

Tema 3

Dinàmica de la partícula

Força.

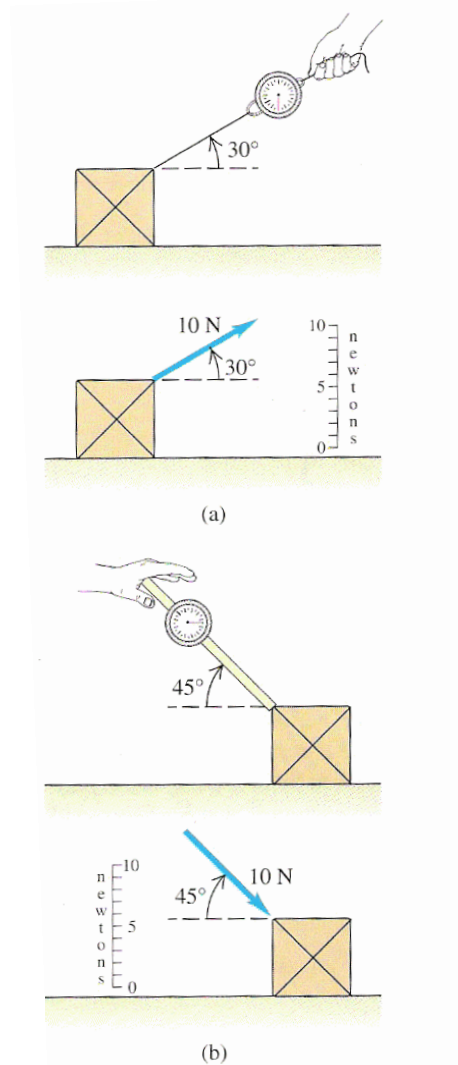
Lleis del moviment de Newton.

Aplicacions de la segona llei de Newton.

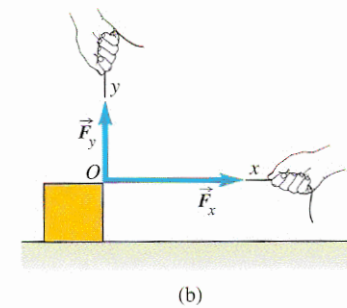
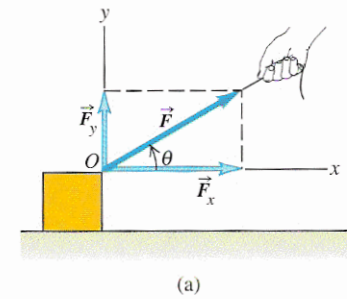
Forces de contacte i fricció.

Dinàmica del moviment circular.

Força



1-1 A force may be exerted on the box by either (a) pulling it or (b) pushing it. A force diagram illustrates each case.



4-3 The force \vec{F} , which acts at an angle θ from the x-axis, may be replaced by its rectangular component vectors \vec{F}_x and \vec{F}_y . The x- and y-components of \vec{F} are $F_x = F \cos \theta$ and $F_y = F \sin \theta$.

Components d'una força

Lleis del moviment de Newton

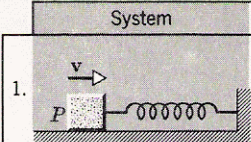
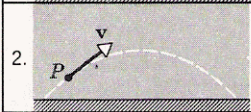
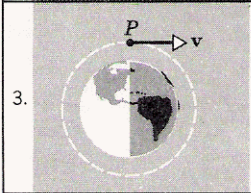
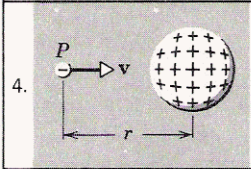
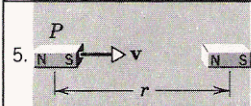
Primera llei de Newton

“Una partícula lliure en un sistema de referència inercial es mou sense acceleració, a velocitat constant.”

Si la suma de les forces que actuen sobre una partícula és zero, la quantitat de moviment (o moment lineal)

$$\vec{p} = m \vec{v}$$

és constant

| System | The Particle | The Environment |
|--|--------------|-------------------------------------|
|  | A block | The spring; the rough surface |
|  | A golf ball | The earth |
|  | A satellite | The earth |
|  | An electron | A large uniformly charged sphere |
|  | A bar magnet | A second bar magnet |

Lleis del moviment de Newton.

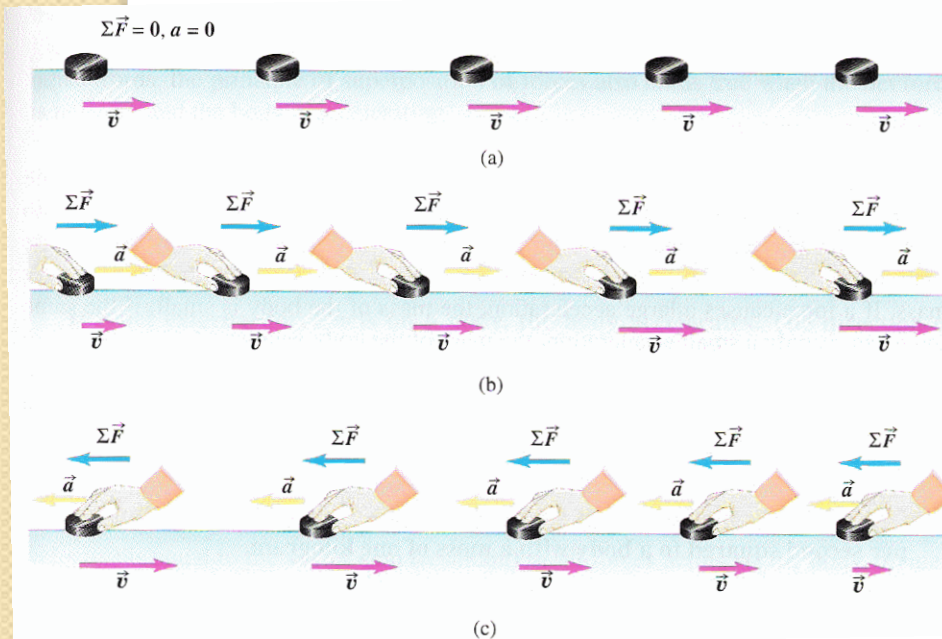
Segona llei de Newton

“La raó temporal del canvi de moment d'una partícula és igual a la força que actua sobre la partícula.”

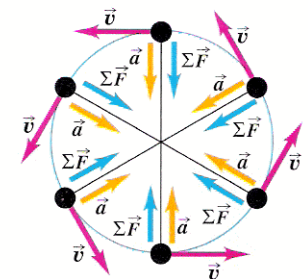
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

Si actuen diverses forces sobre la partícula, aleshores el canvi temporal del moment lineal és igual a la *resultant* de les forces,

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$$



4-9 The acceleration of a body is in the same direction as the net force acting on the body (in this case, a hockey puck on a frictionless surface). (a) If $\Sigma \vec{F} = \mathbf{0}$, the puck is in equilibrium; the velocity is constant and the acceleration is zero. (b) If $\Sigma \vec{F}$ is to the right, the acceleration is to the right. (c) If $\Sigma \vec{F}$ is to the left, the acceleration is to the left.

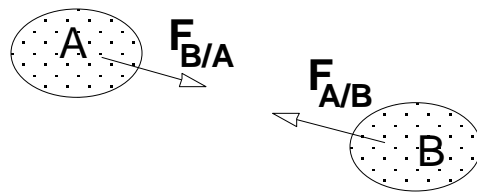


4-10 A top view of a hockey puck in uniform circular motion on a frictionless horizontal surface. At any point in the motion the acceleration \vec{a} and the net force $\Sigma \vec{F}$ are in the same direction, toward the center of the circle.

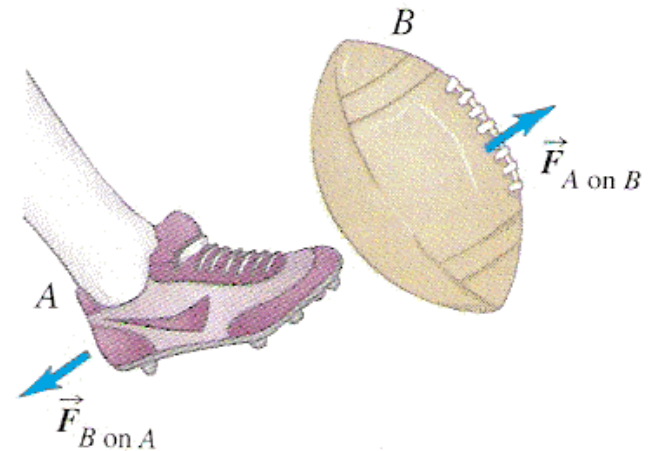
Lleis del moviment de Newton.

Tercera llei de Newton

“Quan dues partícules interaccionen, la força que la primera partícula exerceix sobre la segona és igual, i de sentit contrari, a la força que fa la segona sobre la primera.”



$$\vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{B/A} = 0$$

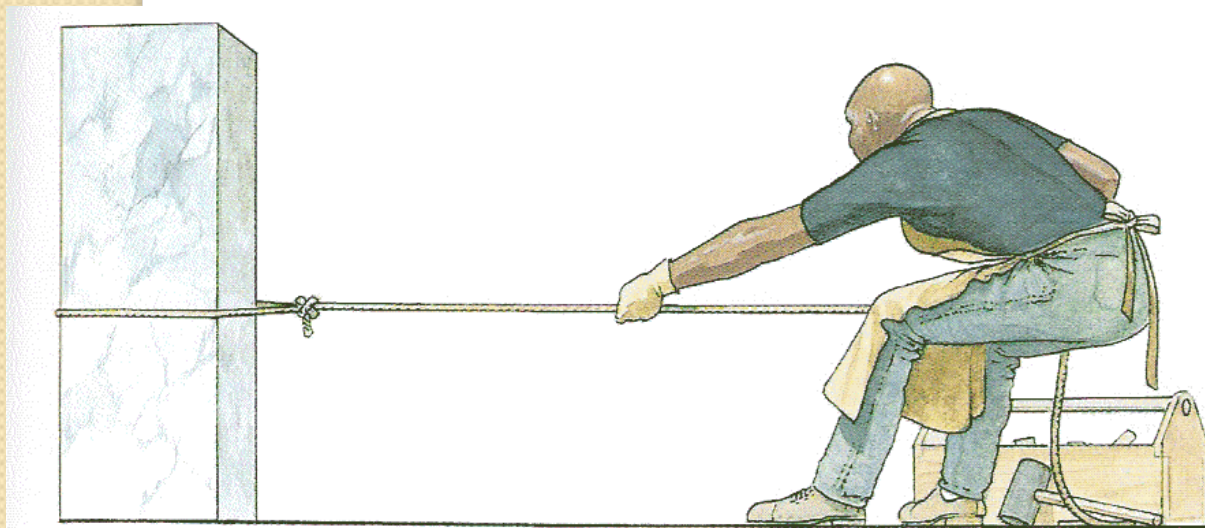


4-18 If body A exerts a force $\vec{F}_{A \text{ on } B}$ on body B , then body B exerts a force $\vec{F}_{B \text{ on } A}$ on body A that is equal in magnitude and opposite in direction: $\vec{F}_{A \text{ on } B} = -\vec{F}_{B \text{ on } A}$.

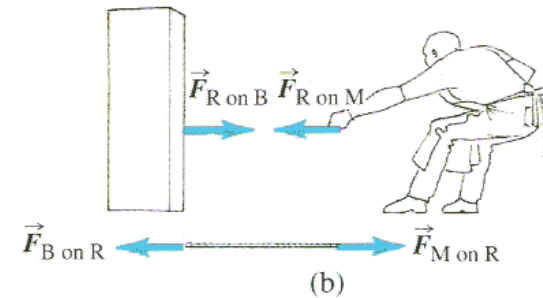
Lleis del moviment de Newton.

Tercera llei de Newton

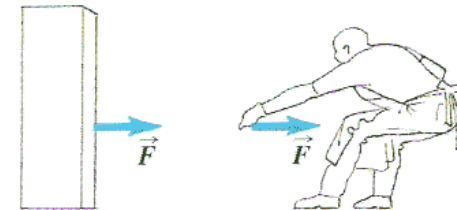
“Quan dues partícules interaccionen, la força que la primera partícula exerceix sobre la segona és igual, i de sentit contrari, a la força que fa la segona sobre la primera.”



(a)



(b)



(c)

4-20 (a) A mason pulls on a rope attached to a block. (b) Separate diagrams showing the force of the rope on the block, the force of the rope on the mason, and the forces of the block and the mason on the rope. (c) If the rope is not accelerating or if its mass can be neglected, it can be considered to transmit an undiminished force from the mason to the block, and vice versa.

Lleis del moviment de Newton.

Diagrama de sòlid lliure

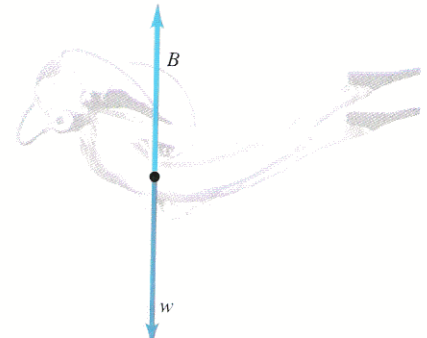
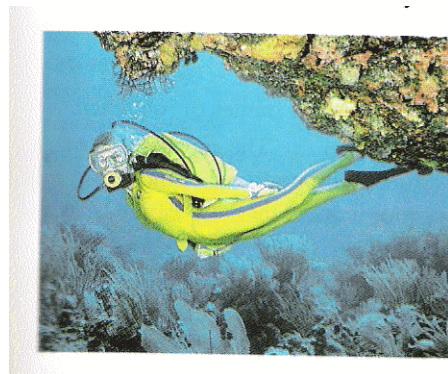
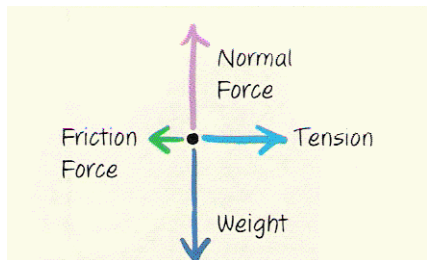
Consisteix en un diagrama que mostra el cos aïllat de tot el seu entorn, i amb vectors que mostren les forces aplicades sobre el cos per altres cossos que interaccionen amb ell.

El dibuix del cos mateix pot ser molt esquemàtic.

Hem de incloure *totes* les forces que actuen sobre el cos, i *no* hem de incloure les que el cos fa sobre altres cossos de l'entorn.

En particular, els parells d'acció i reacció mai poden aparèixer en un mateix diagrama ja que aqueixos parells no actuen sobre un mateix cos (segons la tercera llei de Newton).

Per a cada força del diagrama, s'ha de saber quin altre cos la causa.

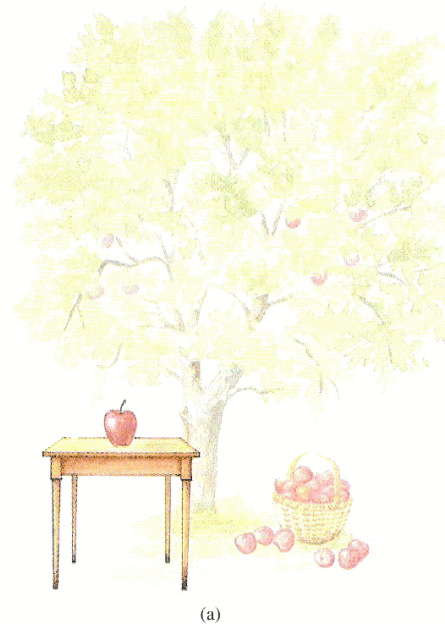
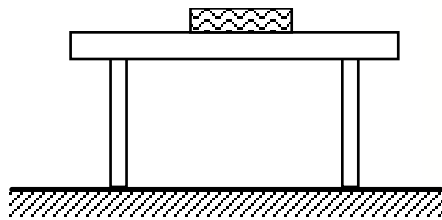


Lleis del moviment de Newton.

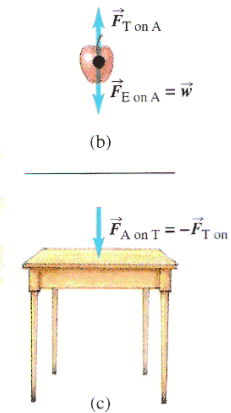
Quan dues superfícies es troben en contacte cadascuna exerceix sobre l'altra una força anomenada *força normal*, N . Aquesta força normal és sempre *perpendicular a les superfícies en contacte*.

Problema

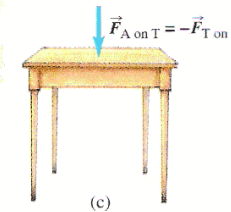
Un llibre resta damunt d'una taula. Considerem el sistema taula-llibre i identifiquem totes les forces que hi ha.



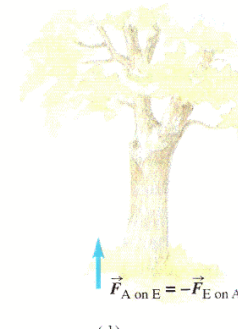
(a)



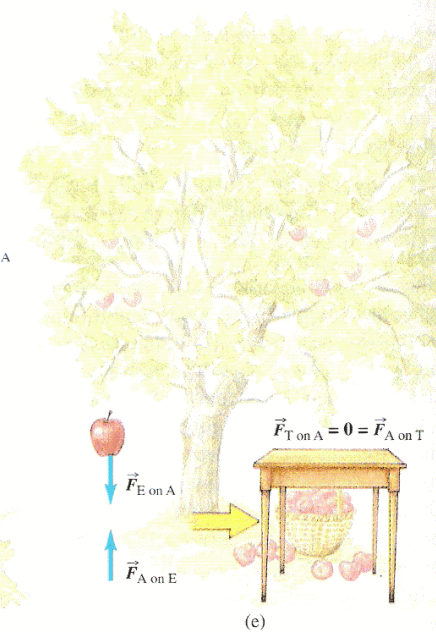
(b)



(c)



(d)



(e)

4-19 The two forces in an action-reaction pair always act on different bodies.

Lleis del moviment de Newton.

Problema

Una grua sosté un pes de 1000 kg. Calculeu la tensió del cable que la suporta si:

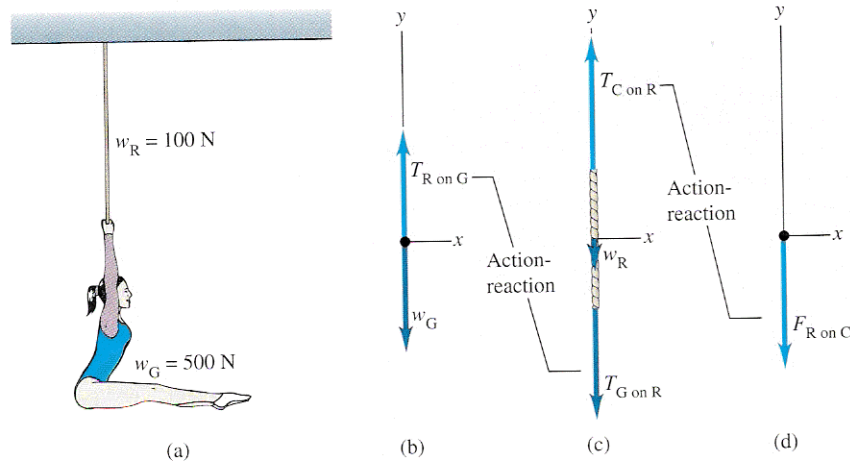
- a) El pes s'accelera cap amunt a 2 m/s^2 .
- b) S'aixeca el pes amb velocitat constant.
- c) El pes s'aixeca amb una velocitat que disminueix 2 m/s en cada segon.

Equilibri d'una partícula.

Condicció d'equilibri

Diem que un cos està en *equilibri* si cada punt del cos es mou amb la mateixa velocitat constant. Aquesta velocitat ha de ser determinada respecte d'un sistema de referència inercial. Quan un cos es troba en equilibri, la suma vectorial de les forces que actuen sobre ell és zero.

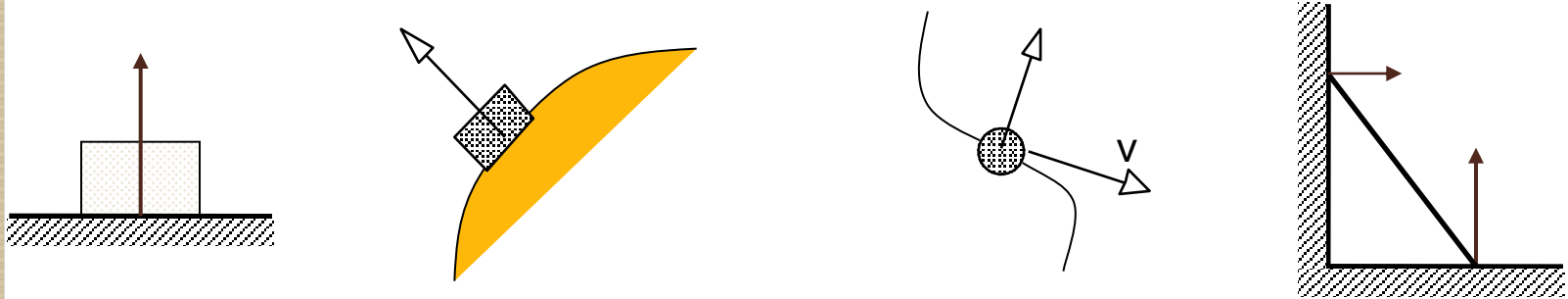
$$\sum \vec{F} = \mathbf{0}$$



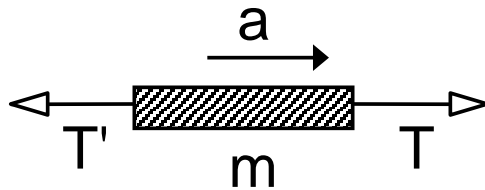
Forces de contacte i fricció

Força Normal

Quan dues superfícies es troben en contacte cadascuna exerceix sobre l'altra una força anomenada *força normal*, N. Aquesta força normal és **sempre perpendicular a les superfícies en contacte**.



Tensió



$$\sum \vec{F} = m_{\text{corda}} \vec{a}$$

$$\vec{T} + \vec{T}' = m_{\text{corda}} \vec{a}$$

$$\text{Si } m_{\text{corda}} = 0 \text{ ó } a = 0 \rightarrow \boxed{T = T'}$$

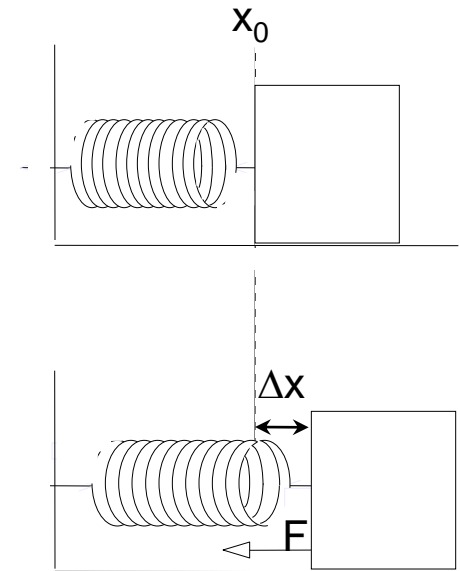
Forces de contacte i fricció

Força exercida per una molla: Llei de Hook

Considerem una molla en repòs, de longitud x_0 , enganxada a un bloc com en la Fig. 5a. Si estirem el bloc, la molla exerceix una força proporcional a la distància addicional que ha adquirit, $\Delta x = (x - x_0)$ o *elongació* (Fig. 5b),

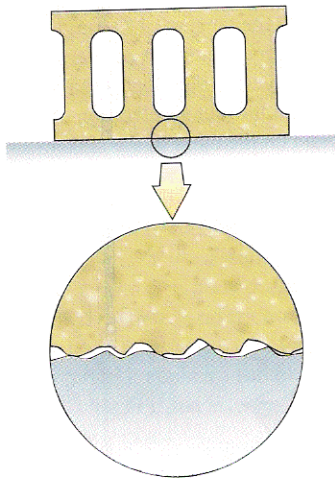
$$F = -k(x - x_0)$$

Es coneix aquesta equació com a *llei de Hooke*. El signe $-$ és degut al fet que es tracta d'una *força restauradora*.



Forces de contacte i fricció

Fricció estàtica i dinàmica

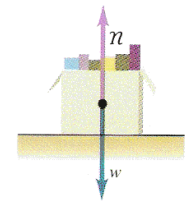
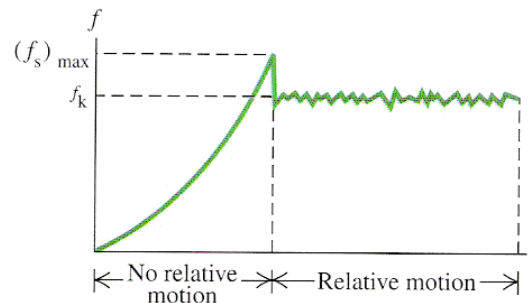


5-15 The normal and friction forces arise from interactions between molecules at high points on the surfaces of the block and the floor.

(a)-(b): Apliquem una força F , que augmenta progressivament, sobre el bloc. La fricció dóna lloc a una força F_e (força de fregament estàtic) que equilibra, exactament, la força aplicada. No hi ha moviment.

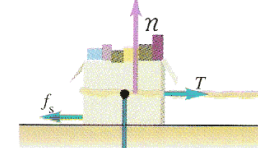
c): El fregament ja no pot compensar la força aplicada. El bloc accelera.

(d): Hi ha un fregament (força de fregament dinàmica) que s'oposa al moviment. És menor que la que va caldre per a arrancar.



(a)

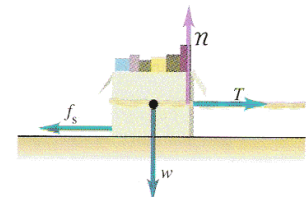
(No sliding)



$$f_s < \mu_s n$$

(b)

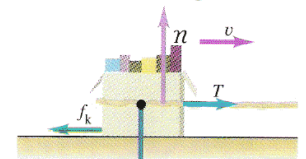
(Just about to slide)



$$f_s = \mu_s n$$

(c)

(Now sliding)



$$f_k = \mu_k n$$

(d)

5-16 (a), (b), (c) When there is no relative motion of the surfaces, the magnitude of the static friction force f_s is less than or equal to $\mu_s n$. (d) When there is relative motion, the magnitude of the kinetic friction force f_k equals $\mu_k n$.

Forces de contacte i fricció

Fregament estàtic

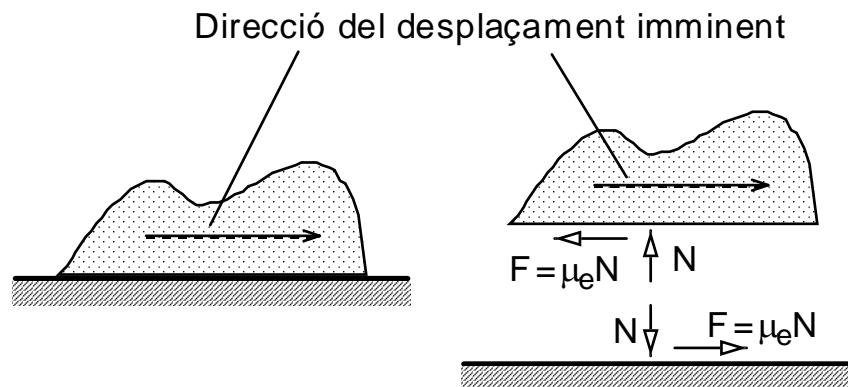
- F_e no és constant: el seu valor és tal que equilibra la força aplicada en la direcció tangent a la superfície.
- F_e té un valor límit que no pot superar. Aquest valor límit és el de *lliscament imminent*. El valor numèric de la força de fregament estàtic en lliscament imminent és proporcional a la normal que actua entre les superfícies,

$$F_{e,màx} = \mu_e N$$

$$F_e \leq F_{e,màx}$$

on μ_e és el *coeficient de fregament estàtic*. Aquest coeficient depèn del material, poliment, grau d'humitat, etc., de les superfícies en contacte.

La direcció de la força de fregament estàtic és contrària a la direcció de lliscament imminent



3.5. Forces de contacte i fricció

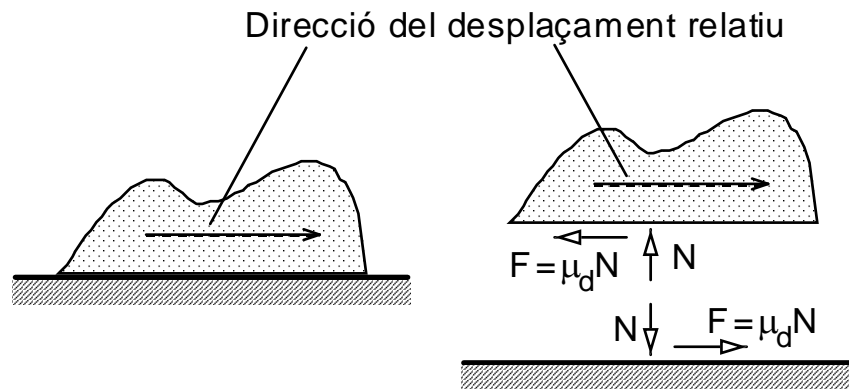
Fregament dinàmic

- F_d és constant, i això independentment de la velocitat relativa entre les superfícies.
- El valor de F_d és proporcional a la normal entre les superfícies

$$F_d = \mu_d N$$

on μ_e és el *coeficient de fregament dinàmic*. Aquest coeficient depèn del material, pulimentat, grau d'humitat, etc., de les superfícies en contacte.

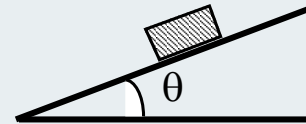
- La direcció de la força de fregament dinàmic que actua sobre un cos coincideix amb la direcció i sentit de la velocitat relativa de la superfície que s'oposa al moviment del cos



Forces de contacte i fricció

Problema

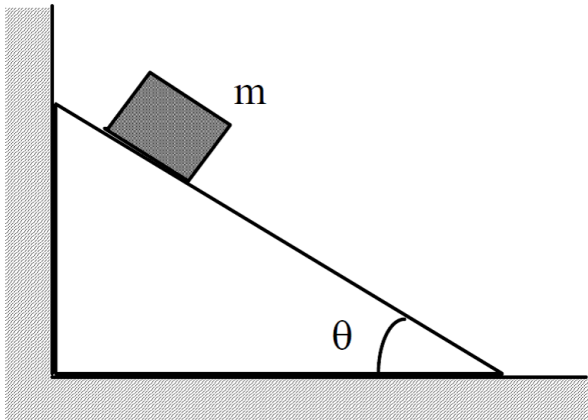
A base d'assaig i error, trobem que una moneda comença a lliscar sobre la tapa d'un llibre quan aquest està inclinat un angle $\theta = 13^\circ$. ¿Quant val el coeficient de fregament estàtic entre la moneda i el llibre?



Lleis del moviment de Newton.

Problema

Determina la força que exerceix sobre la paret una falca en lliscar per ella certa càrrega de massa m . L'angle de la base de la falca és θ . El coeficient de fregament entre la càrrega i la superfície de la falca és μ . Negligeix el fregament entre la falca i el sòl.

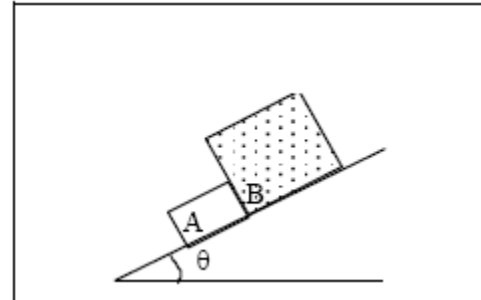


Forces de contacte i fricció

Problema

Les masses dels blocs A i B de la figura són 12 kg i 52 kg respectivament. Hem de trobar les forces que els blocs exerceixen l'un sobre l'altre quan llisquen cap avall pel pla, sabent que el coeficients de fregament dinàmic entre cada bloc i el pla són $\mu_A=0.20$ i $\mu_B=0.10$.

Sol: $F=30\text{ N}$



Forces Fregament entre fluids

Forces d'arrosegament en un fluid

Si el moviment esdevé amb velocitats prou baixes com perquè el flux al voltant de l'objecte siga regular (laminar), la força de fricció és aproximadament proporcional a la velocitat

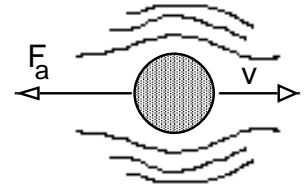
$$F_a = kv$$

on la constant k depén de la viscositat del fluid i de la dimensió i forma de l'objecte. Aquesta es coneix com la llei de Stokes

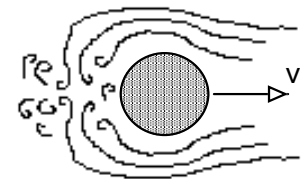
En canvi, si el moviment ocorre amb una velocitat gran, de manera que el flux del fluid darrere el cos és turbulent, la força d'arrosegament adopta la forma proporcional al quadrat de la velocitat

$$F_a = bv^2$$

i la constant b depén de la densitat del fluid i de la forma i dimensions de l'objecte. Aquesta és la llei d'arrosegament de Newton.



Flux laminar



Flux turbulent

Forces Fregament entre fluids

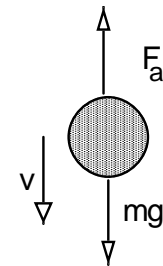
Caiguda en un fluid i velocitat terminal

La caiguda d'un cos en vertical en un medi fluid es descriu segons la segona llei de Newton per mitjà de l'equació

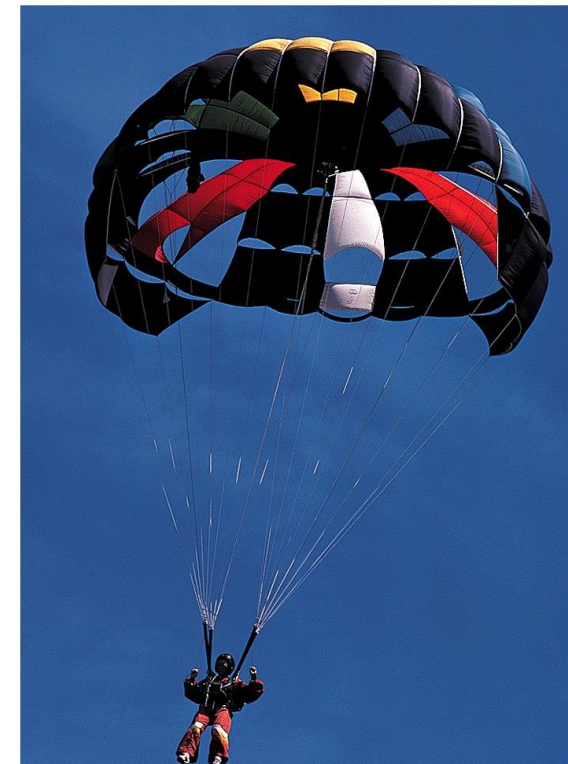
$$\text{si } F_a = kv$$
$$m \frac{dv}{dt} = mg - F_a(v) = mg - kv$$

Quan l'acceleració siga 0,

$$0 = mg - k v_{lim} \rightarrow v_{lim} = \frac{mg}{k}$$



Caiguda d'un cos



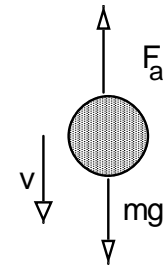
Forces de contacte i fricció

Problema

Una pedra menuda cau verticalment dins aigua en un estany. El seu moviment esta regulat per l'equació

$$m \frac{dv}{dt} = mg - kv$$

Calculem la velocitat en funció del temps integrant l'equació anterior.
Calculem també la velocitat a temps llarg, prenent un limit en $v(t)$.



Dinàmica del moviment circular.

Components normal i tangencial

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

Es pot descomposar en les components normal i tangencial

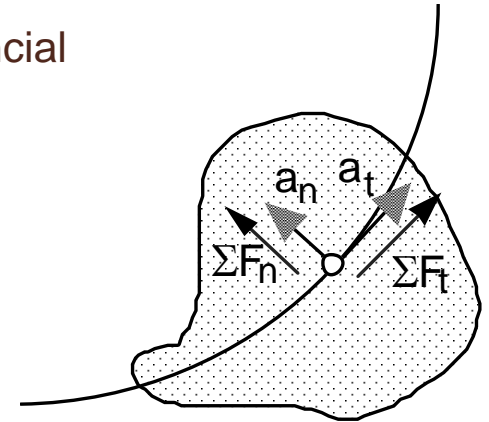
$$\sum F_t \vec{e}_t + \sum F_n \vec{e}_n = m(a_t \vec{e}_t + a_n \vec{e}_n)$$

on

$$a_t = \frac{dv}{dt}; \quad a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

Així, obtenim

$$\sum F_t = m \frac{dv}{dt}; \quad \sum F_n = m \frac{v^2}{\rho}$$



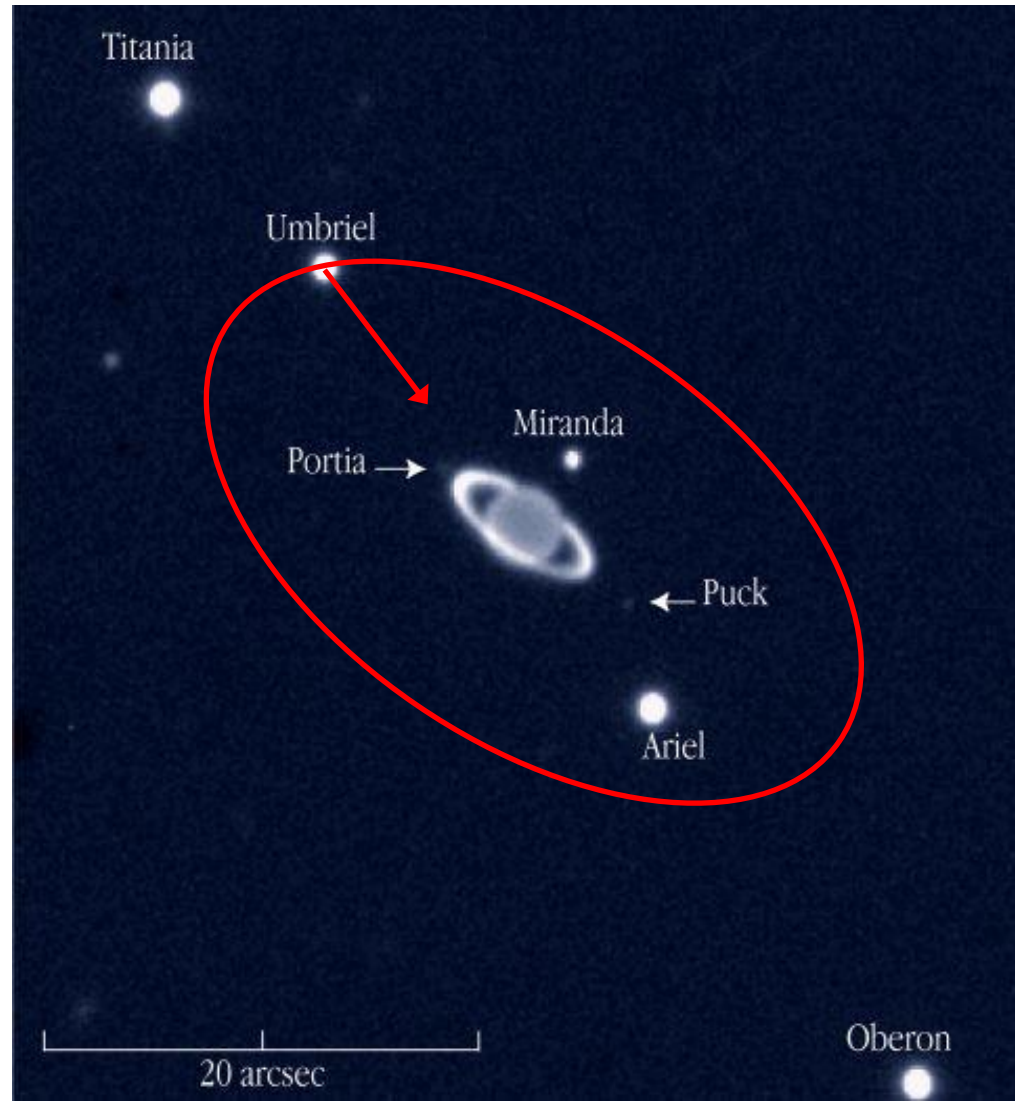
Dinàmica del moviment circular.

Moviment Circular

$$\sum F_t = ma_t = m \frac{dv}{dt}$$

$$\sum F_n = ma_n = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R$$

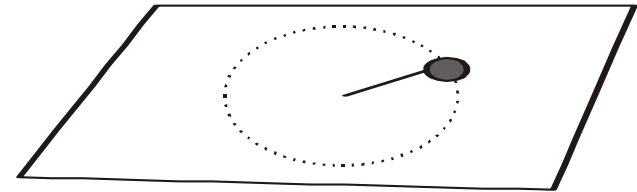
↑
 $v = \omega R$



Dinàmica del moviment circular.

Problema

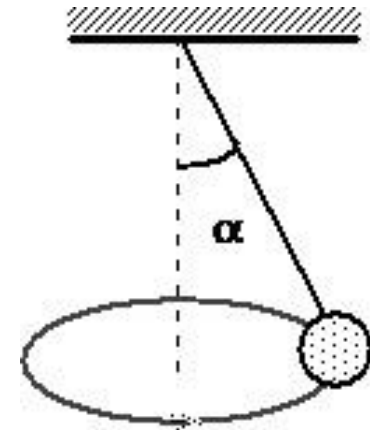
Un disc de plàstic de massa 0.200 kg efectua revolucions damunt una taula sense fricció. El disc està nugat amb una corda de 0.200 m a un clau fix a la taula. Si el disc fa dues revolucions completes per segon, troba la força que la corda efectua sobre el disc.



Dinàmica del moviment circular.

Problema

Una massa suspesa d'un punt fix mitjançant una corda de longitud L gira entorn de la vertical amb velocitat angular ω . Hem de trobar l'angle que forma la corda d'aquest "pèndol cònic" amb la vertical.

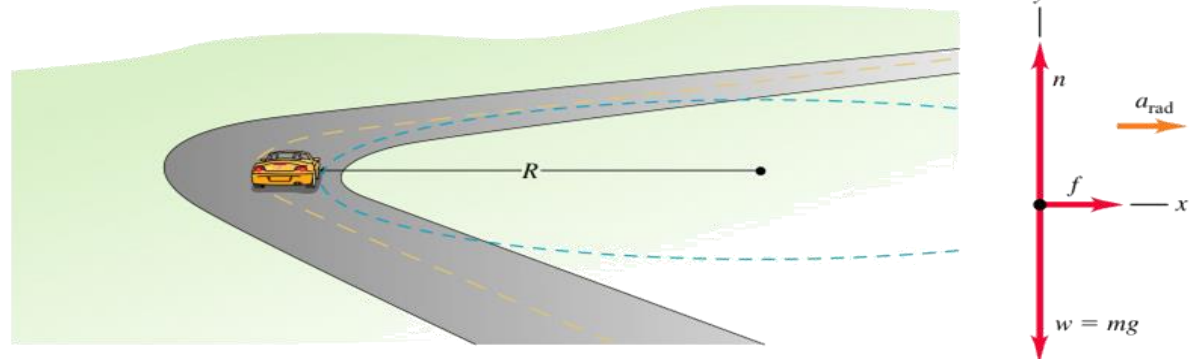


Dinàmica del moviment circular.

Problema

Un cotxe amb una massa m de 1610 kg, ha de prendre una corba sense peralt, de radi $R=190$ m, a una velocitat de 72 km h^{-1} .

a) ¿Quin ha de ser el mínim coeficient de fregament estàtic μ_e entre les rodes i la carretera?



b) ¿Quin hauria de ser el peralt perquè el cotxe no se n'isquera de la carretera si es formava una capa de gel sobre ella ($\mu_e \approx 0$)?

