección de las líneas verticales (es decir, con los radios de la Tierra). Este es el túnel horizontal; su curvatura es igual que la de la superficie de la Tierra.

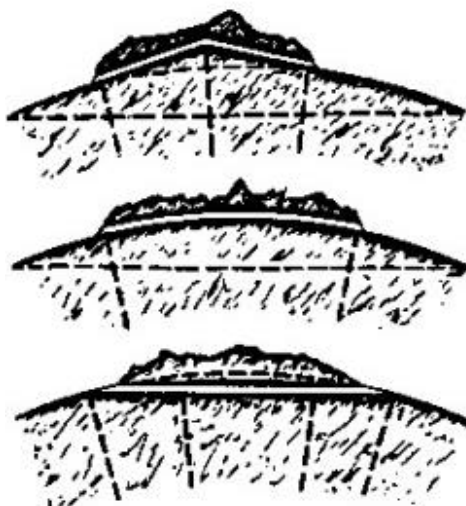


Fig. 49. Tres procedimientos de hacer un túnel a través de una montaña.

⁶ También se puede demostrar otra propiedad muy interesante del pozo sin fondo que consiste en que la duración de cada oscilación no depende de las *dimensiones* del planeta, sino exclusivamente de su *densidad*.

Los grandes túneles se hacen generalmente como indica el dibujo superior de la fig. 49, es decir, siguiendo las líneas rectas tangentes a la superficie de la Tierra en los puntos extremos del túnel. Los túneles de este tipo *se elevan* al principio un poco y luego *descienden*. Tienen la ventaja de que el agua no se acumula en ellos, sino que corre hacia los extremos. Si el túnel se hiciera estrictamente horizontal y fuera largo, tendría forma de arco. El agua no tendría a salir de él, puesto que en cada uno de sus puntos se encontraría en equilibrio. Cuando un túnel de éstos tiene más de 15 km de largo (el del Simplón tiene 20 km), mirando desde un extremo no se ve el otro, porque la visual se topa con el techo, debido a que el punto medio del túnel se eleva más de 4 m sobre el nivel de sus puntos extremos. Finalmente, si el túnel se hace siguiendo una línea recta que una los puntos extremos, presentará un pequeño *declive* desde sus bocas hacia el centro. El agua en vez de salir de él se acumulará en su centro, que será la parte más baja. Pero desde una entrada podremos ver la otra. Los dibujos adjuntos facilitan la comprensión de lo expuesto⁷.

⁷ De lo dicho se deduce que todas las líneas horizontales son *curvas*, mientras que las verticales son rectas.