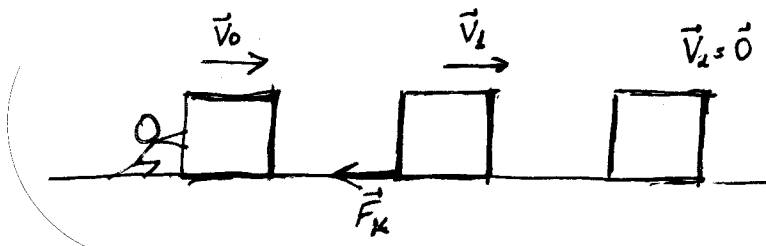


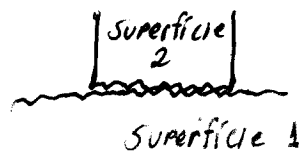
* Atrito.

Quando empurramos uma caixa sobre o solo e, logo em seguida, a soltamos, naturalmente a caixa vai diminuindo sua velocidade até parar. Desprezando a resistência do ar, dizemos que existe uma força \vec{F}_k atuando na caixa, contrária ao deslizamento da mesma, responsável pela sua desaceleração, aplicada pelo solo.



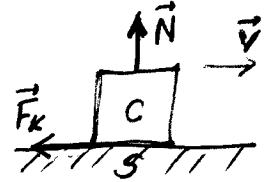
É claro que, pela 3ª Lei de Newton, a caixa aplica uma força $-\vec{F}_c$ no solo. A força \vec{F}_k é conhecida como força de atrito de deslizamento.

A força de atrito ocorre devido ao fato de os corpos apresentarem rugosidade nas suas superfícies. A nível atômico, ocorrem as chamadas "soldagens a frio" entre os pontos mais salientes (forças de coesão, quando as superfícies são feitas de mesmo material e forças de adesão, quando feitas de materiais diferentes). Polindo as superfícies, diminui-se o atrito inicialmente (menos pontos salientes); porém, a partir de certo momento, continuar polindo gera mais soldagens a frio, uma vez que uma maior quantidade de átomos estarão próximos o suficiente para se ligarem. Além disso, lubrificar as superfícies (materiais de baixo poder de adesão) também diminui o atrito.



→ Força de atrito cinético

A força de atrito de deslizamento também é chamada de força de atrito cinético. Ela sempre se opõe ao deslizamento.



Experimentalmente, verifica-se que (ver figura):

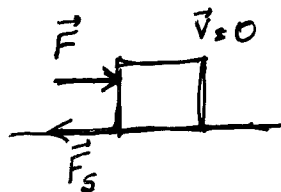
- 1) A força de atrito é aproximadamente independente da velocidade do corpo C em relação à superfície S.
- 2) A força de atrito não depende da área macroscópica da região de contato entre os corpos.
- 3) A intensidade de \vec{F}_k é proporcional à intensidade da força normal \vec{N} entre os corpos em contato:

$$\boxed{F_k = \mu_k \cdot N}, \text{ (não é equação vetorial!!)}$$

onde μ_k é denominado coeficiente de atrito cinético, e é adimensional; ele depende dos materiais em contato.

→ Força de atrito estático

Vamos imaginar que a caixa da situação no início da seção não se mova; ou seja, a pessoa aplica uma certa força \vec{F} mas não consegue movê-la. Qual a resultante das forças sobre a caixa?



F_s : força de atrito estático.

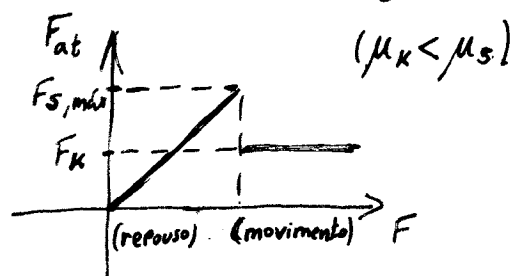
Pela primeira lei de Newton, $\vec{F}_R = 0$. Quando a pessoa aplica \vec{F} , aparece uma força contrária \vec{F}_s , exercida pelo solo, com a mesma intensidade de \vec{F} . Se a pessoa aumenta a intensidade de \vec{F} , \vec{F}_s aumenta igualmente até um certo limite $F_{s,\max}$, denominada força de atrito estático máximo, a partir da qual o corpo tende a entrar em movimento.

Experimentalmente, a equação para $F_{s,\max}$ é semelhante a da F_k :

$$F_{s,\max} = \mu_s N$$

onde μ_s é o coeficiente de atrito estático. Em geral, μ_s e μ_k são diferentes ($\mu_s > \mu_k$ em geral).

Graficamente, a intensidade da força de atrito recebida por um corpo em função da intensidade da força que o solicita ao escorregamento, desde o repouso até escorregar, é dada por:



F_{at} : força de atrito (cinética ou estática).

* Força de Arrasto e velocidade terminal

Quando existe movimento relativo entre um fluido e um corpo sólido, o corpo experimenta uma força de arrasto \vec{D} , que se opõe ao movimento relativo e é paralela à direção do movimento relativo do fluido. Supondo um corpo não fino e pontiagudo se movendo rapidamente no ar, temos que

$$D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

onde C é o coeficiente de arrasto, ρ é a massa específica do ar (massa por unidade de volume) e A é a área da seção reta efetiva do corpo (seção reta perpendicular à velocidade \vec{v}).

Numa queda de um corpo (nas condições acima), a partir do repouso, no ar, pela 2ª Lei de Newton, podemos escrever:

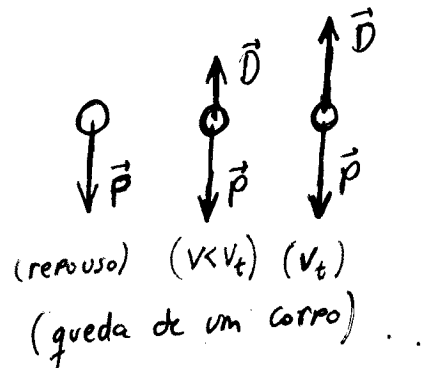
$$\vec{F}_r = m \vec{a}$$

$$F_{r,y} = m a_y \Rightarrow D - P = m a$$

O corpo cai aceleradamente com D aumentando com o tempo e eventualmente, $D = P$, o que implica que $a = 0$. Dizemos que o corpo começa a cair com velocidade constante v_t , chamada de velocidade terminal, cujo valor é:

$$D - P = 0 \Rightarrow \frac{1}{2} C \rho A v_t^2 - mg = 0$$

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}$$



* Força resultante centrípeta ou força centrípeta

A força centrípeta não é um novo tipo de força. Ela simplesmente está associada a forças que se orientam na direção do raio em trajetórias curvas. A força resultante centrípeta sempre aponta para o centro dessa curva. Ela pode ser, por exemplo, uma força de atrito, uma força gravitacional, a força feita por uma corda, etc., ou seja, forças que mantenham corpos descrevendo movimentos com trajetórias curvas (como o Movimento Circular Uniforme!). Portanto, uma força centrípeta acelera um corpo modificando a direção da velocidade do corpo sem mudar a velocidade escalar.

De acordo com a 2ª Lei de Newton e sabendo que o módulo da aceleração centrípeta é $a_c = v^2/R$, podemos escrever:

$$\vec{F}_c = m \cdot \vec{a}_c \quad (\text{Força resultante centrípeta})$$

$$F_c = m \frac{v^2}{R}$$

(Módulo da força resultante centrípeta).

