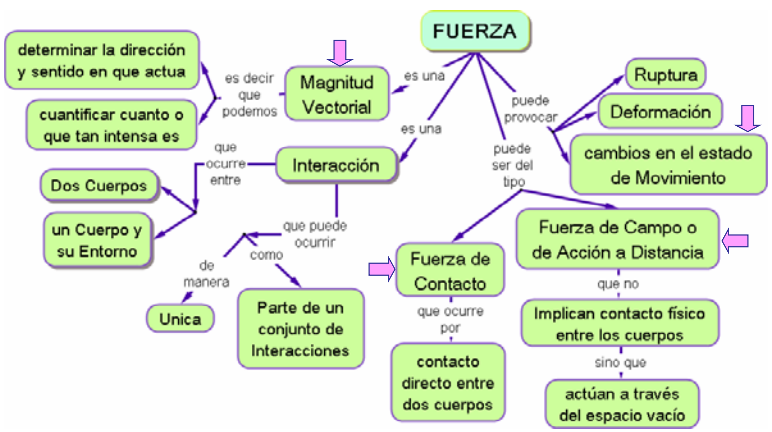
TEMA 4

LEYES DE NEWTON

Material diseñado y elaborado
por Ing. Neyra Tellez
para el curso de Física I de la UNET.

Noviembre, 2009

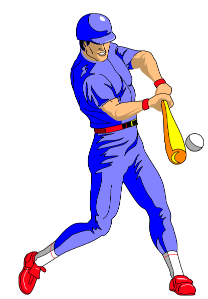
En este capítulo nos centraremos en estudiar las causas que originan los cambios en el movimiento de las partículas.



Fuerzas de Contacto: Son aquellas que se generan por contacto directo entre dos cuerpos.

Ejemplo:

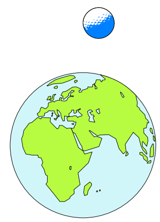
La fuerza que ejerce el bate sobre la pelota, cuando éste la golpea.



Fuerzas de Campo o de acción a distancia: Son aquellas que no implican contacto físico entre los cuerpos, sino que actúan a través del espacio vacío.

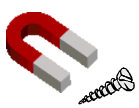
Ejemplo:

La fuerza que ejerce la tierra sobre la luna.



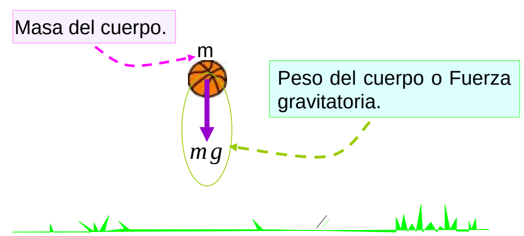
Ejemplo:

La fuerza con la que un imán atrae un tornillo.



El **peso** de un cuerpo es una medida de la fuerza con la que la tierra atrae al cuerpo (fuerza gravitatoria). Esta fuerza esta definida como el producto de la masa del cuerpo por la aceleración de gravedad $m\vec{g}$.

Como el peso es una fuerza, esta fuerza es una cantidad vectorial.



La propiedad que tienen los cuerpos a mantener sin modificación su vector velocidad se conoce como **Inercia**, es decir que es la resistencia que ofrecen los cuerpos a ser acelerados linealmente.

La cuantificación de la inercia se conoce como **Masa inercial,** Por lo tanto a mayor masa, mayor inercia.

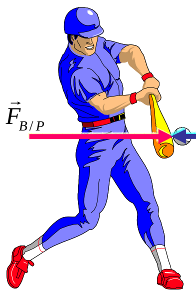
La **Masa Gravitacional** es una medida de la interacción gravitatoria de un cuerpo. Dentro del mismo campo gravitacional, un cuerpo con menor masa gravitacional experimenta una fuerza menor que uno con mayor masa gravitacional.

Experimentalmente la masa inercial de un cuerpo es proporcional a su masa gravitacional, aunque conceptualmente estas dos son diferentes.

Las **fuerzas** son **magnitudes vectoriales**, por lo que se representan gráficamente como un segmento de recta orientado. Su unidad en el sistema internacional es el Newton, N., que es: $\text{N.} = kg\ m/s^2$

La fuerza que el bate ejerce sobre la pelota, se puede representar como:

La fuerza que ejerce la pelota sobre el bate, se puede representar como:



$\vec{F}_{B/P}$ $\vec{F}_{P/B}$

Cantidad de Movimiento ($\vec{p}$), se define como el producto de la masa de un cuerpo por la velocidad que experimenta. Se determina a partir de la expresión: $\vec{p} = m\,\vec{v}$

Como la cantidad de Movimiento ($\vec{p}$) resulta de la multiplicación de un escalar (masa) por un vector (velocidad) se obtiene un vector que conserva la dirección y el sentido de la velocidad.

Nota: Dos cuerpos que se mueven a la misma velocidad tienen diferente cantidad de movimiento si sus masas son diferentes.

$\vec{v}_A = 6\hat{i}\ m/s$

$m_A = 3kg$ $\qquad \vec{p}_A = 18\ \hat{i}\ \ kg\ m/s$

$\vec{v}_B = 6\ \hat{i}\ m/s$

$m_B = 2kg$ $\qquad \vec{p}_B = 12\ \hat{i}\ kg\ m/s$

Ejemplo: Un bloque de masa 2 kg se mueve sobre una superficie horizontal con una velocidad constante de $\vec{v} = 8\ \hat{i}\ m/s$. Determinar la Cantidad de movimiento del bloque en el instante de tiempo $t = 5\ s$.

$\vec{v} = 8\ \hat{i}\ m/s$

m

A partir de la información suministrada, podemos realizar una representación gráfica de la situación planteada y afirmar que el bloque se mueve hacia la derecha, con movimiento rectilíneo uniforme.

$\vec{p} = 16\ \hat{i}\ \ kg\ \ m/s$

0 x

Como el bloque se mueve con movimiento rectilíneo uniforme, en el instante t=5s, la velocidad del bloque sigue siendo 8m/s.

Luego, la cantidad de movimiento del bloque en el instante t= 5s, es:

$$\vec{p}_s = m\ \vec{v}_5 \ \Rightarrow\ \vec{p}_s = 2 \times 8$$

$$\vec{p}_s = 16\,\hat{i}\ \ kg\ \ m/s$$

Sí calculamos la cantidad de movimiento para otro instante de tiempo, vamos a concluir que es igual a la calculada en el instante $t = 5\ s$. Entonces podemos afirmar que la cantidad de movimiento es constante sí la partícula experimenta Movimiento Uniforme.

Ejemplo: Una pelota de masa $0,3\ kg$ se lanza verticalmente hacia arriba con una rapidez de $15\ m/s$ Determinar la cantidad de movimiento de la pelota en los instantes de tiempo $t = 0,8\ \ s$ y $\ t = 2\ s$.

La aceleración que experimenta la pelota es la aceleración de gravedad, por lo que la función velocidad que describe el movimiento de la pelota es: $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}\ t \Rightarrow \vec{v} = 15 - 9{,}8\,t$

Para $t = 2\ \ s$, la velocidad de la pelota es:

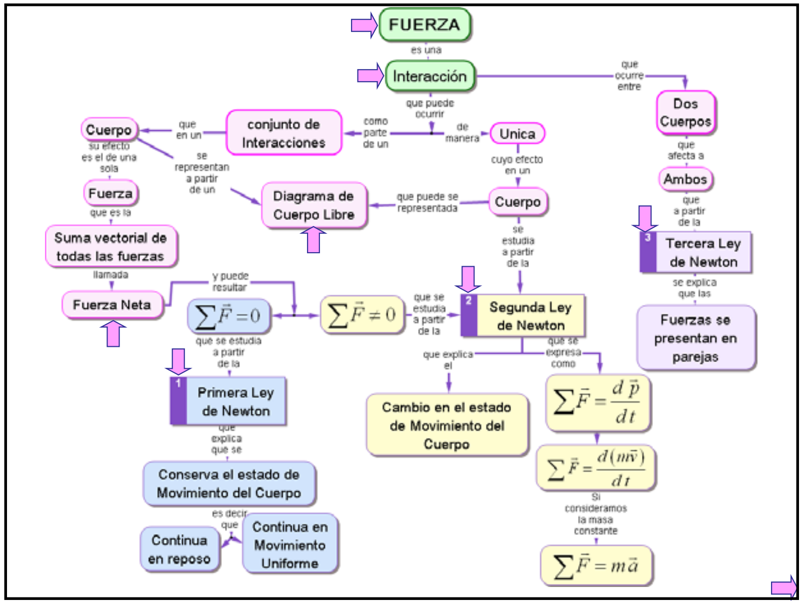
Y

$\vec{v}_{0,8} = -4{,}6\,\hat{j}\ m/s$ $\quad \vec{p}_{0,8} = -1{,}38\,\hat{j}\ kg\,m/s$

$\vec{v}_{0,8} = 7{,}6\,\hat{j}\ m/s$ $\quad \vec{p}_{0,8} = 2{,}28\,\hat{j}\ kg\,m/s$

$\vec{v}_0 = 15\ \hat{j}\ \ m/s$

Observamos que la cantidad de movimiento de la pelota cambia, por lo que podemos afirmar que si el movimiento es uniformemente variado, **la cantidad de movimiento cambia con el tiempo, porque la velocidad de la partícula esta cambiando**.



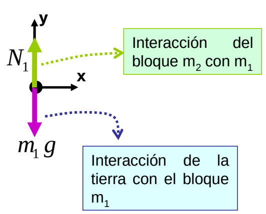
Cada una de las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo puede ser representada gráficamente en un **Diagrama de Cuerpo Libre.** Para construirlo:

1. Representamos como un punto al cuerpo que vamos a estudiar.
2. Dibujamos un sistema de coordenadas.
3. Determinamos la cantidad de cuerpos que interactúan con el cuerpo en estudio.
4. Dibujamos las fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo en estudio.

Ejemplo:

La figura muestra dos bloques en reposo de masas m_1 y m_2. Para la situación planteada realizar los respectivos diagramas de cuerpo libre.

Diagrama de cuerpo libre para m_1:



1. Representamos como un punto el cuerpo que vamos a estudiar.
2. Dibujamos un sistema de coordenadas.
3. Determinamos la cantidad de cuerpos que interactúan con el cuerpo en estudio.

El bloque m_1 interactúa con dos cuerpos que son el bloque de masa m_2 y la tierra. Por ello existen dos fuerzas actuando sobre m_1:

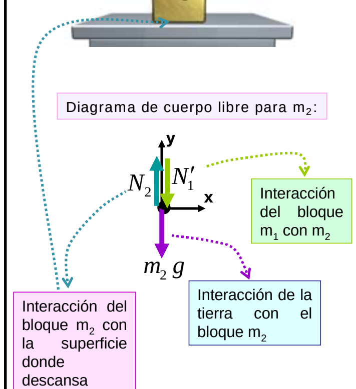
✓N_1 que es la fuerza normal que el bloque m_2 hace sobre el bloque m_1, y

✓$m_1 g$ que es la fuerza con la que la tierra atrae a m_1.

4. Dibujamos las fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo en estudio.

Continuación

Diagrama de cuerpo libre para m_2:



1. Representamos como un punto el cuerpo que vamos a estudiar.
2. Dibujamos un sistema de coordenadas.
3. Determinamos la cantidad de cuerpos que interactúan con el cuerpo en estudio.

El bloque m_2 interactúa con tres cuerpos, por lo que existen tres fuerzas actuando sobre m_2, que son:

✓ N_1' que es la fuerza con la que el bloque m_1 empuja hacia abajo al bloque m_2.

✓ N_2 que es la fuerza normal que la superficie ejerce sobre bloque m2.

✓ $m_2 g$ que es la fuerza con la que la tierra atrae a m_2.

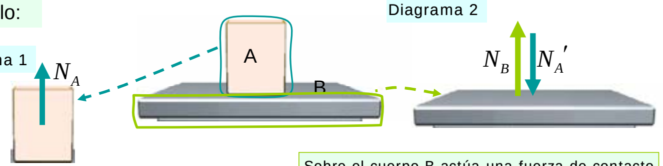
4. Dibujamos las fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo en estudio .

La **fuerza Normal** es una fuerza de contacto entre dos superficies, esta fuerza es perpendicular a las superficies en contacto. Este tipo de fuerza es un ejemplo de interacción entre dos cuerpos.

Ejemplo:

Diagrama 1

Diagrama 2



Sobre el cuerpo A actúa una fuerza de contacto N_A, ejercida por el cuerpo B que apunta hacia arriba.

Sobre el cuerpo B actúa una fuerza de contacto ejercida por el cuerpo A, N_A' que apunta hacia abajo. Y otra fuerza de contacto N_B ejercida por la superficie sobre la que descansa B, N_B que apunta hacia arriba.

Nota: Observemos que las fuerza N_A se representa en el diagrama 1, y N_A' en el diagrama 2, estas fuerzas son de igual magnitud y dirección para ambos cuerpos pero de sentido contrario y con significado diferente. En el diagrama 1, la normal N_A indica como la superficie B se opone a que el cuerpo A la penetre. En el diagrama 2, N_A' representa como el bloque A empuja al bloque B hacia abajo con una fuerza que es igual a N_A pero de sentido contrario.

17

El efecto de todas las fuerzas que actúan simultáneamente sobre un cuerpo es el mismo que el de su vector suma y se conoce como **Fuerza Neta o Fuerza Resultante.**

La propiedad de que se sumen las fuerzas vectorialmente, se conoce como el principio de superposición de las fuerzas y analíticamente es: $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n$

Ejemplo:

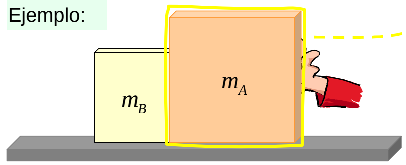
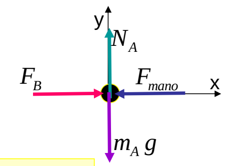


Diagrama de cuerpo libre para el bloque m_A



Fuerza neta sobre el bloque m_A: $\sum \vec{F} = \vec{F}_{mano} + \vec{F}_B + \vec{N}_A + m_A\vec{g}$

Es decir, $\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_x\, \hat{i} + \sum \vec{F}_y\, \hat{j}$

$$\sum \vec{F} = (F_B - F_{mano})\, \hat{i} + (N_A - m_A g)\, \hat{j}$$

18

PRIMERA LEY DE NEWTON

Todo cuerpo en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme permanece en ese estado a menos que sobre él actúe una fuerza neta.
Es decir, un cuerpo por sí solo no cambia su estado de movimiento.

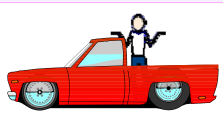
El niño esta en reposo en la silla porque un cuerpo por sí solo no cambia su estado de movimiento. Para que el niño se levante de su silla (cambie su estado de movimiento), el niño tendrá que interactuar con el piso y con la silla.

19

PRIMERA LEY DE NEWTON

Pedrito viaja en la parte trasera de una camioneta que esta moviéndose con rapidez constante. El piso de la camioneta está liso, Pedrito se suelta y de repente el conductor de la camioneta frena...

En la situación planteada, podemos afirmar que mientras la camioneta frena, Pedrito sigue moviéndose con M.R.U, es decir Pedrito se estrella contra la cabina porque continuó con su estado de movimiento al no haber fuerza neta actuando sobre él.



20

SEGUNDA LEY DE NEWTON

La variación en la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza neta aplicada sobre él.
Esto puede ser escrito de manera analítica como:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\,\vec{p}}{d\,t}$$

Es decir, la suma de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo provocan un cambio en su cantidad de movimiento.

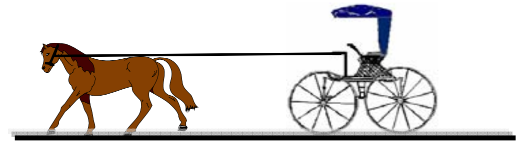
Sí consideramos constante la masa del cuerpo, entonces la expresión anterior es:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\left(m\,\vec{v}\right)}{d\,t} = \vec{v}\,\cancel{\frac{dm}{d\,t}}^{\,0} + m\underbrace{\frac{d\vec{v}}{d\,t}}_{\vec{a}}$$

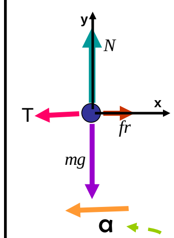
$$\underbrace{\sum \vec{F} = m\,\vec{a}}$$

Observamos que la fuerza resultante o Neta tiene la misma dirección y el mismo sentido de la aceleración del cuerpo.

Una vez que el caballo se ponga en movimiento la cuerda se tensa ¿Qué le sucede a la carreta?



D.C.L. de la carreta



Fuerza neta sobre la carreta:

$$\sum \vec{F}_x = T - fr \Rightarrow \text{fuerza neta en dirección de x}$$
$$\sum \vec{F}_y = N - mg \Rightarrow \text{fuerza neta en dirección de y}$$

Aplicando la segunda ley de Newton, considerando la masa de la carreta constante:

$$\sum \vec{F} = m\,\vec{a}$$

con respecto a x :

$$\sum \vec{F}_x = m\,\vec{a}_x$$

con respecto a y :

$$\sum \vec{F}_y = \underbrace{m\,\vec{a}_y}_{\text{no se observa movimiento en esta dirección}}$$

Por lo tanto :

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

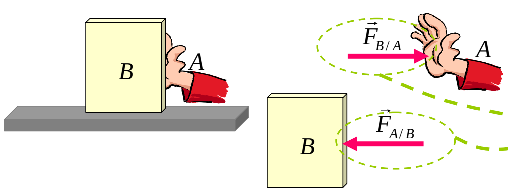
La carreta acelera en la dirección y sentido de la fuerza neta aplica sobre ella.

$$T - fr = m\vec{a}_x$$

TERCERA LEY DE NEWTON

A toda acción siempre se opone una reacción de igual valor, es decir que si un Cuerpo A actúa sobre un cuerpo B con una fuerza $\vec{F}_{A/B}$, entonces simultáneamente el cuerpo B actúa sobre el cuerpo A con otra fuerza $\vec{F}_{B/A}$ de la misma magnitud y dirección pero con sentido contrario.
Esto puede ser escrito de manera analítica como:

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$



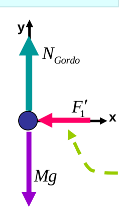
La magnitud y dirección de estas fuerzas son iguales pero tienen sentidos opuestos .

Estas fuerzas no se anulan porque actúan sobre cuerpos diferentes .

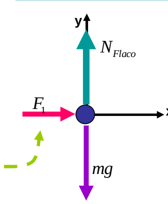
El Gordo (de masa M) y el Flaco (de masa m) se encuentran juntos de pie sobre un pista de hielo. De repente se empujan entre sí...

En la situación planteada podemos afirmar que mientras se empujan entre sí, ambos lo hacen con una fuerza de igual magnitud, es decir que el Gordo empuja al Flaco con una fuerza de magnitud F_1 y el flaco empuja al Gordo con una fuerza de magnitud F'_1, y las magnitudes de estas fuerzas son las mismas.

D.C.L. del Gordo



D.C.L. del Flaco



Estas fuerzas son iguales en magnitud y en dirección, pero tienen sentido contrario. Además no se anulan porque actúan en distintos cuerpos.

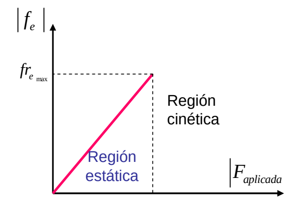
Cuando dos superficies se encuentran en contacto entre ellas se pueden presentar dos tipos de fuerzas: una fuerza que es perpendicular a las superficies en contacto llamada fuerza Normal y otra, que es paralela a las superficies en contacto llamada **fuerza de roce o fricción.**

Dependiendo de la naturaleza del movimiento tenemos:

- ❖ Fuerza de Roce Estático, fr_e (en inglés fr_s).
- ❖ Fuerza de Roce Cinético, fr_c (en inglés fr_k).

Si no hay movimiento relativo entre las superficies en contacto decimos que existe **una fuerza de roce estático ($\vec{fr}_e$)**, ésta fuerza se opone al movimiento inminente, es decir se opone al movimiento que está por producirse.

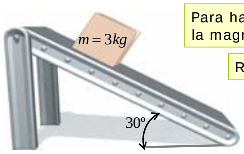
Cuando un objeto en reposo es sometido a una fuerza, la fuerza de roce estático que actúa sobre el objeto en reposo iguala la fuerza aplicada para lograr mantener en reposo al objeto, hasta alcanzar un valor máximo $\vec{fr}_{e\,max}$, a partir del cual el objeto comienza a deslizarse.



La magnitud de la fuerza de roce estático máximo, es proporcional a la magnitud de la fuerza normal: $fr_{e\,max} = \mu_e N$

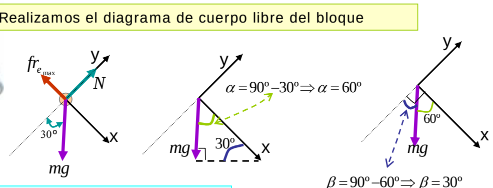
Donde μ_e, es el coeficiente de roce estático, su valor depende de la naturaleza de las superficies en contacto

Ejemplo: La figura muestra una superficie inclinada 30° respecto de la horizontal sobre la que se encuentra en reposo un bloque de masa 3kg. Se sabe que si se aumenta el ángulo de inclinación del plano, el bloque comenzará a moverse. Para la situación planteada determinar el coeficiente de roce estático presente entre las superficies.



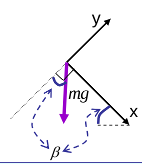
Para hallar el valor del coeficiente de roce estático es necesario calcular la magnitud de la fuerza de roce y de la fuerza normal del bloque.

Realizamos el diagrama de cuerpo libre del bloque



Debemos analizar el tipo de fuerza de roce que está presente. En este caso es un roce estático, pero para poder aplicar la expresión: $fr_{e\,max} = \mu_e N$ debemos estar seguros que la fuerza de roce estático es la máxima. En este problema esto está garantizado cuando nos dicen que 30° es el máximo ángulo de inclinación para el cual el bloque permanece en reposo.

Por lo que el coeficiente de roce estático es: $\mu_e = \dfrac{fr_{e_{max}}}{N}$

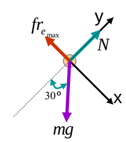


El ángulo que forma el plano inclinado y la horizontal es el mismo que forma el peso y la perpendicular al plano inclinado

Continuación

Para hallar el valor del coeficiente de roce estático es necesario calcular la magnitud de la fuerza de roce y de la fuerza normal del bloque.

Diagrama de cuerpo libre del bloque



Aplicamos Segunda Ley de Newton: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

En X: $\sum \vec{F}_x = m\,\vec{a}_x$

En Y: $\sum \vec{F}_y = m\,\vec{a}_y$

En X: $mg\,Sen30 - fr_{e_{max}} = m\,\underbrace{\vec{a}_x}_{=0}$

En Y: $N - mg\,Cos30 = m\,\underbrace{\vec{a}_y}_{=0}$

El bloque permanece en reposo sobre el plano inclinado, por lo que su aceleración es nula en la dirección del plano (x) y en la dirección perpendicular al plano (y).

En X: $fr_{e_{max}} = mg\,Sen30$

En Y: $N = mg\,Cos30$

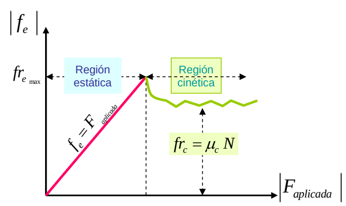
Luego el coeficiente de roce estático es: $\mu_e = \dfrac{fr_{e_{max}}}{N} \Rightarrow \mu_e = \dfrac{mgSen30}{mg\,Cos30}$

$\mu_e = Tan30 \Rightarrow \mu_e = 0{,}58$

Cuando hay velocidad relativa entre las dos superficies en contacto, existe una fuerza paralela a las superficies en contacto llamada **fuerza de roce cinético ($\vec{fr}_c$)**, esta fuerza se opone al movimiento de las superficies en contacto.

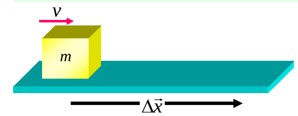
La magnitud de la fuerza de roce cinético es proporcional a la magnitud de la fuerza normal: $fr_c = \mu_c N$

Donde μ_c es el coeficiente de roce cinético y su valor depende de la naturaleza de las superficies en contacto $\mu_c \langle \mu_e$.



29

Ejemplo: Un bloque de masa 2kg, es lanzado por superficie horizontal rugosa con una rapidez de 8m /s. Después de desplazarse 20m el bloque se detiene. La figura muestra la situación planteada. Determinar el coeficiente de roce presente entre la superficie horizontal y el bloque.

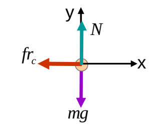


Mientras el bloque se mueve sobre la superficie horizontal, existe una fuerza de contacto paralela a la superficie, llamada fuerza de roce cinético que se opone al movimiento del cuerpo.

La fuerza de roce cinético es: $fr_c = \mu_c N$

Por lo que el coeficiente de roce cinético es: $\mu_c = \dfrac{fr_c}{N}$

Realizamos el diagrama de cuerpo libre del bloque



Para hallar el valor del coeficiente de roce cinético es necesario calcular la magnitud de la fuerza de roce y de la fuerza normal del bloque.

Aplicamos Segunda Ley de Newton: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

En X: $\sum \vec{F}_x = m\,\vec{a}_x \Rightarrow -fr_c = m\vec{a}$

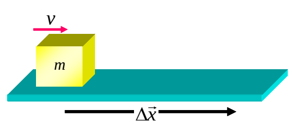
En Y: $\sum \vec{F}_y = m\,\underbrace{\vec{a}_y}_{0} \Rightarrow N - mg = 0$

A partir de esta ecuación podemos obtener la magnitud de la fuerza de roce cinético, pero para ello debemos calcular el valor de la aceleración.

De esta ecuación obtenemos la magnitud de la fuerza Normal.

30

Continuación



Cálculo de la aceleración:

A partir de las ecuaciones de cinemática de la partícula para movimiento rectilíneo uniformemente variado:

Función posición:

$\vec{x} - \vec{x}_o = \vec{v}_o\,\overset{?}{t} + \frac{1}{2}\overset{?}{\vec{a}}\,t^2 \Rightarrow \underbrace{20}_{\Delta\vec{x}} = +8t - 0{,}5at^2$

Función Velocidad:

$\vec{v} = \vec{v}_o + \overset{?}{\vec{a}}\,\overset{?}{t} \;\Rightarrow\; 0 = 8 - at \;\Rightarrow t = \dfrac{-8}{-a} = \dfrac{8}{a}$

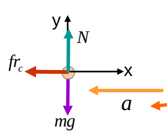
Resolviendo el sistema de ecuaciones obtenemos el módulo de la aceleración es:

$a = 1{,}6\ \ m/s^2$

Es decir que la aceleración que experimenta el bloque es: $\vec{a} = -1{,}6\,\hat{i}\ m/s^2$

Observe que el bloque se mueve hacia la derecha, lo que significa que la velocidad es positiva, después de desplazarse 20 m se detiene, esto significa que esta frenando es decir que tiene una aceleración con signo contrario al de la velocidad.

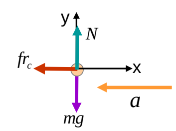
Luego el diagrama de cuerpo libre es



31

Continuación

Diagrama de cuerpo libre del bloque



Sustituyendo el valor de la aceleración en la Segunda Ley de Newton:

En X:

$\sum \vec{F}_x = m\,\vec{a}_x \Rightarrow -fr_c = -ma \Rightarrow fr_c = 2\times 1{,}6$

En Y:

$\sum \vec{F}_y = 0 \Rightarrow N - mg = 0 \Rightarrow N = mg$

Observamos cuando aplicamos segunda ley de Newton los signos de los vectores Fuerza y aceleración deben ser considerados.

De esta ecuación obtenemos que el módulo de la fuerza de roce cinético es:

$fr_c = 3{,}2$ N.

De esta ecuación obtenemos la magnitud de la fuerza Normal.

$N = 19{,}6$N.

Sustituyendo los valores de fuerza de roce cinético y fuerza normal, obtenemos el valor del coeficiente de roce cinético:

$$\mu_c = \frac{3{,}2}{19{,}6} \Rightarrow \mu_c = 0{,}16$$

32

Ahora revisemos el problema resuelto y resolvamos los problemas propuestos usando los procedimientos sugeridos en el material *Acerca de las Habilidades Cognitivas*

33