BLOQUE I:

INTERACCIÓN GRAVITATORIA

"Solo somos una raza de primates en un planeta menor de una estrella ordinaria, pero podemos entender el universo"
-Stephen Hawking"

"Cada día sabemos más y entendemos menos"
-Albert Einstein-

Introducción

La vida diaria está completamente marcada por fenómenos astronómicos: la sucesión del día y la noche, las estaciones del año, la posición del Sol y la Luna. Por lo mismo, desde la más remota antigüedad se han registrado las características de aquellos fenómenos y se han hecho modelos que intentan explicar el movimiento de la Tierra, el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas. Con el desarrollo del ámbito científico, desde la época de Galileo Galilei en adelante, se ha podido comprender en profundidad, primero el movimiento de los cuerpos celestes y luego las leyes físicas que los rigen.

Por ejemplo, en la imagen vemos un satélite en caída libre alrededor de la Tierra a miles de metros por segundo, que se mantiene en órbita por la fuerza centrípeta proporcionada por la gravedad. Este movimiento rotatorio, combinado con la ley de Newton de gravitación universal y sus leyes de movimiento, pueden explicar ciertos hechos relacionados con los viajes espaciales y el movimiento de satélites, como dónde colocar un satélite de manera que mantenga una posición fija con respecto a la Tierra. La generalización de la energía potencial gravitacional y la conservación de la energía ofrece una fácil explicación para tales hechos, como la velocidad a la que se alcanza el escape planetario. Finalmente, en este tema se presentan las tres leyes de Kepler del movimiento planetario, a partir del enfoque newtoniano de la gravedad.

LECCIÓN 1: GRAVITACIÓN UNIVERSAL

1) Ley de gravitación de Newton

En 1687 Newton publicó su **Ley de la Gravitación Universal**, en ella expuso que la atracción gravitatoria está en función de la masa de los cuerpos y de la distancia entre ellos. Es decir, cuanto mayor masa tenga un cuerpo mayor será la magnitud de la fuerza con que atraerá a los demás cuerpos. Debido a ello, un hombre tiene una menor magnitud de peso en la Luna que en la Tierra, pues la masa de la Tierra es mayor que la de la Luna y, por tanto, también será mayor la magnitud de su fuerza gravitatoria.

Dos cuerpos se atraen con una fuerza gravitatoria mayor a medida que disminuye la distancia existente entre ellos.

La Ley de Gravitación Universal se enuncia de la siguiente manera:
"Dos cuerpos cualesquiera se atraen con una fuerza cuya magnitud es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa."

Se expresa como:

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Donde:
F_g = magnitud de la fuerza gravitatoria en newtons (N)
G = constante de gravitación universal cuya magnitud en el Sistema Internacional es **G= 6.67×10⁻¹¹ Nm²/kg²**
m_1 y m_2 = masa de los cuerpos en kilogramos (kg)
r = distancia que hay entre los centros de gravedad de ambos cuerpos en metros (m). También puede ser **d**

NOTA. Cabe señalar que la fuerza de atracción entre dos cuerpos de poca masa es muy pequeña, razón por la cual no es observable ningún efecto al acercar dos cuerpos de masa no muy grande. No sucede esto con la atracción de la Tierra sobre los cuerpos que están sobre su superficie o cerca de ella, pues por su gran masa los atrae hacia su centro con una gran fuerza gravitacional.

ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA

Recordemos que la energía potencial asociada con un objeto se puede calcular con la ecuación $E_P = mgh$, donde h es la altura del objeto. Esta ecuación, sin embargo, es válida sólo cuando el objeto está cerca de la superficie de la Tierra. Para objetos a grandes alturas, como los satélites, debe recurrirse a alguna alternativa porque g varía con la distancia a la superficie. La **energía potencial gravitacional** asociada con un objeto de masa m a una distancia r del centro de la Tierra es:

$$E_P = -G \cdot \frac{M \cdot m}{r}$$

Unidades SI: Joules (J)

VELOCIDAD DE ESCAPE

Si un objeto se lanza hacia arriba desde la superficie terrestre con una velocidad suficientemente grande, podría internarse en el espacio exterior y no regresar. A esta rapidez se le conoce como **velocidad de escape**. Se calcula mediante:

$$V_{esc} = \sqrt{\frac{2GM_T}{R_T}}$$

Unidades SI: Km/s

La velocidad de escape para la Tierra es aproximadamente de 11.2 km/s o bien cerca de 25 000 min/h. Observa que la expresión para V_{esc} no depende de la masa del objeto lanzado desde la Tierra, así que una nave espacial tiene la misma velocidad de escape que una molécula.

Si $E_C > E_P$ ➔ El satélite ESCAPA de su órbita (se sale)
Si $E_C = E_P$ ➔ El satélite ESCAPA de su órbita (se sale)
Si $E_C < E_P$ ➔ El satélite NO escapa de su órbita. Sigue su trayectoria orbital.

2) CAMPO GRAVITATORIO

Llamamos campo gravitatorio a la ***perturbación que un cuerpo produce en el espacio que lo rodea por el hecho de tener masa.*** El campo gravitatorio viene determinado por dos magnitudes: una vectorial, la intensidad del campo gravitatorio ($\vec{g}$), y otra escalar, el potencial gravitatorio (V).

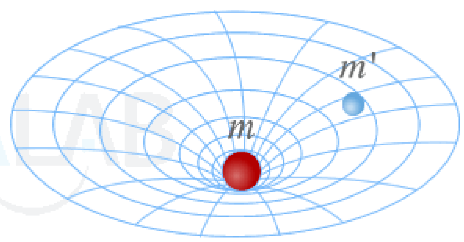


Imagen extraída de fisicalab

Si situamos una masa *m*, esta ejerce una influencia en el espacio que le rodea. Si situamos otro cuerpo de masa *m'* en cualquier región de dicho campo, este "notará" la existencia del campo en forma de interacción atractiva.

INTENSIDAD DEL CAMPO GRAVITATORIO

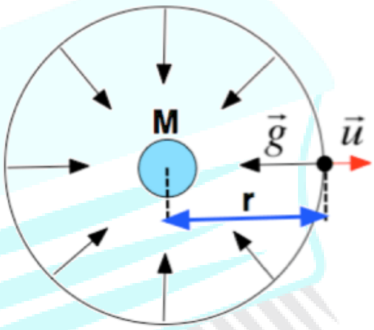
La **intensidad del campo gravitatorio ($\vec{g}$)**, o simplemente, campo gravitatorio en un punto, es la fuerza que actuaría sobre la unidad de masa situada en ese punto. Es una magnitud vectorial que afecta a cada punto de un campo gravitatorio:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F_g}}{m} = -G \cdot \frac{M}{r^2} \cdot \vec{u}$$

Unidades SI: N/Kg

Donde:
$\vec{g}$ = Es el vector intensidad de campo gravitatorio. SI: newton por kilogramo (N/kg)
G = Es la constante de gravitación universal estudiada en el apartado anterior
M = Masa del cuerpo que genera el campo en kilogramos (kg)
r = Es la distancia del vector $\vec{r}$ que une la masa con el punto en el cual queremos determinar $\vec{g}$. En metros (m)
$\vec{u}$: Es la posición en vector de $\vec{r}$

Algunas de sus propiedades indican que:



- Su sentido se orienta hacia la masa que genera el campo, tal y como indica el signo – de la fórmula.
- Depende de la masa que lo crea y es independiente de la masa o masas a las que pueda afectar.
- Tiene simetría esférica, es decir, las flechas de la imagen (que representan el valor del campo gravitatorio en distintos puntos del espacio) están a igual distancia del centro y tienen el mismo módulo.
- Tiene dirección radial, es decir, todas apuntan hacia la partícula M.
- Cuanto mayor es la masa, mayor es la intensidad del campo gravitatorio en el mismo punto P.
- Cuanto más cercanos se encuentren el punto y la masa mayor es la intensidad del campo en dicho punto.

Intensidad de campo creado por VARIAS MASAS

Cuando queremos calcular el campo generado por varias masas, ya sean estas puntuales o no, podemos aplicar el **principio de superposición.**

La **intensidad del campo gravitatorio** de un **sistema de *n* masas** en un punto se calcula sumando vectorialmente los campos individuales que produce cada una de las masas individuales en dicho punto:

$$g_T = g_1 + g_2 + \ldots g_N$$

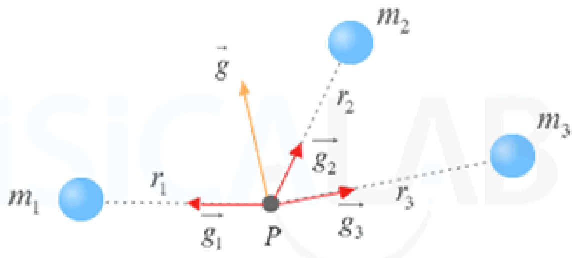


Imagen extraída de fisicalab

POTENCIAL GRAVITATORIO

El **potencial gravitatorio (V)** creado por una **masa en un punto** del espacio es ***el trabajo que se realiza cuando la unidad de masa se traslada desde dicho punto hasta el infinito.***:

$$V = -G \cdot \frac{M}{r}$$

Unidades SI: J/Kg.

El potencial es una magnitud escalar. A medida que nos alejamos de la masa generadora de campo el potencial gravitatorio (cuyo valor depende de la masa que crea el campo) el potencial aumenta. En el infinito el potencial es cero.
También es útil para estudiar la energía potencial que posee una partícula debido a esta. El **potencial gravitatorio en un punto** es la **energía potencial** que la unidad de masa m' adquiere al ser colocada sobre dicho punto:

$$V = \frac{E_P}{m}$$

Si dos puntos de un campo gravitatorio poseen distinto potencial, entre ambos puntos existe lo que se denomina una **diferencia de potencial**, ΔV. Este valor se encuentra íntimamente relacionado con el trabajo gravitatorio. Por definición, ***el trabajo que realiza la fuerza gravitatoria para trasladar una masa m en el interior de un campo gravitatorio desde un punto A a otro B*** se obtiene:

$$W_{AB} = -\Delta E_P = E_{PA} - E_{PB}$$

$$W_{AB} = m \cdot V_A - m \cdot V_B = m \cdot (V_A - V_B)$$

Al ser el campo gravitatorio un campo conservativo, el trabajo que realizan las fuerzas del campo gravitatorio al acercar una masa m a otra masa fija, es independiente del camino seguido por la masa m y puede expresarse como la variación de su energía potencial gravitatoria entre los puntos inicial y final.

NOTA. Es muy importante realizar una **conclusión del signo** que nos da el trabajo:

Si **W>0** la masa m se desplaza por acción de las <u>fuerzas dentro del campo gravitatorio</u>. Esto sucede cuando se acercan dos masas.
Si **W<0** la masa m se desplaza por acción de <u>fuerzas exteriores al campo gravitatorio</u>. Esto sucede cuando se separan dos masas.

NOTA. En el campo gravitatorio, todo movimiento sigue las normas de un MCU, movimiento circular uniforme. ¡Debemos recordar sus fórmulas!

¡CURIOSIDADES!

¿Es posible llorar en el espacio?

Una de las muchas consecuencias fisiológicas que puede sufrir un astronauta por la falta de gravedad es que no se puede llorar en gravedad cero. No porque los aguerridos astronautas no sientan de vez en cuando el impulso de derramar una lagrimilla, sino porque **es imposible hacerlo. Y duele.** Duele más que el origen del propio llanto. Como todos sabéis en el espacio no hay gravedad, así que las gotas no caen, sino que **se quedan en el ojo en forma de 'bolitas'** y pican mucho, o al menos eso dicen los astronautas.
Lo descubrió Andrew Feustel cuando el producto que llevaba su casco para no empañarse se le metió en el ojo y le hizo llorar. Por suerte, consiguió acceder a la esponjilla que llevan en el traje para bloquear su nariz en caso de un reajuste de presión. E hizo el apaño.
Los que no tienen tanta suerte deben esperar a que la bola acuosa **se haga suficientemente grande como para desprenderse** y quedar suspendida ofreciendo el incomparable espectáculo de ver flotar tus propias lágrimas.

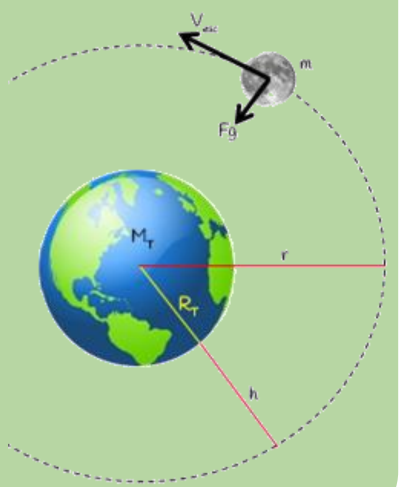
Imagen e información extraída de Quonectados nº 211

Ejercicio práctico:

1. Calcula a qué distancia desde la superficie terrestre se debe situar un satélite artificial para que describa órbitas circulares con periodo de una semana. $G= 6.67\times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$; $M_T= 5{,}97\times 10^{24}\ Kg$; $R_T= 6370Km$

Solución: Nuestros cálculos siempre debemos acompañarlos de una explicación teórica e ilustraciones. Vamos a resolver el problema en varios pasos:

PASO 1. Nos hacemos un dibujo señalando todos los datos que nos dan y los que nos faltan.



PASO 2. Relacionamos todos los datos que tenemos para averiguar la incógnita: Si observamos nuestro dibujo, vemos que la distancia de la superficie de la Tierra hasta el satélite lo hemos llamado h, que es la incógnita que nos pide el enunciado. Para calcular esta distancia h, deberemos restarle R_T a r, es decir: $\mathbf{h= r-R_T}$. Sin embargo, tampoco tenemos r.

PASO 3. Aplicamos la teoría y las fórmulas que conocemos en las que podamos obtener el valor de la incógnita r, y así, poder calcular h con la relación que hemos hecho en el paso 2.

En primer lugar, relacionamos la fuerza del campo gravitatorio con la segunda ley de Newton **F= m· a**. Recuerda que nuestro satélite realiza un movimiento circular (MCU) y, por tanto, ***a*** corresponde a la aceleración normal a_n. Ahora solo nos queda realizar todas las operaciones necesarias. Es importante que recuerdes todas las fórmulas del MCU:

$$F_g = m \cdot a_n$$

$$G \cdot \frac{M \cdot \cancel{m}}{\cancel{r^2}} = \cancel{m} \cdot \frac{v^2}{\cancel{r}} \longrightarrow v = \omega \cdot r$$

$$G \cdot \frac{M}{r} = \omega^2 \cdot r^2 \longrightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$G \cdot \frac{M}{r} = \frac{2^2 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot r^2$$

$$G \cdot M \cdot T^2 = 4\pi^2 \cdot r^3 \longrightarrow r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2} \longrightarrow r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$$

Ya tenemos la forma de calcular r, solo nos queda sustituir los datos. ¡Cuidado! El periodo nos lo han dado en semanas, debemos pasarlo al SI (segundos):

$$T = 1 \text{ semana} \times \frac{7 \text{ días}}{1 \text{sem.}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{día}} = 604800 \text{ s}$$

Sustituimos los datos en **r=** $\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$ = 154521173,5 m

Finalmente, calculamos h con la relación que habíamos hecho en el paso 2, h= r−R_T:

h= 154521173,5 m – 6370000 m = 148151173,5 m = **148151,17 Km**

NOTA. Recuerda que, en selectividad, debes acompañar todos los cálculos con una justificación teórica, especialmente en este tema, que suele salir en forma de cuestión teórica.

EJERCICIOS

Campo gravitatorio

1 Una partícula de masa m, situada en un punto A, se mueve en línea recta hacia otro punto B, en una región en la que existe un campo gravitatorio creado por una masa M. Si el valor del potencial gravitatorio en el punto B es mayor que en el punto A, razona si la partícula se acerca o se aleja de M.

2 Una partícula puntual de masa m_1 = 100 kg está situada en el origen, O, de un cierto sistema de coordenadas. Una segunda partícula puntual de masa m_2 = 30 kg está situada sobre el eje X en un punto A, cuyas coordenadas son (6, 0) m. Determina:

a) El módulo, la dirección y el sentido del campo gravitatorio en el punto B, de coordenadas (2, 0) m.

b) El punto sobre el eje X para el cual el campo gravitatorio es nulo.

c) El trabajo realizado por el campo gravitatorio cuando la masa m_2 se traslada desde el punto A al punto C, de coordenadas (0, 6) m.

Dato: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.

Solución: a) $\vec{g}_B = -1{,}545 \cdot 10^{-9} \cdot \vec{i}$ N
b) $x = 3{,}88$ m; c) $W_{A \to C} = 0$

3 Una partícula puntual de masa $4 \cdot M$ se coloca en el origen de un cierto sistema de coordenadas, mientras que otra, de masa M, se coloca sobre el eje X a una distancia de 1 m respecto al origen. Calcula las coordenadas del punto donde el campo gravitatorio es nulo.

Solución: $x = 0{,}67$ m

4 Calcula el campo gravitatorio y el potencial gravitatorio que una masa puntual de 40 g produce en un punto situado a 12 m.

Solución: $\vec{g} = -1{,}87 \cdot 10^{-11} \cdot \vec{u}_r\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$
$V = -2{,}2 \cdot 10^{-10}\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

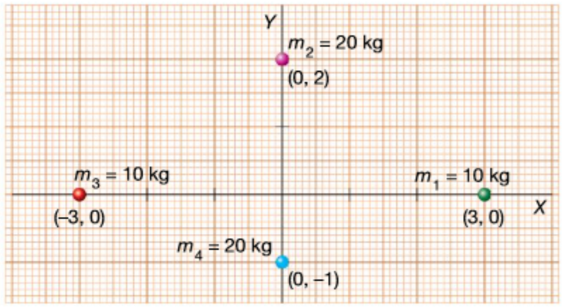
5 ¿A qué distancia del centro de la Tierra se compensaría el campo gravitatorio terrestre con el lunar?

Datos: $M_{\text{Tierra}} = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg;
$M_{\text{Luna}} = 7{,}35 \cdot 10^{22}$ kg;
$d_{\text{Tierra-Luna}} = 3{,}84 \cdot 10^{8}$ m.

Solución: $d = 3{,}456 \cdot 10^{8}$ m

6 En el punto intermedio entre dos masas idénticas, ¿se anula el campo gravitatorio? ¿Y el potencial?

7 Determina el valor del campo gravitatorio y del potencial gravitatorio en el origen de coordenadas del sistema de masas siguiente:



Solución: $\vec{g} = 10^{-9} \cdot \vec{j}\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$
$V_g = -2{,}45 \cdot 10^{-9}\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

8 Si la energía potencial de un cuerpo se mantiene constante en una región del espacio, ¿qué se puede decir de la fuerza que origina el potencial en esta región?

9 Un objeto pesa en la Tierra 600 N. ¿Cuál sería su peso en un planeta de radio $R = R_T/2$ y masa $M = M_T/10$?

Solución: $P_p = 240$ N

10 Sea g la aceleración de la gravedad en la superficie terrestre. Ahora, imagina que la Tierra reduce su radio y su masa a la mitad. Suponiendo que g' sea el nuevo valor de la aceleración de la gravedad, ¿cuál será la relación entre ambas aceleraciones (es decir, el valor de g/g')?

Solución: $g/g' = 0{,}5$

11 En la superficie de un planeta de 2000 km de radio, $g = 3\ \text{m/s}^2$. Calcula:

a) La masa del planeta.

b) La energía potencial gravitatoria de un objeto de 5 g de masa situado en su superficie.

c) La velocidad de escape desde la superficie del planeta.

Dato: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.

Solución: a) $M = 1{,}8 \cdot 10^{23}$ kg; b) $E_p = -3{,}0 \cdot 10^{4}$ J
c) $v_e = 3464\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

12 Si la Tierra redujese su radio a la mitad, pero conservando su masa:

a) ¿Cuál sería la intensidad de la gravedad en su superficie?

b) ¿Cuánto valdría la velocidad de escape desde su superficie?

Solución: a) $g' = 4 \cdot g_0$; b) $v'_e = \sqrt{2} \cdot v_e$

13 Suponiendo un planeta esférico que tenga un radio igual a la mitad del radio terrestre y la misma densidad que la Tierra, calcula:

a) La aceleración de la gravedad en la superficie de dicho planeta.

b) La velocidad de escape de un objeto desde la superficie del planeta, si la velocidad de escape desde la superficie terrestre es de 11,2 km/s.

Dato: g_0 (en la Tierra) = 9,81 m · s^{-2}.

Solución: a) $g'_0 = 4{,}905$ m · s^{-2}; b) $v'_e = 5{,}6$ km · s^{-1}

14 Si el Sol colapsara de pronto, transformándose en una enana blanca (igual masa en un volumen mucho menor), ¿cómo afectaría al movimiento de la Tierra alrededor del Sol?

15 Se dispara verticalmente un proyectil desde la superficie de la Tierra con una velocidad inicial de 4 km/s. Sin rozamiento, ¿hasta qué altura subiría?

Datos: $g_0 = 9{,}8$ m/s^2; $R_{Tierra} = 6370$ km.

Solución: $h = 9{,}36 \cdot 10^5$ m

16 Un cuerpo que ha alcanzado la velocidad de escape en la superficie de la Luna, ¿a qué distancia del centro de la Luna habrá reducido su velocidad a la mitad?

Datos: radio de la Luna, $R_L = 1738$ km.

Solución: $r = R_L + h = 6952$ km

17 Un planeta esférico sin atmósfera tiene una masa $M_P = 1{,}2 \cdot 10^{23}$ kg y un radio $R_P = 1{,}3 \cdot 10^6$ m. Desde su superficie se lanza verticalmente un proyectil que llega a alcanzar una altura máxima $h = R_P/2$ antes de volver a caer hacia la superficie. ¿Con qué velocidad inicial se ha lanzado el proyectil? Ten en cuenta que $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2}.

Solución: $v_A = 2026$ m · s^{-1}

18 La aceleración de la gravedad en la superficie de Marte es 3,7 m/s^2, y su masa es un 11 % la de la Tierra. Si $R_T = 6370$ km y $g_T = 9{,}8$ m/s^2, calcula:

a) El radio de Marte.

b) El peso en la superficie de Marte de un astronauta de 75 kg de masa.

c) La velocidad de escape desde la superficie de Marte.

Solución: a) $R_M = 3438{,}33 \cdot 10^3$ m; b) $P = 277{,}5$ N
c) v_e (Marte) = 5044,17 m/s

Movimiento de los satélites

19 Un satélite artificial gira alrededor de la Tierra a $3{,}6 \cdot 10^7$ m de su superficie. Calcula:

a) La velocidad y la aceleración del satélite.

b) El período de rotación del satélite alrededor de la Tierra, expresado en días. ¿Qué nombre reciben los satélites de este tipo?

Datos: $R_T = 6{,}38 \cdot 10^6$; $M_T = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg;
$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2}.

Solución: a) $v = 3065{,}3$ m · s^{-1}; $a_n = 0{,}22$ m · s^{-2}
b) $T = 1$ día

20 Un satélite artificial de 350 kg se encuentra en una órbita circular de 15 000 km de radio alrededor de la Tierra. Si $R_T = 6370$ km, determina:

a) El peso del satélite estando en esta órbita.

b) Su período de rotación alrededor de la Tierra.

c) La energía total del satélite en esta órbita.

Solución: a) $P = 618{,}6$ N; b) $T = 5$ h 5 min 4 s
c) $E_m = -4{,}64 \cdot 10^9$ J

21 Un satélite se encuentra en órbita circular alrededor de la Tierra. Su masa es de 10 000 kg, y su velocidad, de 4,2 km/s. Calcula:

a) El radio de la órbita.

b) Lo que tarda en dar diez vueltas a la Tierra.

c) La energía potencial gravitatoria del satélite.

Datos: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2};
$M_T = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg; $R_T = 6370$ km.

Solución: a) $T = 2{,}26 \cdot 10^7$ m; b) $t = 3$ d 21 h 54 min 55 s; c) $E_p = -1{,}76 \cdot 10^{11}$ J

EJERCICIOS

22 Dos satélites, *A* y *B*, giran alrededor de un planeta siguiendo órbitas circulares de radios $2 \cdot 10^8$ m y $8 \cdot 10^8$ m, respectivamente. Calcula la relación entre sus velocidades (tangenciales) respectivas.

Solución: $v_A/v_B = 2$

23 Se consideran dos satélites, uno en órbita circular alrededor de Marte y otro alrededor de la Tierra:

a) ¿Cuál es la relación entre los radios de las órbitas si ambos tienen el mismo período?

b) Supongamos ahora que los dos satélites están en órbitas del mismo radio, cada uno alrededor de su planeta. Calcula la relación entre los momentos angulares orbitales correspondientes, si las masas de los satélites son iguales.

Dato: la relación entre las masas de los planetas es: $M_M = 0{,}11 \cdot M_T$.

Solución: a) $r_M = 0{,}479 \cdot r_T$

24 La velocidad de un satélite, de 500 kg de masa, en órbita alrededor de la Tierra, es de 7,70 km/s:

a) Determina el radio de la órbita.

b) Si el satélite pasa a girar a una órbita superior cuyo radio es el doble del de la anterior, ¿cuál es la nueva velocidad orbital?

c) ¿Qué energía suplementaria hay que comunicarle al satélite para que cambie de órbita?

Datos: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2};
$M_{Tierra} = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg.

Solución: a) $r = 6{,}73 \cdot 10^6$ m
b) $v_2 = 5445$ m · s^{-1}
c) $\Delta E_m = 7{,}41 \cdot 10^9$ J

25 Un módulo lunar de 3000 kg de masa está en órbita circular a una altura de 2000 km por encima de la superficie de la Luna:

a) ¿Cuál es la velocidad y la energía total del módulo en su órbita?

b) ¿Cuánto variará la energía total si el módulo sube a una órbita circular de 4000 km sobre la superficie de la Luna?

Datos: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2};
$M_{Luna} = 7{,}36 \cdot 10^{22}$ kg; $R_{Luna} = 1740$ km.

Solución: a) $v = 1145{,}7$ m · s^{-1}; $E_m = -1{,}97 \cdot 10^9$ J
b) $\Delta E_m = 6{,}86 \cdot 10^8$ J

26 La Estación Espacial Internacional (ISS) describe una órbita prácticamente circular alrededor de la Tierra a una altura h = 390 km sobre la superficie terrestre, siendo su masa m = 415 toneladas:

a) Calcula su período de rotación, en minutos, así como la velocidad con la que se desplaza.

b) ¿Qué energía se necesitaría para llevarla desde su órbita actual a otra al doble de altura? ¿Cuál sería el período de rotación en esta nueva órbita?

Datos: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2};
$M_T = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg; $R_T = 6370$ m.

Solución: a) $T = 92{,}17$ min; $v = 7681{,}4$ m · s^{-1}
b) $\Delta E_m = 6{,}68 \cdot 10^{11}$ J; $T = 6015$ s

27 Un satélite artificial de 500 kg de masa se mueve alrededor de un planeta, describiendo una órbita circular con un período de 42,47 horas y un radio de 419000 m. Calcula:

a) La fuerza gravitatoria que actúa sobre el satélite.

b) La energía cinética, la energía potencial y la energía total del satélite en su órbita.

c) Si, por cualquier causa, el satélite duplica de repente su velocidad sin cambiar la dirección, ¿se alejará indefinidamente del planeta?

Solución: a) $F_g = 353{,}8$ N. b) $E_c = 7{,}41 \cdot 10^{10}$ J;
$E_p = -14{,}82 \cdot 10^{10}$ J; $E_m = -7{,}41 \cdot 10^{10}$ J

Soluciones en el Aula virtual (Bloque I/Ejercicios)