

La fuerza de gravedad es una de las interacciones básicas de la naturaleza.

Como está muy presente en nuestra experiencia conviene estudiarla un poco más a fondo.

Newton descubrió en 1665 la llamada **Ley de Gravitación Universal**. Según esta:

**"Los cuerpos se atraen con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa."**

La expresión matemática de esta ley es:

$$F = G \frac{M m}{d^2}$$

Masas de los cuerpos en kg

Distancia entre los cuerpos en metros. Si son cuerpos grandes **la distancia se toma entre los centros**.

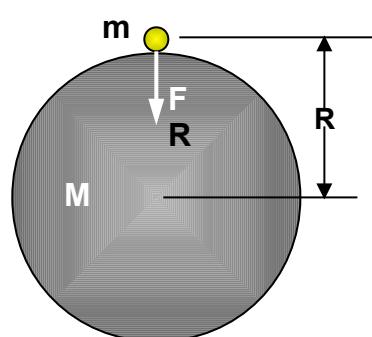
**La fuerza de gravedad es siempre atractiva.**

Si se consideran cuerpos **grandes la fuerza apunta hacia el centro de los mismos**.

**Constante de Gravitación Universal. Tiene el mismo valor para todo el Universo.**

Para el S.I.:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$

Combinando la Ley de Gravitación con la segunda ley ( $F = m a$ ), podemos deducir cuál será la aceleración con que se mueve un cuerpo situado en la superficie de un planeta sometido a la acción de la fuerza gravitatoria (aceleración de caída):



$$F = m a ; F = G \frac{m M}{R^2}$$

$$m a = G \frac{m M}{R^2} ; a = g = G \frac{M}{R^2}$$

**El valor de la aceleración, no depende de la masa del cuerpo, sino de datos propios del planeta que consideremos tales como su masa y su radio.**

**Llamamos peso a la fuerza con que los cuerpos son atraídos por la Tierra (u otro planeta)**

El peso de un cuerpo vale:

$$P = m g \text{ y se mide en newtons (N)}$$

Para la Tierra  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Para Marte  $g = 3,7 \text{ m/s}^2$

**Diferencia claramente entre masa y peso**

La masa es una propiedad del cuerpo que depende de la cantidad de materia; el peso, depende del valor de  $g$ . Como este es distinto para cada planeta el peso de un cuerpo, o fuerza con que es atraído, varía de un planeta a otro. Un cuerpo de 1 kg de masa tendría la misma masa aquí y en Marte, pero su peso sería de 10 N en la Tierra y de 3,7 N en Marte. Marte lo atrae más débilmente.

**Los conceptos de masa y peso se confunden en el lenguaje normal.**

**Ejemplo 1.**

Calcular la fuerza con que se atraen dos masas de 100 y 1000 kg situadas a una distancia de 20 m.

**Solución:**

$$F = G \frac{mM}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{100 \text{ kg} \cdot 1000 \text{ kg}}{20^2 \text{ m}^2} = 1,67 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

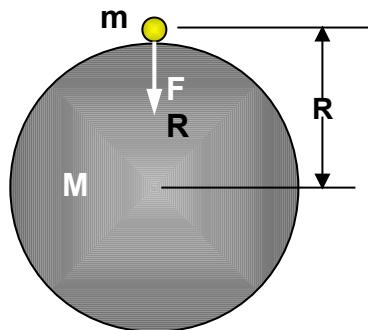
Como se puede observar debido a la pequeñez de la constante de gravitación, la fuerza de atracción es muy débil, prácticamente inapreciable.

**Ejemplo 2.**

Calcular la fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo de 50 kg situado en su superficie.

Datos:  $M_{\text{Tierra}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$ ;  $R_{\text{Tierra}} = 6400 \text{ km}$

**Solución:**



Como se puede apreciar en la figura, siempre que la altura a la que se encuentre el cuerpo sea despreciable frente al valor del radio de la Tierra, se puede tomar  $d = R_{\text{Tierra}}$

$$F = G \frac{mM}{R^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{50 \text{ kg} \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6,4 \cdot 10^6)^2 \text{ m}^2} = 488,5 \text{ N}$$

En este caso, y debido a que la masa de la Tierra es muy grande, la fuerza de atracción es considerable. Observar que, en realidad, la ecuación que da el valor de la fuerza de gravedad se puede escribir separando la masa del cuerpo de los datos propios del planeta (en este caso la Tierra) de esta manera:

$$F = m \left( G \frac{M}{R^2} \right) = 50 \text{ kg} \left( 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{6 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6,4 \cdot 10^6)^2 \text{ m}^2} \right) = 50 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 488,5 \text{ N}$$

El término encerrado entre paréntesis, tiene un valor fijo e igual a **9,8 m/s<sup>2</sup>**, que es el valor de la aceleración de la gravedad o, también llamado, valor del campo gravitatorio.

De aquí que la fuerza con que un cuerpo es atraído por la Tierra (u otro planeta), **peso**, puede escribirse de forma más sencilla:  $P = m g$ , donde  $g$  es el valor de la aceleración de la gravedad:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

A partir de esta ecuación podemos calcular el valor de  $g$  para cualquier cuerpo celeste si conocemos sus datos. Por ejemplo para Marte:

$$R_{\text{Marte}} = 3400 \text{ km} \quad M_{\text{Marte}} = 6,5 \cdot 10^{23} \text{ kg} \quad g_{\text{Marte}} = G \frac{M}{R^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{6,5 \cdot 10^{23} \text{ kg}}{(3,4 \cdot 10^6)^2 \text{ m}^2} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Ejemplo 3**

Calcular el valor de la aceleración de la gravedad en Mercurio sabiendo que tiene una masa de 3,30  $10^{23}$  kg y un radio de 2440 km.

**Solución**

El valor de la aceleración de la gravedad en un planeta depende de la masa y radio del planeta, y se puede calcular a partir de la expresión (ver más arriba):

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

Sustituyendo los datos y operando:

$$g = G \frac{M}{R^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \frac{3,30 \cdot 10^{23} \text{kg}}{(2,44 \cdot 10^6)^2 \text{m}^2} = 3,70 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Ejemplo 4**

El valor de la gravedad varía si nos alejamos de la superficie terrestre.

Calcular a qué altura deberíamos situarnos de la superficie de la Tierra para que  $g = 5 \text{ m/s}^2$

DATOS: Considerar  $g = 10 \text{ m/s}^2$  como valor en la superficie.

Masa de la Tierra:  $6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ . Radio de la Tierra: 6400 km.

**Solución:**

El valor de la gravedad para un punto situado a una altura  $h$  sobre la superficie terrestre viene dado por:

$$g = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

Despejamos  $(R+h)^2$  y, posteriormente restamos el valor de  $R$  (en km) según se puede ver a continuación:

$$(R+h)^2 = G \frac{M}{g} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \frac{6,0 \cdot 10^{24} \text{kg}}{5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 8,0 \cdot 10^{13} \text{m}^2$$

$$(R+h)^2 = 8,0 \cdot 10^{13} \text{m}^2 ; R+h = \sqrt{8,0 \cdot 10^{13} \text{m}^2} = 8,94 \cdot 10^6 \text{m} = 8,94 \cdot 10^3 \text{km} = 8940 \text{km}$$

$$R+h = 8940 \text{km} ; h = 8940 - R ; h = 8940 \text{km} - 6400 \text{km} = 2540 \text{km}$$

**Cañón de Newton**

El propio Newton llegó a la conclusión de que **las órbitas podían ser consideradas como verdaderas "caídas libres" del objeto que orbita**.

En la figura se muestra un hipotético cañón que dispara una bala. Esta describe una parábola debido a la acción de la fuerza de gravedad.

Las trayectorias A y B representan paráolas que acaban en la superficie de la Tierra. Sin embargo, si aumentamos suficientemente la velocidad con la que se dispara, llegará un momento en que la trayectoria no intersectará la superficie terrestre. Como además el objeto está sometido a la fuerza de gravedad (que apunta siempre hacia el centro del planeta), su trayectoria se curvará convirtiéndose en un satélite. **Continúa "cayendo" sobre el planeta en una caída sin fin**.

En función de la velocidad dada inicialmente la órbita puede ser una circunferencia, una elipse o, incluso, convertirse en una trayectoria abierta (trayectoria E) en la que el objeto se aleja indefinidamente del planeta venciendo la atracción gravitatoria de este.

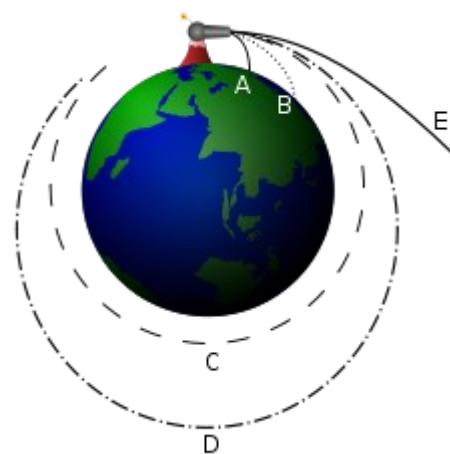


Figura: Wikipedia

La fuerza de gravedad permite colocar satélites en órbita alrededor de nuestro planeta.

Una clasificación de los satélites se puede hacer considerando cuál es la altura de su órbita sobre la superficie terrestre:

- **Los satélites LEO** (Low Earth Orbit) son los de órbita más baja.

Están situados entre los 250 km y 1500 km y se usan para la observación terrestre (labores de rescate y vigilancia, seguimiento atmosférico), con fines de experimentación científica (la ISS está situada a unos 350 km), para la observación astronómica (telescopio Hubble, 600 km) o para aplicaciones de comunicación.

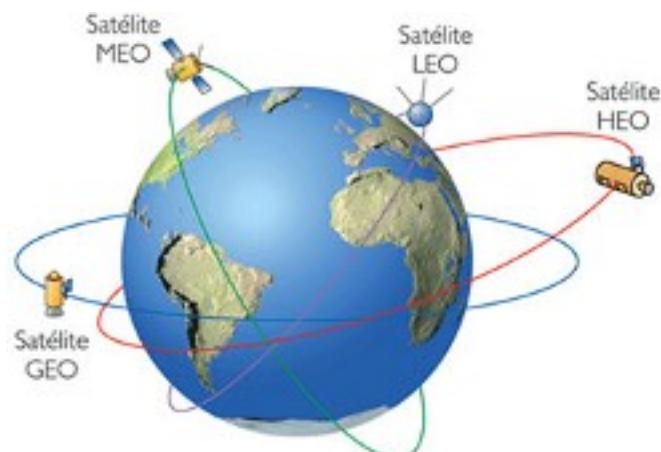


Imagen: <http://ftgrupovi.blogspot.com.es>

- **Los satélites MEO** (Medium Earth Orbit) tiene una altitud media, entre 10 000 y 30 000 km. En estas órbitas se sitúan los satélites GPS (Global Positioning System).

El posicionamiento GPS utiliza una red de 24 satélites distribuidos en seis órbitas distintas (seis satélites por órbita) situadas a unos 20 000 km de altura y que describen dos órbitas diarias alrededor de la Tierra

La posición de un punto sobre la superficie terrestre se localiza determinando la distancia a la que se encuentran al menos cuatro satélites, lo que se logra midiendo con gran precisión lo que tarda en llegar una señal lanzada desde cada uno de ellos.



Imagen, captura de pantalla de: <http://bit.ly/1NNaDOS>

Para más información ver el vídeo: <http://bit.ly/1Mma3uB>

- **Los satélites GEO** (Geostationary) están situados a unos 36 000 km, giran en el plano del ecuador y con el mismo periodo que el de rotación de la Tierra, por lo que permanecen siempre sobre el mismo punto.

Se utilizan para emisiones de televisión y de telefonía y para la previsión meteorológica.

El **Meteosat** está situado en esta órbita y suministra información metereológica de Europa y África. Los datos se toman a través de un barrido, línea por línea, hasta completar una imagen.



Imagen del Meteosat

Fuente: <http://www.meteosat.com/>

- **Los satélites HEO** (Highly Elliptical Orbit, órbitas muy elípticas) tienen órbitas muy elípticas. Esto supone que alcanzan distancias mayores incluso que los GEO en el punto más alejado de su órbita. A menudo se utilizan para cartografiar la superficie de la Tierra.