

## DINÁMICA

La dinámica es la parte de la física que estudia las causas que originan los movimientos.

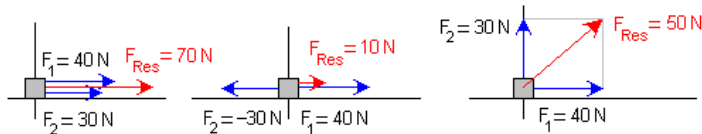
### FUERZA

La fuerza es una magnitud vectorial considerada como la interacción “entre dos cuerpos”, que puede provocar deformaciones y/o cambios en el movimiento de los mismos. Su unidad en el SI es el Newton.

Las fuerzas pueden ser por contacto o a distancia:

- por contacto, cuando un cuerpo interactúa con el otro tocándolo, por ejemplo cuando damos una patada a un balón.
- a distancia, cuando un cuerpo interactúa con el otro sin tocarlo, por ejemplo la que un imán ejerce sobre otro imán, o la que la Tierra ejerce sobre nosotros y que llamamos peso.

**Fuerza resultante.** Sobre un cuerpo pueden actuar más de una fuerza. En tal caso se llama resultante a la suma vectorial de todas las que actúan sobre el cuerpo. (Las fuerzas se suman siguiendo las reglas generales de la suma de vectores.) En este curso sumaremos fuerzas de la misma dirección (con el mismo sentido o con el sentido opuesto) y fuerzas perpendiculares (las sumamos aplicando el teorema de Pitágoras: en el ejemplo de la figura tenemos que:  $F_{Res}^2 = 30^2 + 40^2 \Rightarrow F_{Res} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50\text{ N}$ )



Los sólidos, según la deformación que las fuerzas provocan en ellos, se clasifican en deformables y no deformables o sólido rígido. Los sólidos deformables se clasifican, a su vez, en elásticos y plásticos, según una vez que cese la fuerza sobre ellos vuelvan a recuperar su estado original o que permanezcan deformados.

### LEYES DE NEWTON

#### 1ª Ley de Newton

“Si sobre una partícula no actúa ninguna fuerza (o actúan muchas, pero su resultante es nula) entonces: si estaba en reposo continuará en reposo y si estaba en movimiento continuará indefinidamente con un movimiento rectilíneo y uniforme.”

Podemos resumirlo diciendo: Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza mantiene su estado de movimiento.

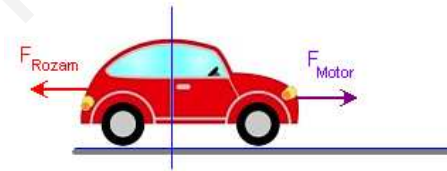
Observaciones:

La primera parte es bastante obvia: Si no hacemos ninguna fuerza sobre un cuerpo que está parado seguirá parado.

La segunda parte parece increíble: Si sobre un cuerpo que se está moviendo dejan de actuar fuerzas sobre él, entonces el cuerpo continuará moviéndose con la misma velocidad que tiene y en línea recta indefinidamente.

Nuestra experiencia nos dice que si damos un empujón a un cuerpo, o una patada a una pelota, se mueve un trecho y se detiene. ¿La 1ª ley contradice nuestra experiencia diaria? En absoluto, ya que la pelota se termina parando porque entre ella y el suelo hay una fuerza invisible, llamada fuerza de rozamiento, que tiene sentido contrario al movimiento y es la responsable de que se detenga, pero: (1) si esa fuerza no existiera, o (2) si hacemos una fuerza igual a la de rozamiento y en sentido contrario, entonces sí, entonces el cuerpo se movería indefinidamente con MRU.

Por ese mismo motivo, para que un coche mantenga una velocidad constante, el motor debe hacer todo el rato una fuerza igual y de sentido contrario a la de rozamiento:



$$\text{Si } F_{Motor} = F_{Roz} \Rightarrow F_{Res} = 0 \\ \Rightarrow v = \text{constante.}$$

**Ejemplo:** Sabiendo que la fuerza de rozamiento que debe vencer un coche vale 1000 N, razonar si la fuerza que debe ejercer el motor para mantener una velocidad constante de 30 m/s es mayor que la que debe ejercer para mantener una velocidad constante de 20 m/s.

De acuerdo con la primera ley de Newton, para mantener una velocidad constante (da igual su valor) es preciso que sobre el coche no haya ninguna fuerza o que la resultante de las que haya sea nula. Por tanto, en ambos casos la fuerza que debe ejercer el motor del coche es la misma, e igual a la de rozamiento y sentido opuesto.

Como la fuerza de rozamiento siempre tiene la dirección del movimiento y sentido contrario:  $F_{Roz} = -1000\text{ N} \Rightarrow$  La fuerza que debe ejercer el motor es del mismo módulo que la fuerza de rozamiento, pero en el sentido del movimiento:  $F_{Motor} = +1000\text{ N}$

#### 2ª Ley de Newton

“Si sobre una partícula de masa  $m$ , se aplica una fuerza  $\vec{F}$  (única o resultante de muchas) entonces la partícula adquiere una aceleración, de tal manera que se cumple que:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Observaciones:

Puesto que la masa es un escalar positivo, la fuerza y la aceleración son vectores que siempre tienen la misma dirección y sentido.

La fuerza y la aceleración son dos conceptos que van ligados: Si una es cero, la otra también. En realidad la segunda ley contiene a la primera porque, como podemos ver, si sobre un cuerpo no actúan fuerzas entonces la aceleración será nula, y por tanto, de no estar en reposo, tendrá velocidad constante, es decir tendrá un MRU (al no cambiar ni en módulo ni en dirección). Esquemáticamente:

$$\Sigma \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{a} = 0 \Leftrightarrow \vec{v} = \text{constante} \Leftrightarrow \text{MRU}$$

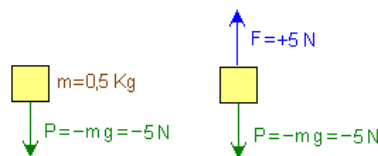
La masa, que es la constante de proporcionalidad entre la fuerza aplicada y la aceleración adquirida, representa la inercia o resistencia del cuerpo a cambiar del estado de movimiento que tenga.

El **peso** es la fuerza con que la Tierra atrae a las masas según la dirección de la recta que une sus centros, por lo demás es una fuerza como todas las fuerzas, por tanto es igual a la masa del cuerpo por la aceleración, solo que en éste caso, de la gravedad. Es decir:  $P = m \cdot g$

**Ejemplo:** Un taco de madera tiene una masa de 0,5 Kg. Calcular

- La fuerza que debemos hacer para sujetarlo.
- La fuerza que debemos hacer para subirlo con velocidad constante.
- La fuerza que debemos hacer para subirlo con aceleración de  $2 \text{ m/s}^2$   
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

- La Tierra ejerce una fuerza vertical y hacia abajo sobre cualquier masa llamada peso.  
 $P = -m \cdot g = -0,5 \cdot 10 = -5 \text{ N}$



Para mantener el cuerpo en equilibrio debemos ejercer una fuerza igual al peso, pero en sentido contrario, por tanto  $F = +5 \text{ N}$  (vertical y hacia arriba)

- De acuerdo con la primera ley de Newton, para que el cuerpo se mueva con velocidad constante la fuerza resultante (suma vectorial de todas las fuerzas) debe ser nula, por tanto, para que la fuerza resultante sobre el cuerpo sea nula nuestra fuerza debe ser igual al peso y de sentido contrario  $\Rightarrow F = +5 \text{ N}$  (vertical y hacia arriba).

Podemos llegar a la misma conclusión a partir de la segunda ley: Si el taco se mueve con velocidad constante  $\Rightarrow a=0 \Rightarrow$  de acuerdo con la segunda ley  $F_{\text{Res}} = m \cdot 0 = 0 \Rightarrow F = +5 \text{ N}$  (vertical y hacia arriba).

- Aplicando la segunda ley:  $F_{\text{Res}} = m \cdot a = 0,5 \cdot 2 = +1 \text{ N}$

Para que la resultante de las dos fuerzas de la misma dirección y sentidos opuestos sea de 1 N es preciso que ejerzamos una fuerza  $F = +6 \text{ N}$ .

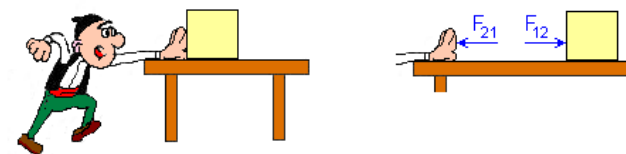
### 3ª Ley de Newton. Principio de Acción y reacción

“Si una partícula  $P_1$  ejerce sobre otra  $P_2$  una fuerza  $F_{12}$ , la segunda ejerce sobre la primera una fuerza  $F_{21}$  igual y de sentido contrario”

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad \text{o bien que} \quad F_{12} = F_{21}$$

Observaciones:

Si la expresión se escribe vectorialmente no se nos puede olvidar el signo menos, ya que las fuerzas de acción y reacción tienen sentidos contrarios, sin embargo si solamente nos referimos a los módulos (a los valores de las fuerzas de acción y reacción) podemos igualarlas sin el signo.



Es muy importante darse cuenta de que las fuerzas de acción y reacción  $F_{12}$  y  $F_{21}$  están aplicadas sobre cuerpos distintos. La fuerza  $F_{12}$  es la que hace el cuerpo 1 sobre el 2, en este caso es la que actúa sobre el cubo, la única que actúa sobre el cubo. La reacción es la que el cubo hace sobre la mano y que es la única que actúa sobre la mano.

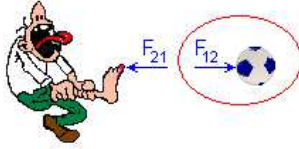
Por tanto las fuerzas  $F_{12}$  y  $F_{21}$  a pesar de ser iguales y de sentido contrario no dan resultante nula porque “están aplicadas sobre cuerpos distintos”.

**Ejemplo:** Si las fuerzas de acción y reacción son iguales y de sentidos contrarios ¿Cómo te explicas que al darle una patada a un balón se mueva?

Muchos alumnos razonan, de forma equivocada, que el balón se mueve, porque la fuerza que el jugador ejerce sobre él es un poco mayor que la que el balón hace sobre el jugador. Obviamente esto no es así y contradice a la tercera ley, que dice que las fuerzas de acción y reacción son exactamente iguales y de sentidos opuestos.

Lo que ocurre es que las fuerzas de acción y reacción están aplicadas sobre cuerpos distintos: Sobre la pelota solamente actúa la fuerza que ejerce el jugador y nada más, y por eso comienza a moverse. La fuerza de reacción (aunque sea igual) la ejerce el balón sobre el pie.

Para el que no lo termine de entender: te descalzas y con la puta de los dedos le das una patada a un balón de cuero.

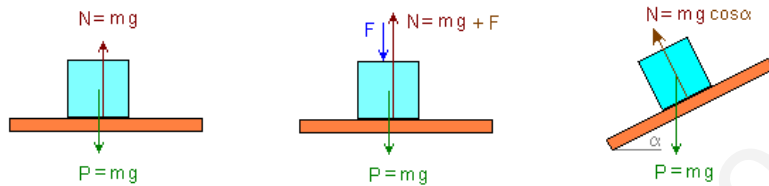


Verás como la fuerza  $F_{12}$  que le aplicas al balón hace que éste se mueva, al ser la única que actúa sobre él. Por otro lado verás como la velocidad de tu pie se “frena” por acción de la fuerza  $F_{21}$  que el balón hace sobre ti. Además puedes comprobar como cuanto mayor sea la patada más te duele.

### FUERZA NORMAL

Cuando apoyamos un cuerpo sobre una superficie rígida, como una mesa, el cuerpo ejerce una fuerza sobre ella, sin embargo no se hunde porque, de acuerdo con la tercera ley de Newton, la superficie ejerce una reacción “normal a la superficie”.

La fuerza normal, también llamada reacción del plano o simplemente normal ( $N$ ) es la reacción del plano a la suma de todas las fuerzas que un cuerpo hace perpendicularmente sobre el plano.

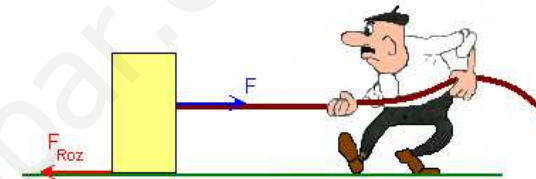


Observa bien las figuras y fíjate que: (1) la Normal siempre es perpendicular al plano (de ahí su nombre, normal significa perpendicular). (2) La normal no es igual al peso, ni mucho menos (aunque coincida en los casos más simples), la normal es igual a la suma de todas las fuerzas que un cuerpo hace perpendicularmente sobre el plano.

### FUERZA DE ROZAMIENTO POR DESLIZAMIENTO

Si a un cuerpo le comunicamos una cierta velocidad y lo abandonamos termina parándose. En consecuencia podemos afirmar que sobre él, aunque no la veamos, actúa una fuerza en sentido contrario a la velocidad a la que llamaremos fuerza de rozamiento o de fricción.

Si aun cuerpo que está en reposo le aplicamos una pequeña fuerza, veremos que no se mueve, lo que indica que aparece una contraria del mismo valor.



Si aumentamos la fuerza  $F$  un poco seguiremos sin mover el cuerpo, lo que quiere decir que la fuerza de rozamiento se ha hecho mayor, y así sucesivamente, hasta llegar un momento en que empezamos a mover el cuerpo, lo que indica que la fuerza de rozamiento no crece indefinidamente, sino que tiene un tope o valor máximo.

- La fuerza de rozamiento siempre tiene la dirección del movimiento y el sentido contrario.
- Su valor aumenta desde cero hasta un valor máximo ( $F_{Roz}$ ) que es el que tiene durante todo el movimiento.
- Experimentalmente puede comprobarse que la fuerza de rozamiento "máxima" es igual a la fuerza normal por un coeficiente, llamado coeficiente de rozamiento, que depende de las superficies en contacto y de su estado.

$$F_{Roz.máx} = \mu N$$

- El coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) no tiene unidades puesto que es el cociente de dos fuerzas.

En ocasiones nos interesa aumentar la fuerza de rozamiento, por ejemplo para caminar o para que un coche pueda moverse (si las ruedas no rozaran con el suelo patinarían y no podría moverse). También para que las ruedas puedan frenar nos interesa que la fuerza de rozamiento entre los neumáticos y el suelo sea lo mayor posible.

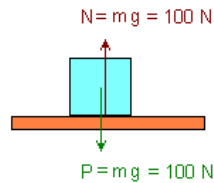
Si no existiese el rozamiento no podríamos sujetar ningún objeto con dos dedos. por más que apretemos se resbalaría.

En otras ocasiones la fuerza de rozamiento es una molestia, porque consume energía que transforma en calor, por eso muchos mecanismos se lubrican para tratar de disminuirlo. Por el mismo motivo los vehículos se construyen de forma aerodinámica para disminuir el rozamiento con el aire.

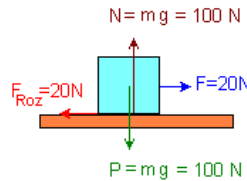
**Ejemplo:** Sobre una mesa hay un bloque de 10Kg. Sabiendo que la fuerza de rozamiento máxima entre la mesa y el bloque es de 20 N.

- Dibujar todas las fuerzas que actúan sobre el bloque cuando está en reposo.
- Fuerza que debemos ejercer para empezar a moverlo. Dibuja todas las fuerzas sobre el bloque en ese instante.
- Fuerza que debemos ejercer para continuar moviéndolo con velocidad constante.
- Fuerza necesaria para moverlo con aceleración de  $2 \text{ m/s}^2$ .
- Calcular el valor del coeficiente de rozamiento.
- Si sobre el bloque colocamos otro bloque de 5 Kg ¿Cuánto valdría la fuerza de rozamiento máxima?

a) Mientras el bloque esté en reposo las únicas fuerzas sobre él son el peso y la reacción del plano:



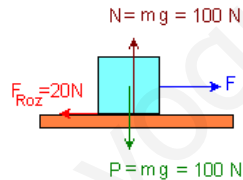
b) Cuando empezamos a tirar del bloque entonces es cuando aparece la fuerza de rozamiento. Para empezar a mover el bloque debemos ejercer una fuerza, que como mínimo, sea igual a la fuerza de rozamiento máxima. En ese momento las fuerzas serían:



c) Para moverlo con velocidad constante, de acuerdo con las leyes de Newton, la suma de las fuerzas debe ser nula, por tanto la fuerza que debemos ejercer tiene que ser igual a la de rozamiento máxima = 20 N. Las fuerzas son las mismas que en el apartado anterior.

d) Para que la aceleración sea de  $3 \text{ m/s}^2$  debe haber una fuerza neta que provoque esa aceleración. Aplicando la segunda ley de Newton:

$$\Sigma F = ma \Rightarrow F - 20 = 10 \cdot 3 \Rightarrow F = 50 \text{ N}$$



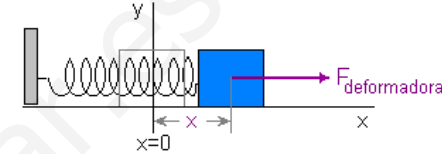
$$e) F_{\text{Roz.máx}} = \mu N \Rightarrow 20 = \mu \cdot 100 \Rightarrow \mu = 0,2$$

f) El coeficiente de rozamiento será el mismo, puesto que es una constante que solamente depende de las superficies en contacto que son las mismas. Sin embargo al colocar otro bloque encima cambia el valor de la fuerza normal, que ahora será  $N = m_1g + m_2g = 150 \text{ N}$

$$F_{\text{Roz.máx}} = \mu N = 0,2 \cdot 150 = 30 \text{ N}$$

## LEY DE HOOKE. MEDIDA DE FUERZAS

Robert Hooke demostró que en un cuerpo elástico, como un muelle, hay una relación directa entre la fuerza aplicada al un muelle (fuerza deformadora) y la deformación que experimenta ( $x$ ).



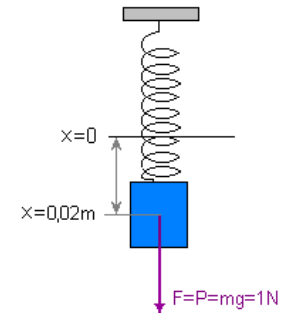
La relación entre la fuerza deformadora aplicada y la deformación (da igual si se alarga como si se comprime) es:

$$F = K \cdot x$$

donde K es una constante característica de cada muelle llamada constante elástica y una vez medida podemos utilizar el muelle para medir fuerzas en función de las deformaciones. En eso se basa el funcionamiento del **dinamómetro**, que no es más que un muelle dentro de un tubo donde se han señalado las fuerzas que corresponden a cada deformación.

**Ejemplo:** Un muelle se alarga 0,02 m cuando le colgamos una masa de 0,1 Kg.

- Calcular la constante elástica del muelle.
- Calcular el valor de una masa de un cuerpo que al colgarlo del muelle lo deforma 0,05 m
- Si arrastramos un taco sobre la mesa tirando con el muelle y observamos que para moverlo con velocidad constante el muelle se alarga 0,03m ¿Cuánto vale la fuerza de rozamiento entre el taco y la mesa?



a) Al colgar una masa, ésta ejerce sobre el muelle una fuerza igual a su peso:

$$P = m \cdot g = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ N}$$

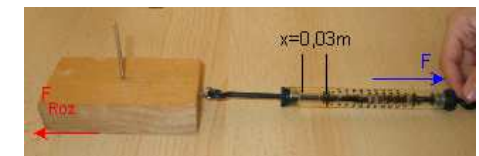
De acuerdo con la ley de Hooke producirá una deformación en el muelle que sabemos es de 0,02m, por tanto:

$$F = K \cdot x \Rightarrow 1 = K \cdot 0,02 \Rightarrow K = 50 \text{ N/m}$$

K es una constante característica de ese muelle, por tanto aunque variemos el valor de la fuerza aplicada, la constante siempre será la misma. (En realidad siempre que la fuerza ejercida no lo deforme permanentemente)

b) Para este muelle la ley de Hooke es:  $F = 50 \cdot x \Rightarrow$  si colgamos una masa m hace que se estire 0,05m, podemos poner:  $m \cdot 10 = 50 \cdot 0,05 \Rightarrow m = 0,25 \text{ Kg}$

c) Si arrastramos un taco con velocidad constante, de acuerdo con la primera y



con la segunda ley de Newton, la suma de las fuerzas sobre el taco debe ser nula.  $\Rightarrow$  La fuerza ejercida con la ayuda del muelle debe ser igual y de sentido contrario a la fuerza de rozamiento:

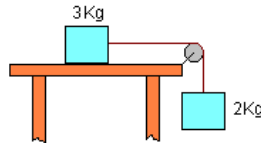
$$\text{Si } v = \text{cte.} \Rightarrow \Sigma F = 0 \Rightarrow F_{\text{Roz}} = F = K \cdot x = 50 \cdot 0,03 = 1,5 \text{ N}$$

## POLEAS IDEALES

Una polea ideal es aquella que tiene masa despreciable y en ella no hay rozamiento, en cuyo caso a ambos lados la tensión de la cuerda es la misma, en otras palabras, "solo modifica la dirección de la fuerza sin que varíe su módulo". Por tanto, en una polea ideal las dos situaciones siguientes serían exactamente la misma:



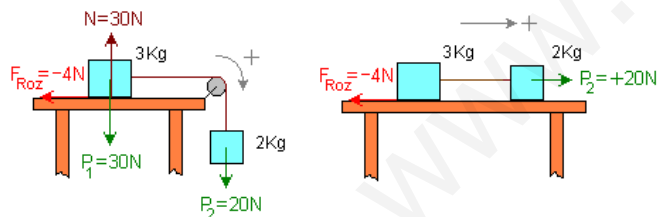
**Ejemplo:** Sobre una mesa hay apoyado un taco de 3 Kg atado a una cuerda que, tras pasar por una polea como se indica en la figura, tiene en el otro extremo un taco de 2 Kg. Suponiendo que la fuerza de rozamiento entre el taco y la mesa es de 4N, dibuja todas las fuerzas y calcula la aceleración del sistema una vez que se deje en libertad.



Sobre cada masa actúa la fuerza peso (\*).

Además, sobre la masa que está en la mesa, como empuja sobre ella, la mesa hará una reacción que llamamos Normal. Además, puesto que esta masa desliza sobre la mesa aparecerá la fuerza de rozamiento en la dirección del movimiento y sentido opuesto. El resultado se muestra en la figura de la izquierda.

Teniendo en cuenta que la fuerza normal se compensa con el peso, finalmente nos quedarán dos fuerzas: el peso de la masa de 2Kg y la fuerza de rozamiento. Teniendo en cuenta, además, que la polea ideal solamente cambia la dirección de la fuerza, el resultado es el que se muestra en la figura de la derecha:



Aplicando la segunda ley a todo el sistema podemos calcular la aceleración con que se mueve.

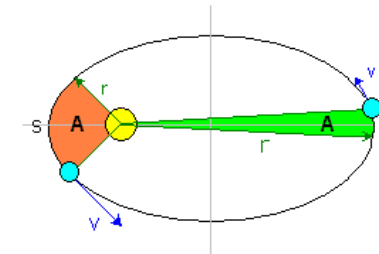
No obstante hay un detalle que no se nos puede pasar por alto: La fuerza resultante sobre ese sistema debe arrastrar a las dos masas, por tanto al aplicar la segunda ley hemos de tener en cuenta que la masa total es la suma de ambas, así que:

$$\Sigma F = m \cdot a \Rightarrow 20 - 4 = (2+3) \cdot a \Rightarrow a = 3,2 \text{ m/s}^2$$

(\* En realidad sobre la masa de 2Kg, además del peso hacia abajo, la cuerda tira hacia arriba con una fuerza llamada tensión, cuya reacción es precisamente quien tira de la masa de 3Kg. Su estudio detallado lo dejaremos para otro curso.

## MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS. LEYES DE KEPLER

1. Los planetas describen órbitas elípticas planas, en uno de cuyos focos está el Sol.
2. El radio vector de posición del planeta respecto al Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.



3. Los cuadrados de los periodos de revolución de los planetas son proporcionales a los cubos de la distancia media de los planetas al sol:  $T^2 = k \cdot r^3$

**Ejemplo:** En verano la Tierra pasa más cerca del Sol que en Invierno, razona en qué estación será mayor la velocidad de la Tierra en su órbita alrededor del Sol.

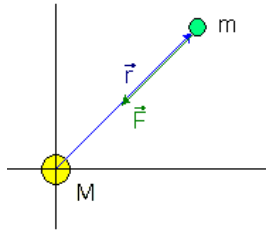
De acuerdo con la segunda ley de Kepler, si en verano el radio de la órbita es menor que en invierno, la velocidad debe ser mayor para que pueda cumplirse que el área barrida en el mismo tiempo sea la misma en verano y en invierno. (Observa la figura de la segunda ley para comprenderlo mejor)

**Ejemplo:** Razona cómo afectaría a la duración de un año si el radio medio de la órbita de la Tierra alrededor del Sol fuese más pequeño.

De acuerdo con la tercera ley de Kepler,  $T^2 = k \cdot r^3 \Rightarrow$  al disminuir el radio medio de la órbita, también disminuirá el periodo, es decir, el tiempo que la Tierra tarda en dar una vuelta  $\Rightarrow$  Los años tendrían menos días.

## LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL DE NEWTON

Todas las masas en el universo, por el hecho de serlo, se atraen en la dirección de la recta que une sus centros, con una fuerza que es proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa (medida de centro a centro).

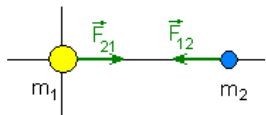


$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

G es una constante de proporcionalidad llamada “constante de gravitación universal” (no debe confundirse con la aceleración de la gravedad, ya que son cosas completamente distintas). Sus unidades se obtienen fácilmente despejándola de la fórmula y su valor es:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kg}^2$

Observaciones:

La fuerza actúa tanto sobre una masa (acción) como sobre la otra (reacción) y, de acuerdo con la tercera ley de Newton, son iguales y de sentidos opuestos. Eso quiere decir que nosotros atraemos a la tierra exactamente con la misma fuerza que ella nos atrae a nosotros.



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$$F_{12} = F_{21}$$

Esta sencilla ley es la que rige el movimiento de todo el universo y explica el peso de los cuerpos. El peso no es más que la fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos.

Si comparamos la expresión que hemos venido utilizando para calcular el peso con la expresión general, que viene dada por la ley de Newton, tenemos que:

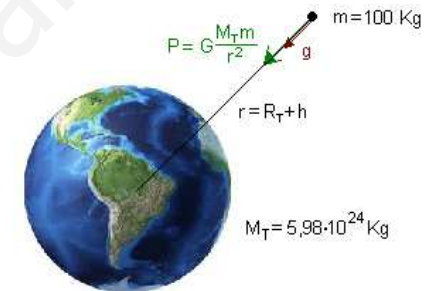
$$P = mg = G \frac{M_T \cdot m}{R_T^2} \Rightarrow g = G \frac{M_T}{R_T^2}$$

Observa que lo que llamamos aceleración de la gravedad depende de la masa de la Tierra y de la distancia del cuerpo a la Tierra. En el caso de que el cuerpo esté sobre su superficie o cerca podemos considerar que esa distancia es igual al radio de la Tierra, en tal caso, si sustituimos  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$  y  $R_T = 6370 \text{ Km}$ , tenemos:

$$g = G \frac{M_T}{R_T^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{5,98 \cdot 10^{24}}{6370.000^2} = 9,83 \text{ m/s}^2$$

El valor de la aceleración de la gravedad de  $9,83 \text{ m/s}^2$  corresponde a puntos próximos a la superficie terrestre. Teniendo en cuenta que en general  $g = G \cdot M / r^2$ , se deduce que su valor no es constante, ya que disminuye cuando aumenta la distancia entre las masas, r, así que para puntos que estén a una altura grande deberemos calcularla como:  $g = G \cdot M / (R_T + h)^2$

**Ejemplo:** Calcular la aceleración de la gravedad y el peso de un cuerpo de 100 Kg de masa cuando se encuentra a una altura de 8000 Km sobre la superficie terrestre.  
 Datos:  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$ ;  $R_T = 6370 \text{ Km}$ ;  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kg}^2$



$$g = G \frac{M_T}{r^2} = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{5,98 \cdot 10^{24}}{(6370.000 + 8000.000)^2} = 1,93 \text{ m/s}^2$$

$$P = m \cdot g = 100 \cdot 1,93 = 193 \text{ N (Mucho menor que en la superficie de la Tierra)}$$

## SISTEMAS DE REFERENCIA INERCIALES Y NO INERCIALES

Sabemos que el SR podemos elegirlo arbitrariamente y puede ser cualquier cosa, sin embargo todos los SR podemos dividirlos en dos tipos, según que no tengan o tengan aceleración.

- Se llama sistema de referencia inercial (SRI) el que no tiene aceleración, por tanto, es aquel que está fijo o se mueve con velocidad constante. (De este tipo son todos los SR que hemos tomado hasta ahora.)
- Se llama sistema de referencia no inercial (SRNI) el que se mueve con aceleración.

Su tratamiento adecuado y relación entre ambos lo dejaremos para otro curso, sin embargo podemos comprender las diferentes explicaciones a “un mismo movimiento” según que lo hagamos desde SRI o SRNI.

Desde el punto de vista de un observador en un SRI, si un cuerpo tiene aceleración es porque sobre él actúa una fuerza que es quien se la provoca. Y al revés, que es lo que dice la primera ley, si sobre un cuerpo no hay fuerzas mantiene su velocidad constante.

Desde el punto de vista de un observador en un SRNI (son los que se mueven con aceleración) un cuerpo en reposo y sobre el que no actúa ninguna fuerza, diríamos que se mueve y además tiene aceleración (igual a la del sistema). Es lo que ocurre si describimos el movimiento de un árbol desde un coche que acelera: “diríamos que el árbol se aleja de nosotros con movimiento acelerado”

La primera consecuencia es que en los SRNI no se cumple la primera ley de Newton porque, como hemos dicho, aunque sobre un cuerpo no haya ninguna fuerza el cuerpo tiene aceleración (igual a la de sistema de referencia).

Para que se cumpla la primera ley en los SRNI hemos de admitir que sobre el cuerpo “además de las fuerzas reales que hubiera” actúan también otras fuerzas llamadas “fuerzas de inercia”.

**Las fuerzas de inercia** sobre el cuerpo son igual a la masa por la aceleración opuesta del sistema. Si el SRNI se mueve con una aceleración  $+a_o$ , la fuerza de inercia es  $F_{inercia} = -m \cdot a_o$ . Es bueno insistir que las fuerzas de inercia no tienen ningún sentido para el observador inercial. Sin embargo para el SRNI son fuerzas tan reales como todas las demás.

**Ejemplo:** Explica el movimiento de una moto en el momento que arranca y en el momento en que frena, a) desde el punto de vista de un observador inercial b) desde el punto de vista de un observador no inercial.

a) Para un observador inercial (el que está en un SR en reposo o que se mueve con MRU)

Cuando está en reposo y arranca, la situación es muy simple: Si la moto está en reposo y comienza a moverse  $\Rightarrow$  sobre ella deba actuar una fuerza en la dirección y sentido del movimiento (la que hace el motor) que provoque la aceleración necesaria para que la velocidad aumente.

Cuando se mueve y frena, la situación es igual de simple: Para que la moto disminuya su velocidad debe actuar una fuerza en la misma dirección y sentido opuesto (debida al rozamiento) que provoque la aceleración necesaria para que la velocidad disminuya.

b) Para un observador no inercial (el que se mueve en un SR acelerado), para mayor sencillez imagina que se mueve solidario con la moto.

El observador no inercial, que se mueve con la moto, lo tiene muy claro: La moto respecto de mí no se mueve (da igual que arranque o que frene). Es justo lo que respondería cualquier persona desde su sillón, sin darse cuenta de que está girando.



El observador no inercial para responder de esa forma necesita “inventarse” una fuerza igual y de sentido opuesto a la fuerza real que ejerce el motor de la moto, para que entre ambas den resultante nula. A esa fuerza ficticia le llamamos fuerza de inercia y para el que va en la moto es tan real como la del motor, aunque no tenga sentido para el que está en reposo.

El mismo razonamiento puede hacerse cuando frena y ese es el motivo de que tienda a irse hacia delante, para conservar su anterior estado de movimiento. Puesto que la fuerza de inercia es igual y de sentido opuesto a la fuerza de frenado, si ésta es muy grande, como ocurre en un frenazo brusco, el conductor puede salir volando por la acción de la fuerza de inercia.



**Ejemplo:** Explica el movimiento de un coche mientras toma una curva de radio  $R$  con una velocidad constante, a) desde el punto de vista de un observador inercial b) desde el punto de vista de un observador no inercial.

a) Para un observador inercial (el que está en un SR en reposo o que se mueve con MRU) imaginemos que esté quieto en el centro de la curva, la situación es muy sencilla: Si el coche está girando su velocidad cambia de dirección y por tanto sobre él debe haber una aceleración normal que haga que cambie de dirección:  $a_n = v^2/R \Rightarrow$  de acuerdo con la segunda ley de Newton debe estar sometido a una fuerza normal (o centrípeta) que provoque esa aceleración:

$$F_{\text{normal}} = m \frac{v^2}{R}$$

b) Para un observador no inercial (el que se mueve en un SR acelerado), imaginemos que se mueve con el coche, diría que el coche está en reposo. Por tanto el observador no inercial necesita inventarse una fuerza igual y de sentido opuesto a la fuerza normal. Esa fuerza ficticia es la fuerza de inercia, que en el caso de un movimiento circular tiene un nombre especial y se le llama fuerza centrífuga.

