

La ley de gravitación

*¿Qué hace la Gravedad
fuera de su cama a medianoche?*

William Shakespeare

El sistema que Newton erigió no hubiera tenido el impacto que tuvo, de no haber incluido su otro gran aporte a nuestra comprensión del mundo físico, su Ley de gravitación Universal.

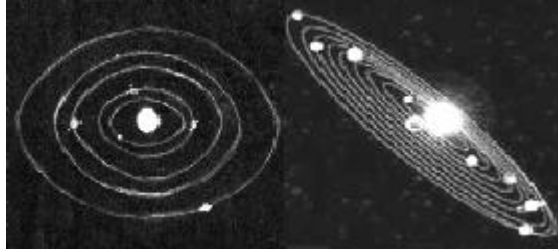
Recordemos que Galileo había sistematizado el conocimiento de su época acerca del movimiento de objetos en las cercanías de la superficie de la Tierra. En particular se sabía que un cuerpo que cae libremente tiene una aceleración constante, que no cambia a medida que se mueve (insistimos, cerca de la superficie terrestre) y que vale $g \cong 10m/seg^2$. También se sabía que la velocidad vertical aumenta proporcionalmente al tiempo transcurrido, mientras que la velocidad horizontal permanece constante. Por último, se conocía que la distancia que cae el móvil es proporcional al cuadrado del tiempo.

Por otra parte, Johannes Kepler había propuesto tres leyes a partir del análisis de las observaciones astronómicas del movimiento de planetas del sistema solar. Estas tres leyes de Kepler, son:

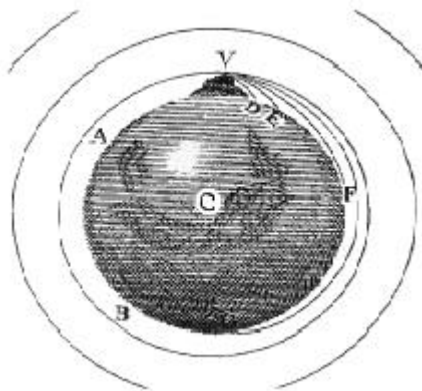
- La trayectoria que los planetas describen alrededor del sol, es una elipse. El sol se encuentra en uno de los dos focos de la elipse.
- La línea (imaginaria) que va del sol a un planeta, barre áreas iguales en tiempos iguales; es decir, que la velocidad a la que cambia el área, es constante.
- El eje mayor de la elipse elevada al cubo y dividida entre el período (lapso en dar una vuelta entera), es una misma constante para los diferentes planetas. Una manera diferente de decir esto es que la energía cinética de un planeta decrece como el inverso de su distancia al sol.

Kepler se lamentaría ocasionalmente más tarde de haber “poblado la astronomía con el estiércol de las elipses”, porque el simétrico y elegante círculo perdía el privilegio de representar el movimiento de los astros. En realidad estaba sentando las bases para el inminente desplazamiento del énfasis estético en la apreciación de la realidad: de las trayectorias (soluciones) a las ecuaciones básicas que gobiernan estas soluciones. Son las leyes fundamentales las que deben ser simétricas y elegantes. Pero aun no habían sido descubiertas.

Las leyes de Galileo daban buena cuenta del movimiento de proyectiles en la Tierra. Permitían responder a las preguntas pertinentes. Las de Kepler hacían lo propio en el sistema solar. La física terrestre tenía sus leyes y la celeste, las suyas ¿para qué más? Sucede que en la naturaleza misma de la ciencia, está el tratar de explicar la mayor diversidad de fenómenos apoyándose en el menor número de principios, y no morir en el intento.

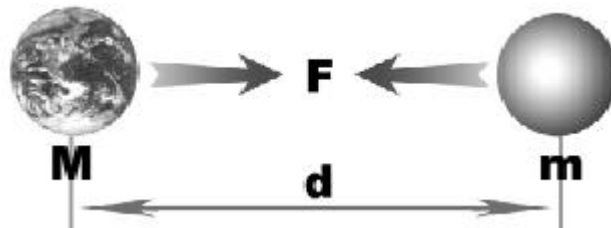


Newton con su formidable intuición supo “ver” las mismas causas en el movimiento de los cuerpos celestes que en el movimiento de los cuerpos terrestres, y con su enorme capacidad pudo construir un modelo teórico que contemplaba y explicaba ambas situaciones. No es difícil (hoy) reconstruir la lógica de su pensamiento apoyándose en un dibujo que él mismo hizo y que incluyó en muchas de las ediciones de sus obras. Al lanzar un proyectil desde una montaña, caerá al suelo describiendo la parábola que las leyes de Galileo prescriben. Imaginemos que lo vamos lanzando cada vez con mayor velocidad horizontal. Llegará un momento en que la curvatura de la Tierra compense la caída del proyectil que entonces dará una vuelta completa y llegará al punto inicial con la misma velocidad inicial y se transformará en un satélite. Como la luna. La clave para unir la física terrestre con la celeste estaba en la ley de gravitación.



Quizás el primer manuscrito de Newton en el que hay referencias precisas a dicha ley es de 1665, y a pesar de no tener título hoy se le conoce como *Sobre El Movimiento Circular*. Allí el joven Newton concluye a partir de la tercera ley de Kepler y de la expresión para la aceleración centrípeta, que la fuerza necesaria para mantener a un planeta en una órbita circular debe cambiar según el inverso del cuadrado de la distancia al centro de giro. Esta demostración (que incluimos más adelante en el Divertimento 1), es válida únicamente para órbitas circulares, pero en los Principia, Newton extendió la demostración al caso de curvas cónicas, es decir, elipses, hipérbolas y parábolas.

El producto final en términos del concepto ideal de partículas puntuales puede ser expresado como sigue. Dadas dos partículas puntuales de masas m y M , separadas por una distancia R , la fuerza gravitacional con la que se atraen es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, y está a lo largo de la línea que las une. En términos matemáticos y en notación actual, escribiríamos que $F \propto mM/R^2$.



Es importante señalar que aunque existían indicaciones previas de que la gravedad podía describirse con una ley del inverso del cuadrado de la distancia (un comportamiento probablemente sugerido por la manera como decrece la energía luminosa a medida

que nos alejamos de la fuente, que ya se sabía que era como el inverso del cuadrado de la distancia a la fuente), la ley cobra su verdadera importancia cuando se le junta con la segunda ley de movimiento de Newton, porque sólo así es posible calcular las órbitas o trayectorias de los cuerpos. Únicamente la pareja ley de gravitación y ley de movimiento tiene relevancia física y es empíricamente contrastable.

La ley de gravitación de Newton ilustra de manera impactante lo que señalábamos en párrafos anteriores. Newton logra captar la esencia del fenómeno gravitacional desechando factores irrelevantes y concentrándose en unos pocos importantes. Así, el campo gravitacional creado por el sol a su alrededor no depende de la naturaleza interna ni de la composición del sol, ni siquiera de su tamaño. Todo lo relevante está condensado en el valor de su masa (eventualmente el valor de la masa podría ser calculada en base a su estructura interna y composición, pero ese es otro asunto).

Conocida la masa del sol, la intensidad del campo gravitacional en un punto cualquiera del espacio depende únicamente de la distancia entre el punto considerado y el centro del sol.