

EMULANDO A NEWTON.

Recuerdo que en un viaje que hice con el Colegio de Ingenieros Industriales de Álava a Praga, cuando estábamos en la plaza principal, vimos que se acercaba una curiosa manifestación. Eran unas decenas de jóvenes, y unos cuantos llevaban unos cubos de cartón blanco de unos 30 cm. de lado con alguna de sus caras, en parte pintadas de negro. Llegaron al centro de la plaza y empezaron a colocar los cubos de cartón en hileras superpuestas. Formaron una especie de pared de unos 6 m. de largo por unos 2 de alto. Apareció escrita en una de las caras de la pared de cartón la palabra NEWTON en negro, con letras de por lo menos un metro de altura. Era una especie de puzzle.

Nunca había visto una manifestación de este tipo. Siendo aficionado a la física y a la astronomía me pareció algo importante y para recordar. No supe cuál era la causa de esa celebración, pues todavía no domino el idioma checo, pero ver a unos jóvenes recordando a Newton, me imagino que estudiantes, fue para mi emocionante y causa de satisfacción.

Como se sabe, se suele contar que la Ley de Gravitación Universal la descubrió Newton mientras estaba echando una siesta bajo un manzano y le despertó una manzana que le cayó sobre su cabeza.

Vamos a inventar una historia ficticia, pero más de acorde con la realidad que la de la siesta, para tratar de explicar cómo pudo ser este descubrimiento de la gravitación universal, y de paso tratar de emular a Newton descubriendo su Ley.

Es posible que Newton estuviese paseando en un parque junto a un estanque. En un momento dado una manzana cayó de un árbol. Newton vio cómo inmediatamente empezaron a formarse unas ondas circulares que iban desplazándose con radio cada vez mayor a través del estanque. Había hojas flotando en la superficie del agua y cuando les llegaban las ondas, las hojas "bailaban" al son de aquellas.

Estas ondas procedían de la energía cinética que tenía la manzana en el momento de entrar en contacto con el agua. Esta energía era transportada por las ondas circulares de radios crecientes por la superficie del estanque.

Newton pensó que bien pudiera ser que la masa fuese la causante de la atracción de la gravedad y que, desde esa masa, esa gravedad fuera transportada por unas ondas que se alejaban en superficies esféricas de radios crecientes, de forma similar a como se desplazan las ondas en el estanque, o el sonido en el aire.



Ondas formadas por la manzana caída al estanque.

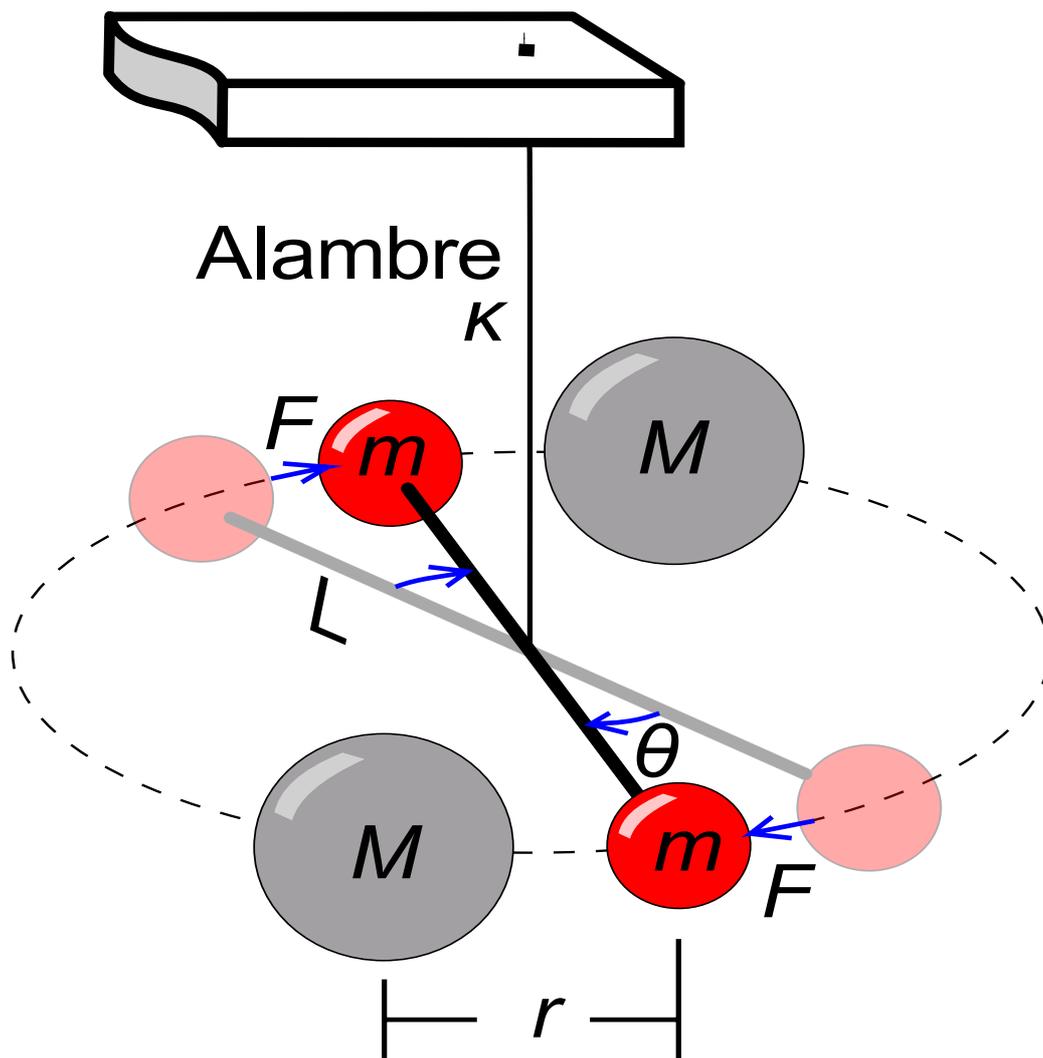
Hemos dicho que en el estanque la energía E se transportaba en cada onda circular de longitud $L=2\cdot(\pi)\cdot R$. Luego sobre una hoja longitud A la energía que recibe dicha hoja será $E\cdot A/L$, es decir $E\cdot A/2\cdot(\pi)\cdot R$. Como E y $2\cdot(\pi)$ son constantes podemos poner que esta influencia sobre la hoja es $K\cdot A/R$, proporcional al tamaño de la hoja A , e inversamente proporcional a la distancia R .

En el caso de la gravedad, llamando P a esta “cantidad de gravedad” constante producida por la masa, esta se distribuye en una superficie esférica de área $S=4\cdot(\pi)\cdot R^2$. Si suponemos que la “cantidad de gravedad” es proporcional a la masa M_1 que la crea, de la misma manera la amplitud de las ondas en el estanque es proporcional al tamaño de la manzana, tenemos que $P=M_1\cdot K$, como la superficie de la esfera es $S=4\cdot(\pi)\cdot R^2$, por unidad de superficie se obtiene $P/S=K_1\cdot M_1/4\cdot(\pi)\cdot R^2$. Poniendo $K_1/4\cdot(\pi)=G$, esta “cantidad de gravedad” por unidad de superficie es $G\cdot M_1/R^2$. Esta “cantidad de gravedad” por unidad de superficie es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Si suponemos ahora que la fuerza de la gravedad ejercida sobre una masa M_2 es proporcional a su masa, de la misma forma que en el estanque la acción ejercida sobre una hoja es proporcional a su superficie, tenemos que $F=G\cdot M_1\cdot M_2/R^2$.

Hemos deducido de modo muy sencillo la fórmula de la Gravitación Universal.

Es seguro que Newton no utilizó al cien por cien este razonamiento, pero es una forma fácil e intuitiva de entender la gravedad y como su efecto es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Una vez de haber deducido esta Ley de Gravitación, es necesario conocer el valor de G . Esto lo realizó Cavendish con su famosa balanza de torsión.



Esquema de la balanza de Cavendish.

Esquemáticamente consistía en dos bolas de masa elevada M y otras dos bolas más pequeñas de masa m . Midiendo el ángulo de giro del alambre se consigue calcular G , la constante de gravitación universal aplicando la Ley de gravitación que hemos deducido. Con esta balanza se mide la fuerza F y como sabemos que $F=G \cdot M \cdot m/r^2$, conociendo F , M , m y r , deducimos el valor de G :

El valor que se obtiene es de $G=6,66 \cdot 10^{-11}$, expresando la fuerza en newtons, la masa en Kg, y la distancia en m.

Este valor de G y la fórmula de gravitación sirve para calcular multitud de datos astronómicos.

Por ejemplo, vamos a calcular la masa de la Tierra. Sabemos que la aceleración de la gravedad en la superficie terrestre es de $9,82 \text{ m/s}^2$, fácil de medir con un metro y un cronómetro. Como sabemos, $F=M \cdot a$, es decir la fuerza de atracción ejercida sobre un kg. es, $F=1 \text{ kg} \cdot 9,82 \text{ m/s}^2=9,82 \text{ nw}$.

Aplicando la ley de gravitación y sabiendo que el radio de la Tierra es de 6.370 km . $9,82=G \cdot M_t \cdot 1/6.370.000^2$. La masa de la Tierra M_t que se obtiene de esta fórmula es, despejando $M_t=9,82 \cdot 6.370.000^2/6,66 \cdot 10^{-11}=5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$.

Podemos aprovechar ahora que tenemos este dato de la masa de la Tierra para calcular la distancia a la Luna, por ejemplo.

La Luna no es ninguna nave espacial que tenga un motor que le haga desplazarse en su órbita alrededor de la Tierra. La única fuerza que se ejerce sobre la Luna es la atracción gravitatoria de la Tierra. Las ejercidas por el Sol y sobre todo los planetas son despreciables debido a su lejanía.

Si no existiera esta fuerza la luna seguiría una trayectoria rectilínea, pero debido a esta atracción la trayectoria se curva y la Luna describe aproximadamente una circunferencia alrededor de la Tierra.

Sabemos que la fuerza de atracción es $F=G \cdot M_t \cdot M_l / D^2$ (1), siendo G la constante de gravitación, M_t la masa de la Tierra, M_l la de la Luna y D la distancia entre ambas.

Sabemos por otra parte que la fuerza actuante sobre una masa cuando recorre una circunferencia es la centrípeta y su valor es $F=M_l \cdot W^2 \cdot D$ (2), siendo W la velocidad angular. Igualando (1) y (2) y simplificando se obtiene $D^3=G \cdot M_t / W^2$. (3)

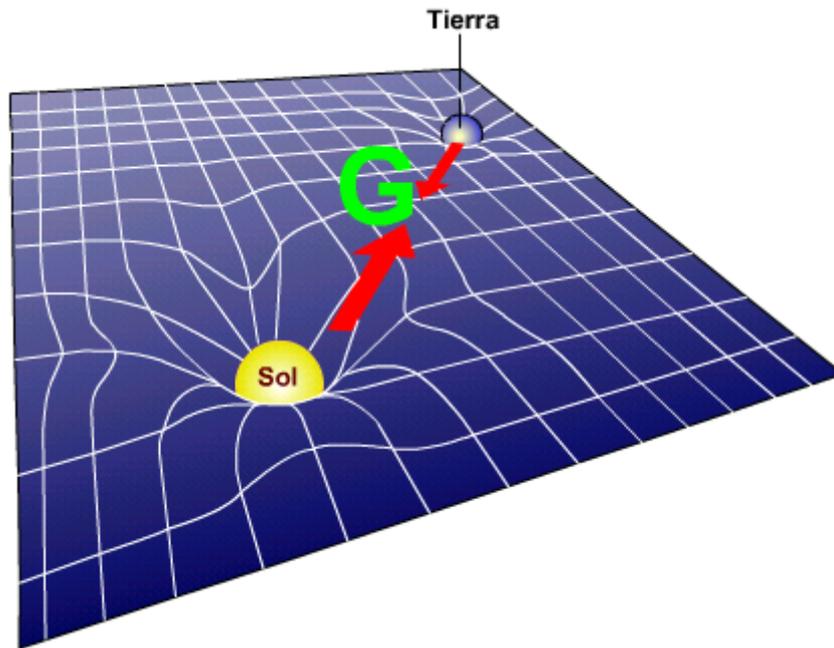
W es la velocidad angular, una vuelta cada 27,32 días, es decir $360^\circ=2(\pi)$ radianes en $27,32 \cdot 86.400=236.044.800$ segundos,

$W=2(\pi)/236.044.800$, sustituyendo estos valores en (3) se obtiene esta distancia $D=383.000$ km.

En el periódico del lunes 29.08.2022. refiriéndose a la Misión Artemisa 1, programa de la NASA para enviar una mujer negra a la Luna, se dice que nuestro satélite está a unos 384.000 km. Parece que en la NASA no andan muy descaminados en sus cálculos.

Como ha dicho el conocido escritor Juan José Millas en su programa radiofónico del 11 de septiembre de.2022, hasta ahora nadie se había acordado de que Apolo tenía una hermana gemela llamada Artemisa. A la luna solo se habían enviado hombres, pero ninguna mujer. Ha habido varias misiones Apolo, pero ninguna misión Artemisa hasta ahora.

Ya en los tiempos de Newton los físicos tenían grandes dudas sobre que se pudieran ejercer acciones instantáneas a distancia. Posteriormente con la Teoría de la Relatividad se acepta que la mayor velocidad alcanzable es la de la luz, luego según esto no existen acciones instantáneas a distancia. Además, esta teoría dice que no es que las masas se atraigan entre sí, sino que las masas definen la geometría del espacio tiempo haciéndolo no euclídeo. Las masas recorren curvas geodésicas como describe esquemáticamente la figura. La forma en que hemos deducido la Ley de gravitación Universal interpretando que esta fuerza se ejerce cuando la onda llega a la segunda masa, explica que la fuerza no se produce instantáneamente. Posiblemente estas ondas esféricas se desplazan a la velocidad de la luz.



Esquema representativo de la “curvatura” del espacio tiempo.

Todo esto no dice nada en contra de la Ley de Gravitación Universal, pues ya dijo Newton en su momento que las cosas sucedían “como si las masas se atrajeran” con un fuerza proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. No dijo que “se atraían”. Pero los movimientos de los astros se pueden estudiar mediante esta fórmula.

Hemos dicho que la Luna gira alrededor de la tierra, describiendo en cada vuelta una circunferencia de 360° .

Esta división de la circunferencia en 360° no es nada arbitraria, aunque en principio pueda parecer una cantidad extraña, distinta de las que estamos acostumbrados a utilizar en otras ocasiones, como pueden ser 100. 1.000 etc, pues utilizamos el sistema decimal. Aparte de esto también puede extrañar que cada grado se divida en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos.

Estas divisiones en 60 y 360 partes las establecieron los babilonios. Las razones son las siguientes: el número 60 tiene más divisores que cualquier otro número de su rango (2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 y 30) diez en total. Estos divisores se pueden encontrar “a tanteo”, o de forma más elegante desde el punto de vista matemático, descomponiendo 60 en factores primos y combinándolos de todas las formas posibles.

El 60 es la base del sistema de numeración babilónico, sistema sexagesimal, de la misma forma que actualmente se utiliza sobre todo el sistema de base 10, es decir el llamado decimal. $360=6\cdot 60$ tiene también multitud de divisores y además se acerca mucho al número de días que tarda el Sol en recorrer la circunferencia aparente sobre el fondo de las “estrellas fijas”, cada grado es aproximadamente el recorrido del Sol en un día sobre el fondo de estrellas.

De esta forma, con los 360° , una circunferencia se puede dividir de multitud de formas, en 2 semicírculos de 180° , en 3 sectores circulares de 120° , en 4 cuadrantes de 90° , en 5 sectores circulares de 72° , en seis de 60° , en 8 de 45° , etc. etc. así hasta en 22 formas distintas.

Relacionado con esto, también las horas se dividen en 60 minutos y estos en sesenta segundos, que como hemos dicho se pueden dividir de diez formas diferentes sin utilizar decimales.

El que el día se divida en $2 \cdot 12 = 24$ horas, 12 de día y 12 de noche, es debido a que el 12 se puede dividir por 2, 3, 4 y 6 sin decimales, y el 10 por ejemplo solo entre 2 y 5.

En el sistema de base 12 hay menos números fraccionarios que en el de 10. Es fácil organizar una docena de huevos agrupándolos de dos en dos, de tres en tres, de cuatro en cuatro y de seis en seis. Para organizar una decena solo hay dos maneras, de dos en dos y de cinco en cinco. Debido a eso todavía los huevos y otros productos se agrupan por docenas y el contar por docenas se ha usado hasta hace muy poco. Por ejemplo, una gruesa es $144 = 12 \cdot 12$, doce docenas. Hay matemáticos que dicen que en vez de utilizar el sistema decimal cuya base 10 es solo divisible por 2 y por 5, debería de utilizarse el sistema duodecimal, cuya base es divisible por 2, 3, 4 y 6, siendo 12 solo un poco mayor que 10.

Recordemos por ejemplo que los meses del año son 12, también eran 12 los apóstoles, asimismo son 12 los signos de zodiaco, las 12 tribus de Israel, los 12 hijos de Jacob, los 12 animales del calendario chino, los 12 trabajos de Hércules, los 12 hijos de Odín, un pie tiene 12 pulgadas, una libra tiene 12 onzas, y un largo etc. Todo esto proviene sobre todo de que a lo largo del año hay aproximadamente 12 lunaciones.

Como se ve, la astronomía tiene mucho que ver en todo esto. La medición del tiempo siempre ha tenido relación con los movimientos cuasi periódicos de los astros.

Anton del Campo.

Ingeniero Industrial.