San Fernando College TP
Asignatura: Física
Prof. Franco Cabezas Castro

$v_o B_o$ UTP

Guía II: Ley de gravitación universal

Segundo Semestre

Nombre:

Curso:

Fecha:

Objetivo: OA14 Explicar cualitativamente por medio de las leyes de Kepler y la de gravitación universal de Newton: -El origen de las mareas. -La formación y dinámica de estructuras cósmicas naturales, como el sistema solar y sus componentes, las estrellas y las galaxias. -El movimiento de estructuras artificiales como sondas, satélites y naves espaciales..

1. Ley de gravitación universal

Newton dio un paso importantísimo en el desarrollo de la ciencia al descubrir y enunciar su famosa ley de gravitación. Antes de él, Kepler había establecido las leyes que gobiernan el movimiento planetario, basándose en las observaciones de Tycho Brahe. Sin embargo, pese a la trascendencia de tales descubrimientos, las leyes de Kepler eran puramente descriptivas; esto es, sólo consignan cómo se mueven los planetas, sin explicar la causa de tal movimiento. Fue Newton quien encontró tal causa: una fuerza que depende del inverso del cuadrado de la distancia entre el Sol y el planeta. Dicha ley se generaliza para aplicarse a todos los cuerpos celestes, incluyendo la Tierra y todo lo que en ella se encuentra, razón por la que la conocemos como ley de gravitación universal, la cual dice que la interacción entre dos cuerpos de masas m_1 y m_2 genera una fuerza que es directamente proporcional al producto de los valores de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia d entre ellas. En forma matemática, la magnitud de la fuerza de interacción gravitacional es:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

Aquí, G es una constante de proporcionalidad que recibe el nombre de *constante de gravitación universal*, medida experimentalmente por Cavendish, cuyo valor es de

$$6,67 \cdot 10^{-11}\,\frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

En su época, esta ley dio cuenta de la explicación teórica de las leyes de Kepler y, si damos crédito a la famosa anécdota de la manzana, también hizo lo propio de manera inmediata con la caída de los cuerpos.

Lo más importante fue su poder predictivo. En 1846, basándose en la ley de gravitación, Leverrier calculó la posición y el tamaño de un nuevo planeta que debería existir para dar razón de las anomalías del movimiento de Urano; el descubrimiento de Neptuno, por Galle, el 23 de septiembre de 1846, de acuerdo con la predicción de Leverrier, fue una de las confirmaciones más espectaculares de la ley de gravitación.

Dado que la masa es una propiedad intrínseca de la materia, la ley anterior es válida para todo par de cuerpos materiales en el Universo. Lo mismo podemos calcular la fuerza de interacción entre una persona sentada en el cine y su vecino más próximo, que la que existe entre el Sol y la Tierra.

A la fuerza expresada en la ecuación anterior se le denomina fuerza gravitacional o simplemente gravedad. Esto es, la gravedad es una fuerza de acción a distancia, por lo que expresiones como "fuerza de gravedad" son semejantes a pleonasmos en física.

1.1. Preguntas propuestas

1. Una manzana cae desde la rama de un manzano. Indudablemente, la interacción gravitacional es la que hace que ocurra este fenómeno. Si la gravedad terrestre es la acción, ¿cuál es la reacción?
2. ¿Cuál es el alcance de la gravedad terrestre? Esto es, ¿hasta dónde llega su influencia?
3. ¿Cuáles son las unidades que debe tener la constante de gravitación universal en el sistema internacional de unidades?

De la ecuación para la gravedad, es posible aislar unos términos para definir una cantidad, para la que utilizaremos el símbolo g como:

$$g = G\frac{m}{d^2}$$

la cual recibe el nombre de *intensidad del campo gravitacional*. De momento, sólo consideraremos esto como un nombre. Puede demostrarse que las unidades de g son unidades de aceleración, por lo que también se le conoce como *aceleración gravitacional*, término que ya hemos utilizado. El valor estándar medido que se utiliza en general es el valor al nivel del mar en el ecuador, $g = 9,81\frac{m}{s^2}$. Este valor es sólo al nivel del mar; para cualquiera otra posición sobre tal nivel el valor es diferente, pero para diferencias de alturas relativamente pequeñas, digamos de hasta 200 metros, lo consideramos constante. Por ejemplo, para la altura a la que usualmente se encuentra un trasbordador espacial en órbita, que es de 350 km, el valor de la aceleración gravitacional es aproximadamente $8,83\frac{m}{s^2}$

Si en la expresión para g consideramos que la masa m_1 se refiere a la masa de la Tierra, podemos escribir la ley de gravitación universal en forma compacta así:

$$F = mg$$

Donde reemplazamos m_2 por m, la cual representa el valor de la masa del objeto al que se le aplica la gravedad, que se encuentra en las inmediaciones de la superficie terrestre (o en su interior).

2. Ejemplos

1. La gravedad es universal y siempre de atracción. Entonces, ¿cuál es el valor de la fuerza gravitacional que hay entre una pareja de novios, cuya distancia de separación es de un metro si ella tiene una masa de 55 kg y el de 70 kg? ¿Es posible decir que en este contexto que ella lo atrae a le más que el a ella? ¿Qué ocurre si se acercan?

   Solución:

   Evaluamos la magnitud de la fuerza gravitacional sustituyendo los valores:

   $$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2} = (6,67 \cdot 10^{-11})\frac{(55)(70)}{1^2} = 2,5 \cdot 10^{-7}N$$

   una fuerza demasiado pequeña como para sentir su efecto de fuerza de atracción. De acuerdo con la ley de acción-reacción, las fuerzas de uno sobre el otro son de igual magnitud, es decir, se atraen con la misma intensidad. Si ellos se acercan, al disminuir la distancia, el valor de la fuerza aumenta, lo que equivale a que se atraen más.

2. ¿Cuál es el valor de la fuerza gravitacional entre la Tierra, de masa $6 \cdot 10^{24}kg$ y el Sol, de masa $2 \cdot 10^{30}kg$, si la distnacia de separación Tierra-Sol es , en promedio, de $1,5 \cdot 10^{8}km$?

   Solución:

   $$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2} = (6,67 \cdot 10^{-11})\frac{(6 \cdot 10^{24})(2 \cdot 10^{30})}{(1{,}5 \cdot 10^{11})^2} = 3,5 \cdot 10^{22}N$$

3. Un satélite de 2000 kg, empleado para telecomunicación celular, orbita alrededor de la Tierra a una altura de 781 km sobre la superficie terrestre. ¿Qué magnitud de fuerza gravitacional aplica el satélite a la Tierra?

   Solución:

   La fuerza que ejerce el satélite sobre la Tierra es de la misma magnitud que la ejercida por la Tierra sobre el satélite, el radio terrestre es de $6,4 \cdot 10^{6}m$ y, como se encuentra a una altura de $781000\,m$, la distancia total es la suma de ambas:

   $$d = (6,4 \cdot 10^{6}) + (0,78 \cdot 10^{6}) = 7,18 \cdot 10^{6}\,m$$

   Al sustituir en la ley de gravitación, obtenemos:

   $$F = (6,67 \cdot 10^{-11})\frac{(2000)(6 \cdot 10^{24})}{(7,18 \cdot 10^{6})^2} = 1,5 \cdot 10^{4}N$$