

En la figura 10 se observa que al alejarse del centro de la Tierra, el peso de un objeto disminuye con el inverso del cuadrado de la distancia. Si el objeto está en la superficie de la Tierra su peso es  $w$ , si su posición es de  $2r$ , a partir del centro de la Tierra, su peso disminuye a la cuarta parte del peso en la superficie ( $1/4 w$ ); si el objeto se coloca en un punto cuya posición sea de tres veces el radio ( $3r$ ) a partir del centro de la Tierra, su peso es el de un noveno del peso en la superficie de la Tierra ( $1/9 w$ ). A medida que la distancia al centro de la Tierra aumenta, el peso del objeto va disminuyendo, pero nunca es igual a cero.

Durante las coberturas que los noticieros de televisión realizan de los viajes espaciales, con frecuencia se nos muestran imágenes de astronautas flotando libremente en un estado llamado usualmente "ingravidez" (sin gravedad) no obstante como ya sabemos los astronautas no están del todo carentes de peso, pero este fenómeno se explica si consideramos que para un observador externo los astronautas en órbita están en caída libre hacia el centro de la tierra y su altitud se mantiene en virtud de que se ha escogido su velocidad tangencial de manera que la gravedad provea la aceleración centrípeta necesaria para que describan un movimiento circular uniforme. Además en este caso no existe un suelo en contacto con ellos y que los empuje hacia arriba.

El empuje del suelo hacia arriba constituye nuestra percepción psicológica del peso, por ejemplo al flotar en el agua percibimos menos nuestro propio peso, pero percibimos con plenitud nuestra masa si repentinamente tratamos de acelerar nadando en el agua. La fuerza gravitatoria como se mencionó antes actúa sobre el cuerpo en cuestión, mientras que el peso lo hace sobre la superficie de apoyo (suelo) o sobre el medio del que pende (cuerda o resorte). Si el cuerpo permanece en reposo o se mueve sin aceleración, entonces la fuerza gravitatoria y el peso son iguales en magnitud, pero al moverse el cuerpo aceleradamente puede ocurrir que estas fuerzas no sean iguales o que en algunos casos el peso no exista ( $W = 0$ ).

El peso de un cuerpo varía entonces de acuerdo a su posición con respecto al centro de la tierra, debido a las variaciones que existen en la magnitud de la aceleración de la gravedad. Para los fines del presente curso, consideraremos estas variaciones despreciables en la mayoría de las aplicaciones prácticas, ya que las situaciones que analizaremos, implican objetos que se encuentran en la superficie terrestre o muy próximos a ella.

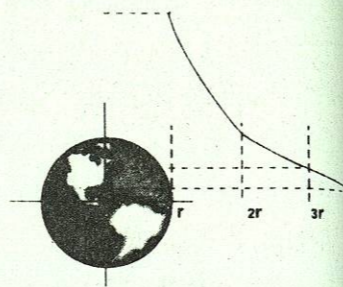


Fig. 10. El peso de un cuerpo en Tierra varía con el inverso del cuadrado de la distancia al centro de ella.

### C. EL CAMPO GRAVITACIONAL

Todos los objetos por estar constituidos de materia, ejercen una fuerza de atracción gravitacional sobre los cuerpos que se encuentran a su alrededor, como lo establece la Ley de la Gravitación Universal. Esta fuerza gravitacional produce un efecto a distancia, ya que los cuerpos interactúan aún cuando no están en contacto; este efecto es una aceleración. Para describir el efecto de la fuerza que actúa a distancia, se utiliza el concepto de campo, el cual se desarrolló primero en el estudio de las fuerzas electromagnéticas y posteriormente se aplicó al estudio de otras fuerzas de acción a distancia. El campo gravitacional describe el efecto que un objeto experimenta al ser colocado en determinada posición, con respecto a la masa que produce dicho campo. Toda masa origina un campo gravitacional a su alrededor, el cual disminuye con la distancia. Este campo depende de la masa que lo produce y de la posición en que se mida. Nuestro planeta produce un campo gravitacional a su alrededor, ejerciendo una fuerza de atracción sobre todos los objetos, la cual varía con la distancia a su centro, pero siempre en la dirección radial y hacia su centro. Como ya hemos visto, la fuerza de atracción gravitacional que ejerce la Tierra sobre una masa ( $m$ ), colocada a una distancia ( $r$ ) de su centro, viene dada por

$$F = G \frac{m m_t}{r^2}$$

esta fuerza de atracción gravitacional representa el peso ( $w$ ) del cuerpo de masa ( $m$ ), por lo que la aceleración de la gravedad viene dada por

$$w = F$$

$$mg = F$$

$$g = \frac{F}{m}$$

$$g = \frac{G \frac{m m_t}{r^2}}{m}$$

$$g = G \frac{m_t}{r^2}$$

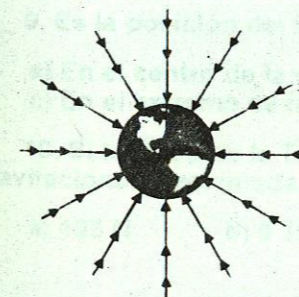


Fig. 11. Representación gráfica del campo gravitacional de la Tierra.

Como se podrá observar, la aceleración  $g$  está en función de la distancia al centro de la Tierra y disminuye con el cuadrado de la distancia. El efecto

de la fuerza de gravedad que actúa sobre un cuerpo, o sea, la aceleración de la gravedad es independiente de la masa del objeto que se coloca en el campo gravitacional. A cada punto del espacio, a rededor de la Tierra, se le puede asociar un vector  $g$ , el cual representa la aceleración que experimentaría un objeto al colocarse en ese punto. La dirección del vector  $g$  siempre es hacia el centro de la Tierra y su magnitud disminuye con el cuadrado de la distancia al centro de la Tierra.

En la figura 11 se representa el campo gravitacional alrededor de la Tierra. Los vectores que aparecen en la gráfica representan el valor de ( $g$ ) en un punto determinado en dirección radial y disminuyen con la distancia. En general, el campo gravitacional en un punto determinado es igual a la fuerza gravitacional en ese punto por unidad de masa.

### EL CONCEPTO DE GRAVEDAD DE EINSTEIN

Albert Einstein consideró a la gravedad como una característica del espacio que está alrededor de una masa y no como una propiedad de la masa en sí. De acuerdo con esto, el espacio cambia de alguna manera, debido a la presencia de una masa.

Para comprender mejor el efecto de la masa sobre el espacio, representaremos el espacio mediante una tela elástica grande, en cuyo centro colocamos una pelota grande. Si hacemos rodar una canica lejos de la pelota, describirá una trayectoria rectilínea; si por el contrario, la canica pasa cerca de la pelota, describirá una trayectoria curva. Si la trayectoria es cerrada, la canica orbitará la pelota, describiendo una circunferencia o una elipse. Desde el punto de vista newtoniano, la desviación de la trayectoria rectilínea se debe a que la pelota ejerce una fuerza de atracción gravitacional sobre la canica, en cambio, desde la perspectiva einsteniana, la desviación de la trayectoria es debido a la deformación del espacio por la presencia de las masas.

Esta teoría, del efecto de la masa sobre el espacio, concebida por Einstein, se conoce como la Teoría General de la Relatividad. Una de sus predicciones más importantes, es la de que la luz se desvía de su trayectoria rectilínea al pasar cerca de un cuerpo de gran masa. Este efecto ha sido comprobado experimentalmente, en investigaciones astronómicas, al observar el comportamiento de la luz emitida por estrellas lejanas. El caso extremo de este efecto, es cuando un cuerpo celeste emite luz y ésta es desviada nuevamente hacia él. A los cuerpos celestes con esta característica se les conoce como hoyos negros, los cuales a pesar de no poder ser observados, se detectan por los efectos que producen sobre los cuerpos celestes a su alrededor.

### AUTOEVALUACIÓN

I. Lee cuidadosamente cada enunciado y escribe en el guión de la izquierda la letra correspondiente a la respuesta correcta.

1. El tipo de trayectoria que describe un planeta en el recorrido de su órbita es...
 

|                |             |
|----------------|-------------|
| a) Parabólica  | b) Elíptica |
| c) Línea recta | d) Circular |
2. La magnitud de la fuerza gravitacional entre dos cuerpos es directamente proporcional a...
 

|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| a) La distancia entre ellos | b) El volumen que ocupan |
| c) El producto de las masas | d) Sus velocidades       |
3. Es la fuerza que mantiene a la Tierra en su órbita alrededor del Sol.
 

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| a) Fuerza gravitacional | b) Fuerza de reacción |
| c) Fuerza media         | d) Fuerza de fricción |
4. La fuerza gravitacional que la Tierra ejerce sobre todos los objetos es
 

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| a) La masa del objeto    | b) El peso del objeto    |
| c) El volumen del objeto | d) La inercia del objeto |
5. La magnitud de la fuerza gravitacional es inversamente proporcional
 

|  |
|--|
| a) Al cuadrado de la distancia entre ellos |
| b) Al volumen que ocupan las masas         |
| c) Al producto de sus velocidades          |
| d) Al producto de sus masas                |
6. Es la región de influencia que ejerce todo cuerpo por el hecho de poseer una masa determinada.
 

|                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| a) Campo eléctrico | b) Campo magnético     |
| c) Campo inercial  | d) Campo gravitacional |
7. El valor de la constante gravitacional en el Sistema Internacional de unidades (SI), es:
 

|   |  |
|---|--|
| a) $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ | b) $0.667 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ |
| c) $667 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$  | d) $66.7 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$  |
8. Afirma que: "Una línea imaginaria trazada desde un planeta hasta el Sol, barre áreas iguales en tiempos iguales".
 

|                          |                                    |
|--------------------------|------------------------------------|
| a) Primera Ley de Kepler | b) Segunda Ley de Kepler           |
| c) Tercera Ley de Kepler | d) Ley de la Gravitación Universal |
9. Es la posición del Sol en las órbitas que describen los planetas.
 

|                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| a) En el centro de la órbita  | b) En uno de los focos de la elipse |
| c) En el extremo de la órbita | d) En la periferia de la órbita     |
10. Si la masa de la Tierra es de  $6 \times 10^{24} \text{ kg}$  y su radio es de 6,400 kilómetros. La atracción gravitacional aproximada sobre una masa de 2 kilogramos colocada sobre su superficie, es
 

|          |            |           |           |
|----------|------------|-----------|-----------|
| a) 195 N | b) 0.195 N | c) 19.5 N | d) 1.95 N |
|----------|------------|-----------|-----------|

## II. Describe brevemente lo que enseguida se te plantea.

a) Primera Ley de Kepler.

b) Tercera Ley de Kepler.

c) Ley de la Gravitación Universal.

d) El concepto de gravedad, según Albert Einstein.

## PROBLEMAS DE GRAVITACIÓN

1. Utiliza los siguientes datos para determinar la fuerza gravitacional entre Júpiter y el Sol.  
 $m_1 = 1.98 \times 10^{30}$  kg (masa del Sol).  
 $m_2 = 18 \times 10^{26}$  kg (masa de Júpiter).  
 $r = 7.8 \times 10^{11}$  m (distancia entre Júpiter y el Sol)
2. Dos satélites de igual masa son puestos en órbita, de forma que sus centros están separados 20 metros. Si la fuerza gravitacional entre ellos es de  $2.4 \times 10^{-7}$  N. ¿Cuál es la masa de los satélites?
3. Un satélite se encuentra en una órbita circular estable, a una altura de 520 kilómetros sobre la superficie terrestre.  
a) ¿Cuál es la rapidez orbital tangencial del satélite?  
b) ¿Cuál es su período?
4. La masa de la Tierra es  $6 \times 10^{24}$  kg, cuando los centros de la Tierra y la Luna están separados  $3 \times 10^8$  m, la fuerza gravitacional entre ellas es de  $1.9 \times 10^{20}$  N. Determina la masa de la Luna.
5. ¿A qué distancia deben estar separados dos cuerpos, uno de 1,000 kilogramos y el otro de 2,000 kilogramos, si la fuerza de atracción entre ellos es de  $1.78 \times 10^{-3}$  N

## UNIDAD V TRABAJO, ENERGÍA Y POTENCIA.

### TRABAJO

En la vida cotidiana la palabra trabajo se refiere a cualquier actividad que represente un esfuerzo físico o mental. En Física se considera el concepto de trabajo en un sentido más técnico, con la intención de medirlo o calcularlo. Se realiza un trabajo cuando subimos una escalera, destapamos un refresco, movemos una silla, levantamos una caja. En todos estos ejemplos hay algo en común y es el hecho de que en ellos se aplica una fuerza para mover un objeto a lo largo de un determinado desplazamiento. Es decir, **una fuerza que actúa sobre un objeto realiza un trabajo cuando el objeto se mueve en una determinada dirección.**

El siguiente estudio del trabajo lo haremos considerando el movimiento en una dimensión y bajo la acción de una fuerza constante, tomando en cuenta lo anterior, el trabajo efectuado sobre un cuerpo se puede definir como:

El trabajo  $W$  realizado por una fuerza constante es proporcional al producto de la magnitud de la fuerza  $F$  por la magnitud del desplazamiento  $s$  a través del cual actúa la fuerza por el **coseno** del ángulo ( $\theta$ ) entre la fuerza y el desplazamiento.  $W = F s \cos(\theta)$  (1)

Aunque el desplazamiento y la fuerza son cantidades vectoriales, el trabajo es una cantidad escalar. Se puede analizar al producto  $s \cos(\theta)$  como la componente del desplazamiento en la dirección de la fuerza  $F$ , o bien, el producto  $F \cos(\theta)$  como la componente de la fuerza en la dirección de desplazamiento. Esto sugiere que el trabajo puede calcularse de dos maneras distintas, que dan el mismo resultado. En nuestro estudio utilizaremos primeramente la ecuación (1) y en el otro caso la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento.