

26/Fev/2018 – Aula 3

- 3. Leis de Newton (leis do movimento)
 - 3.1 Conceitos básicos
 - 3.2 Primeira lei (inércia)
 - 3.2.1 Referenciais de inércia
 - 3.3 Segunda lei ($F=ma$)
 - 3.4 Terceira lei (reação)
 - 3.4.1 *Peso e peso aparente*
 - 3.4.2 *Força normal*



28/Fev/2018 – Aula 4

4. Aplicações das leis de Newton do movimento

- 4.1 Força de atrito
- 4.2 Força de arrastamento

Exemplos

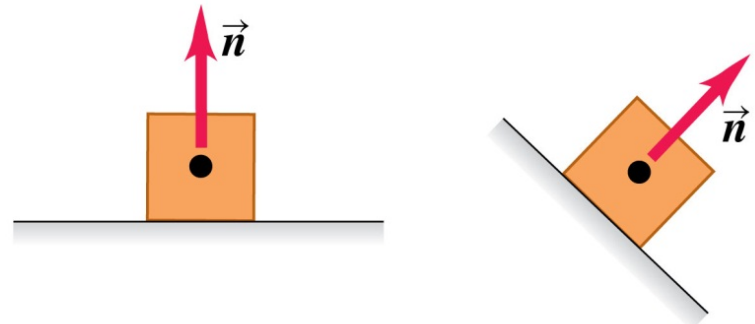


3.1 Conceitos básicos

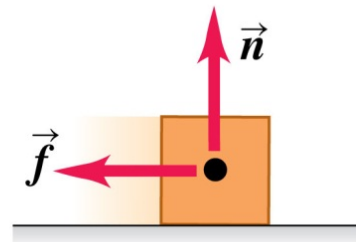
Força normal: quando um objeto *empurra* uma superfície, esta *empurra-o* como reação, perpendicularmente à superfície. É uma força de contacto.

Força de fricção: para além da força normal, pode existir uma força (de fricção), paralelamente à superfície e no sentido contrário ao do movimento. É uma força de contacto.

(a) **Normal force \vec{n} :** When an object rests or pushes on a surface, the surface exerts a push on it that is directed perpendicular to the surface.



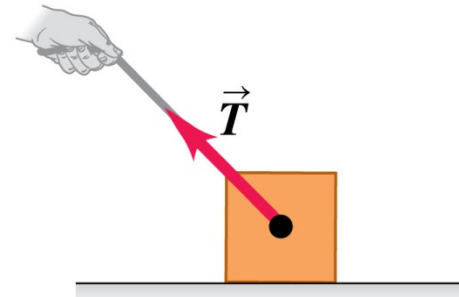
(b) **Friction force \vec{f} :** In addition to the normal force, a surface may exert a frictional force on an object, directed parallel to the surface.



3.1 Conceitos básicos

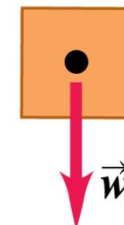
Força de tensão: força exercida por um fio ou uma corda, sobre um objeto. É uma força de contacto.

(c) **Tension force \vec{T} :** A pulling force exerted on an object by a rope, cord, etc.



Peso: força da gravidade exercida sobre um objeto. É uma força de longo alcance.

(d) **Weight \vec{w} :** The pull of gravity on an object is a long-range force (a force that acts over a distance).

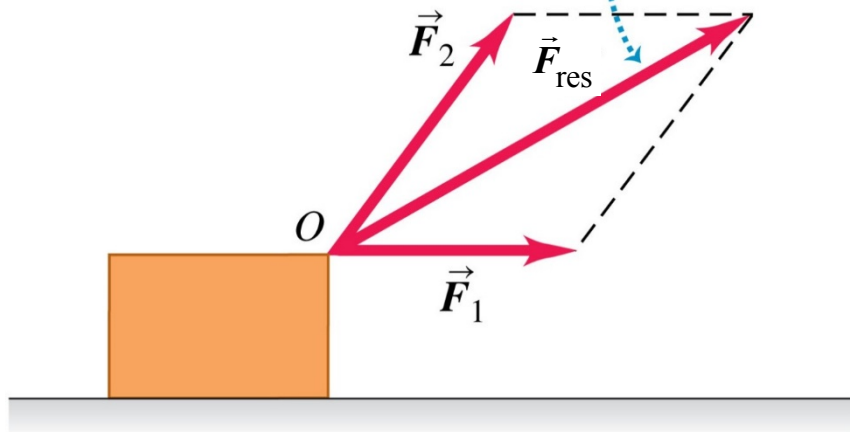


3.1 Conceitos básicos

Várias forças aplicadas num ponto de um objeto têm o mesmo efeito que a **força resultante**, igual à soma vetorial das várias forças.

$$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

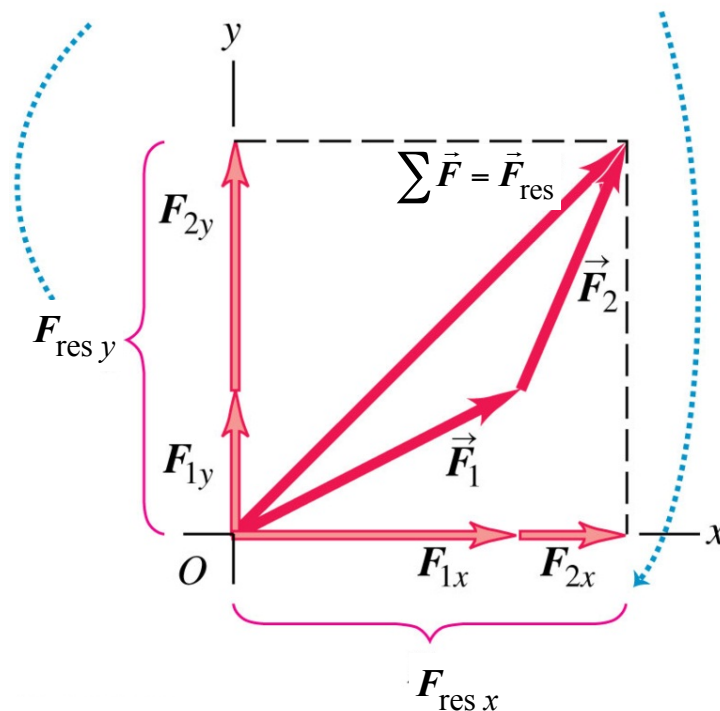
Two forces \vec{F}_1 and \vec{F}_2 acting on a body at point O have the same effect as a single force \vec{R} equal to their vector sum.



\vec{R} is the sum (resultant) of \vec{F}_1 and \vec{F}_2 .

The y -component of \vec{R} equals the sum of the y -components of \vec{F}_1 and \vec{F}_2 .

The same goes for the x -components.

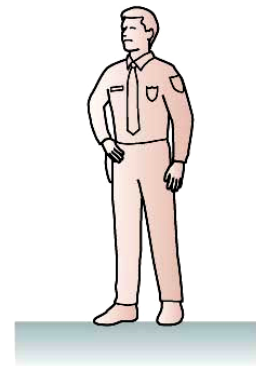


3.2 Primeira Lei de Newton (lei da Inércia)

Primeira Lei de Newton: *se a resultante das forças que atuam numa partícula for nula, então essa partícula livre move-se sempre em linha reta com velocidade constante (sem aceleração), ou está em repouso.*

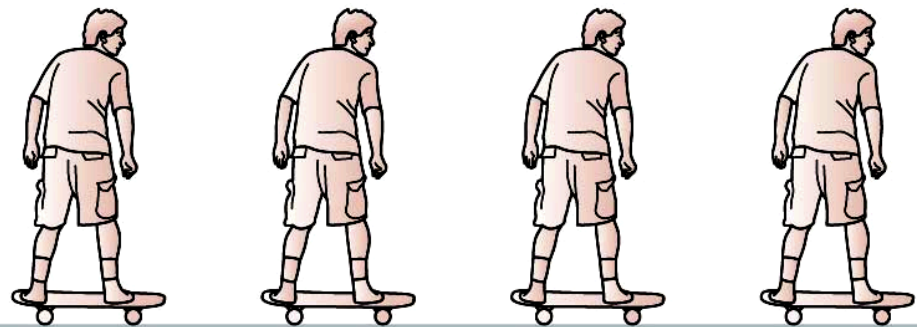
An object at rest is
in static equilibrium:

$$\vec{F}_{\text{net}} = \vec{0}.$$



$$\vec{v} = \vec{0} \quad \bullet$$

$$\vec{a} = \vec{0}$$



$$\vec{v} \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet$$

$$\vec{a} = \vec{0}$$

An object moving in a straight line at constant velocity is in dynamic equilibrium: $\vec{F}_{\text{net}} = \vec{0}$.

3.3 Segunda Lei de Newton

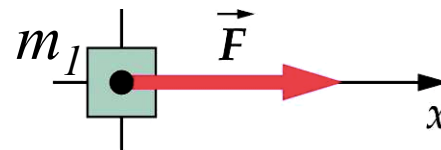
Segunda lei de Newton: o vetor aceleração de uma partícula é proporcional ao vetor força resultante, que nela atua.

$$\left. \begin{array}{l} a \propto F \\ a \propto \frac{1}{m} \end{array} \right\} a = \frac{F}{m} \Rightarrow \vec{F} = m \vec{a} \Rightarrow \boxed{\sum \vec{F} = m \vec{a}}$$

$$[F] = \text{Newton} = \text{kg m/s}^2$$

Exemplo: uma força de 3 N provoca uma aceleração de 2 m/s² num objeto. Qual é a sua massa?

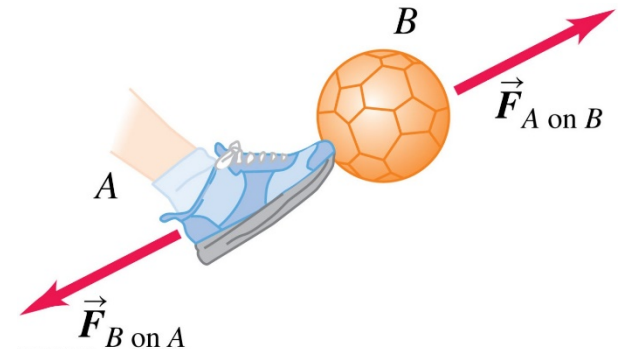
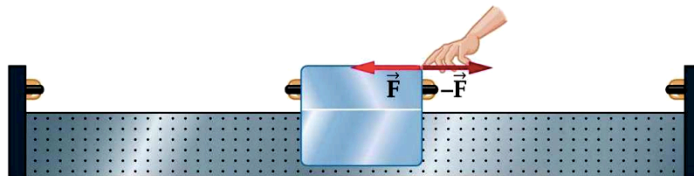
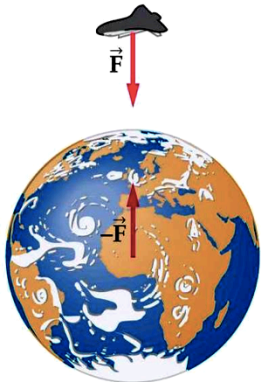
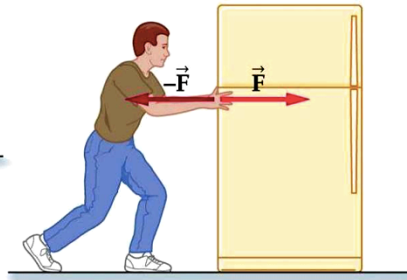
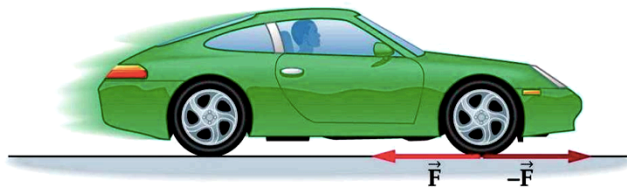
$$m_1 = \frac{F}{a_1} = \frac{(3 \text{ N})}{(2 \text{ m/s}^2)} = 1,5 \text{ kg}$$



3.4 Terceira Lei de Newton

Terceira lei de Newton: se uma partícula exercer noutra uma força \vec{F} , então a segunda partícula exerce na primeira uma força \vec{R} , de igual módulo e de sentido contrário:

$$\vec{F} = -\vec{R}$$



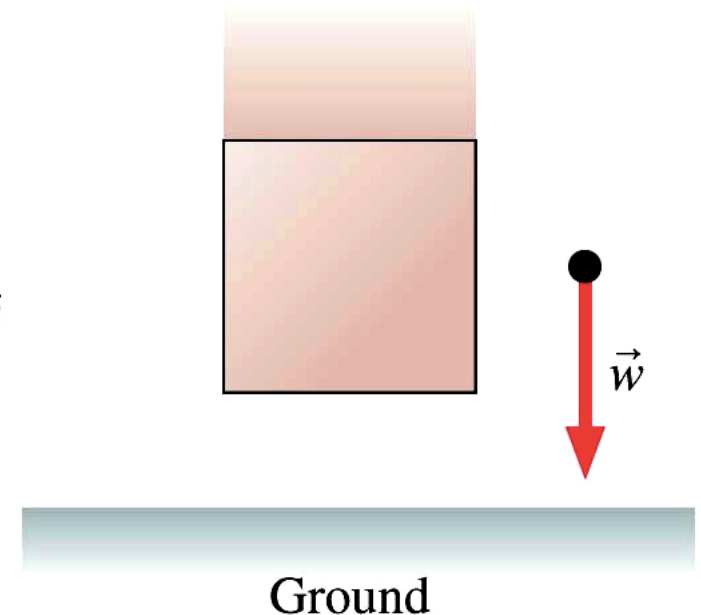
3.4.1 Peso e peso aparente

O **peso** é uma força que representa a interação atrativa que a Terra exerce sobre cada corpo, através do campo gravítico. A intensidade do campo é definida pela força que atua na unidade de massa

$$\vec{g} = \frac{\vec{G}}{m}$$

No diagrama de forças, o peso é representado pelo vetor $m\vec{g}$, dirigido verticalmente para baixo. Note-se que a reação da força gravitacional atua, de acordo com a terceira lei de Newton, no centro da Terra, pelo que o seu efeito é sempre desprezável. *Por outras palavras, não é preciso contabilizar nenhuma reação ao peso.*

The weight force pulls the box down.



$$g = 9,81 \text{ m/s}^2; \quad \vec{P} = \vec{w} = m\vec{g}$$

3.4.1 *Peso e peso aparente*

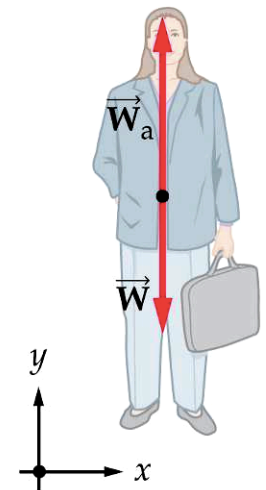
A percepção que temos do nosso **peso** depende das forças de contacto entre o nosso corpo e o ambiente.

Se o ambiente estiver a acelerar, o peso **aparente** pode ser maior ou menor do que o peso real.

Physical picture

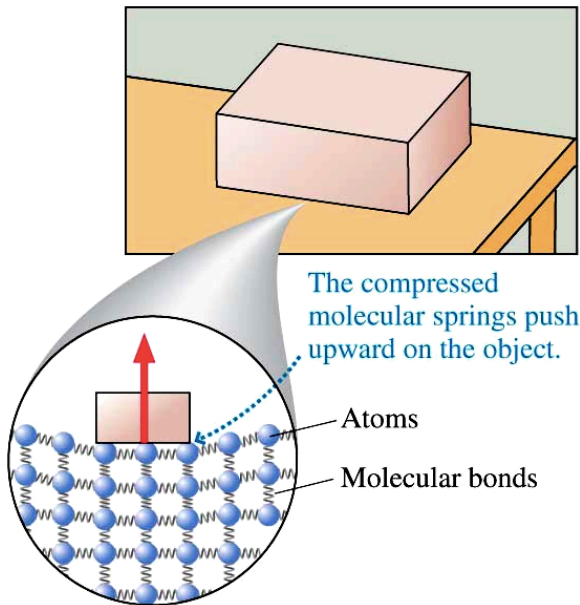


Free-body diagram

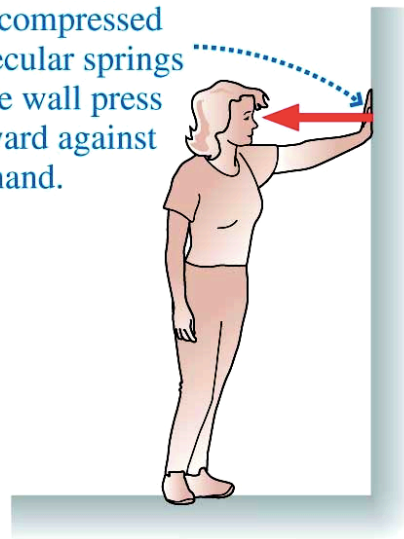


3.4.2 Força normal

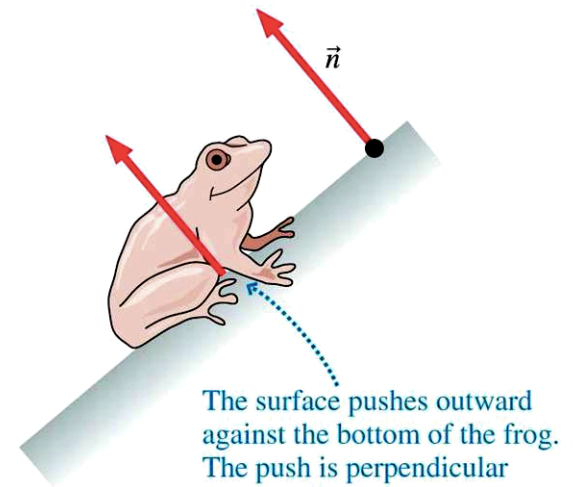
Um objeto sólido opõe resistência à ação de outra força que o comprime. A essa resistência dá-se o nome de **força normal**. Esta força é sempre dirigida perpendicularmente e para fora da superfície comprimida.



The compressed molecular springs in the wall press outward against her hand.

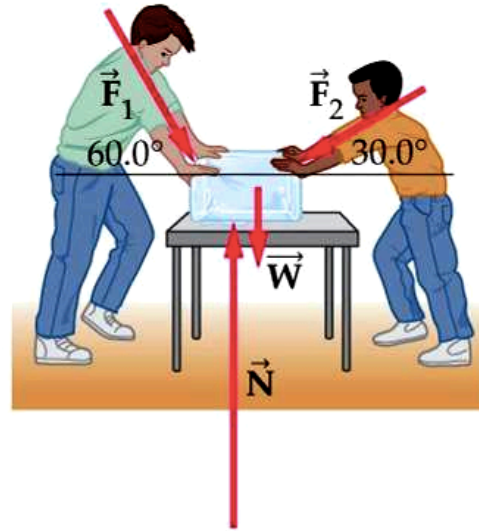


The surface pushes outward against the bottom of the frog. The push is perpendicular to the surface.

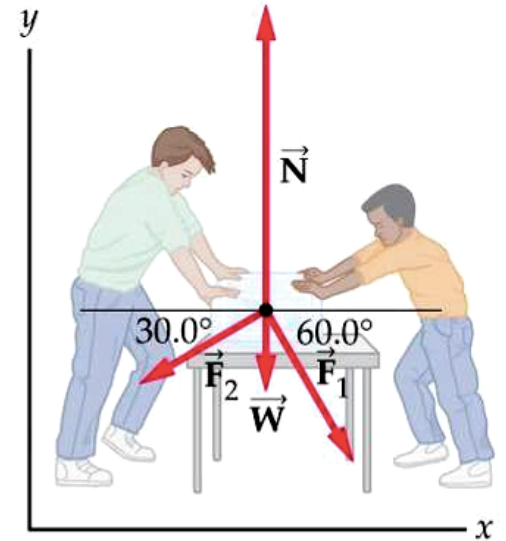


3.4.2 Força normal

A força normal pode ser igual, mais pequena ou maior do que o peso,



Physical picture



Free-body diagram

mas é sempre perpendicular à superfície que a produz.



Exemplo

Um trenó é puxado por uma corda, com uma força de 150 N, fazendo 25° com a horizontal. A massa total do sistema é 80 kg e o atrito entre o trenó e o gelo é desprezável. Determine:

- a) a aceleração do trenó; b) o valor da força normal exercida na superfície.

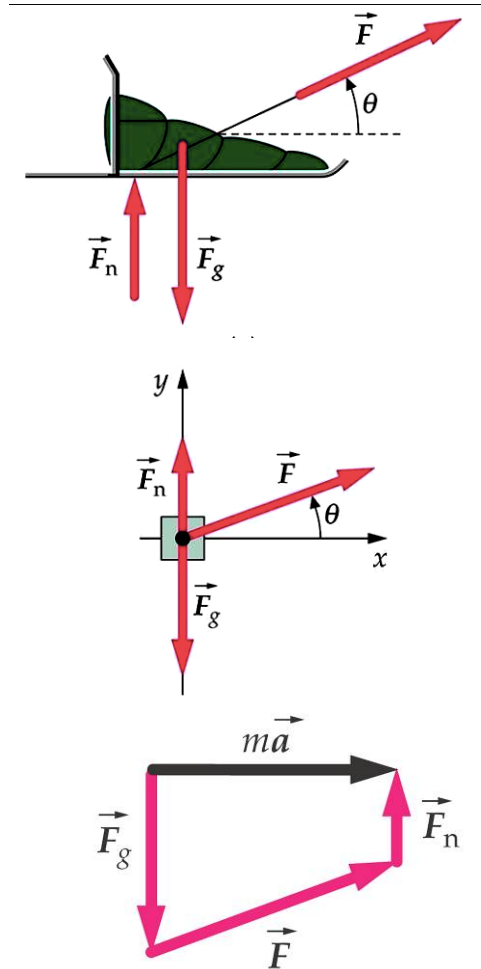
$$\text{a) } \vec{F}_N + \vec{F}_g + \vec{F} = m\vec{a}$$

$$F_x = F \cos\theta = ma_x$$

$$F_y = F_N - mg + F \sin\theta = ma_y = 0$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow a_x &= F \cos\theta / m \\ &= (150 \text{ N})(\cos 25^\circ) / (80 \text{ kg}) = 1,7 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } F_N &= mg - F \sin\theta \\ &= (80 \text{ kg})(9,81 \text{ m/s}^2) - (150 \text{ N})(\sin 25^\circ) = 720 \text{ N} \end{aligned}$$



4.1 Força de atrito

Quando dois corpos interagem através de uma superfície de contacto, podemos separar uma componente normal da interação (*força normal*), e uma componente tangencial, chamada **força de atrito**.



De acordo com a 3ª lei de Newton, tanto a força normal como a força de atrito devem ser representadas por um par de forças de igual módulo e sentido oposto, que atuam respetivamente num dos dois corpos em contacto.

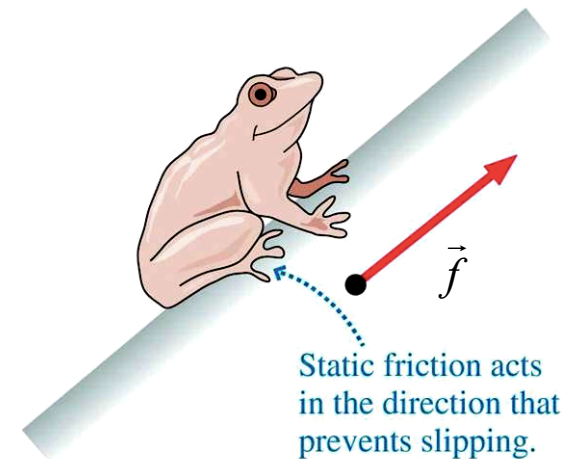
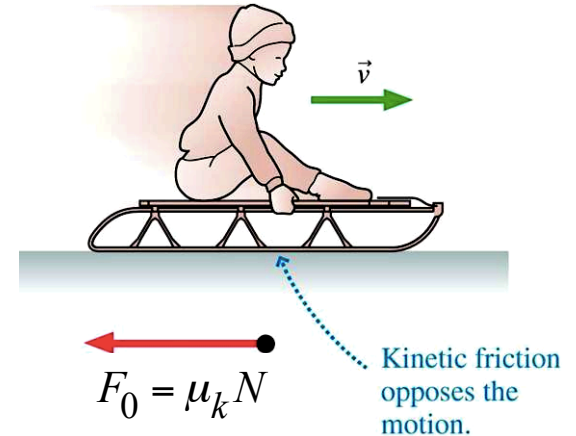
4.1 Força de atrito

O chamado **atrito cinético** surge quando um objeto desliza numa superfície. Esta força opõe-se ao movimento e aponta sempre no sentido contrário ao da velocidade.

$$F_0 = \mu_k N$$

Coeficiente de atrito cinético: μ_k

O **atrito estático** f é uma força que tende a manter um objeto em repouso numa superfície e aponta na direção que "impede" o movimento.



4.1 Força de atrito

Considere-se uma força F cujo valor aumenta linearmente com o tempo e que atua sobre um corpo com massa m , colocado num plano horizontal.

Enquanto o corpo estiver em repouso, temos

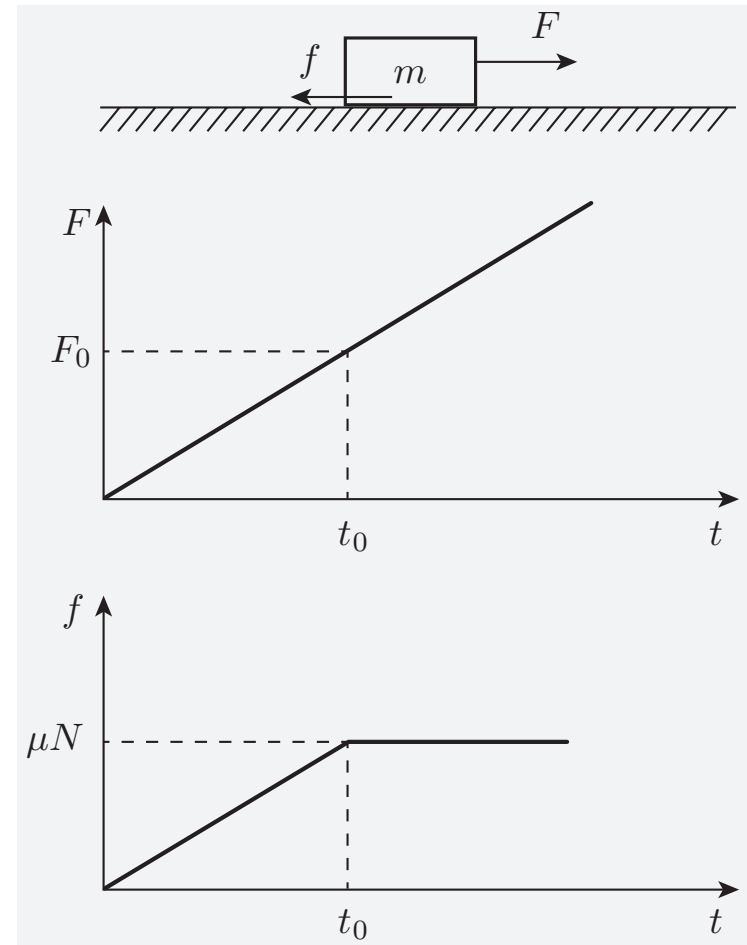
$$ma = F - f = 0 \Rightarrow F = f$$

Nestas condições, a força **de atrito estático** f é igual à força aplicada, ou seja é uma força variável, que também aumenta linearmente com o tempo.

Para um dado valor $F = F_0$, o corpo entra em movimento relativo e a experiência mostra que, apesar de qualquer aumento da força aplicada, a força de **atrito cinético** permanece constante e proporcional à força normal: $F_0 = \mu_k N$

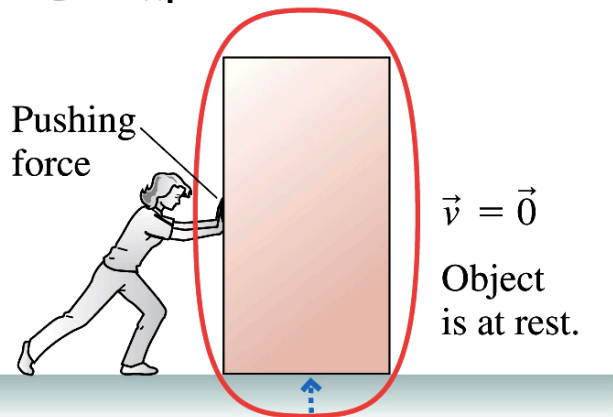
Atrito

simulação



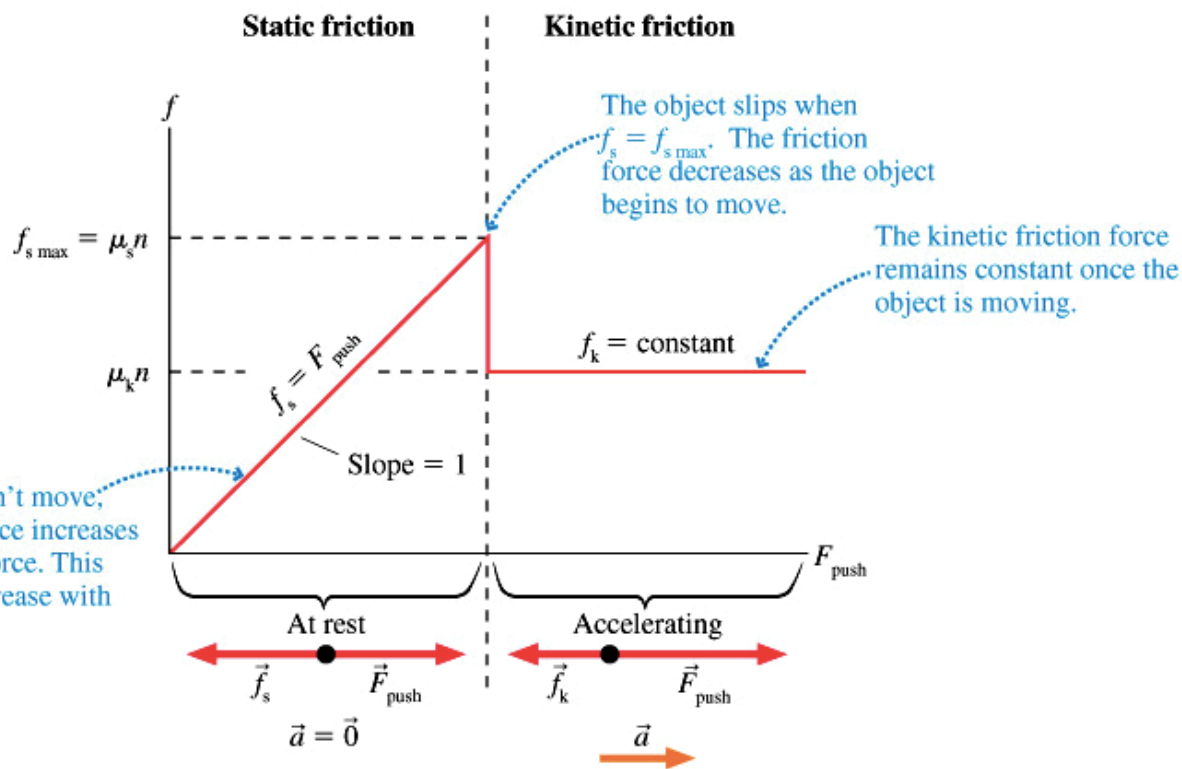
4.1 Força de atrito

Exemplo:



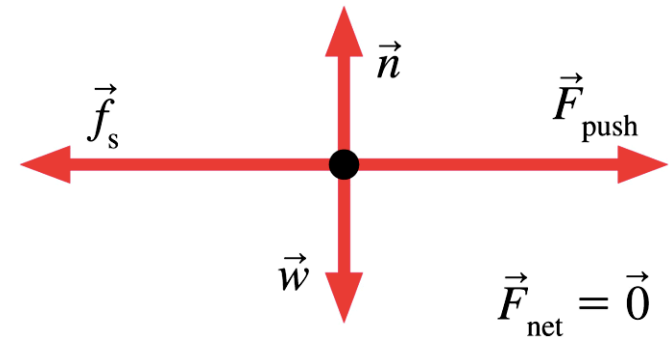
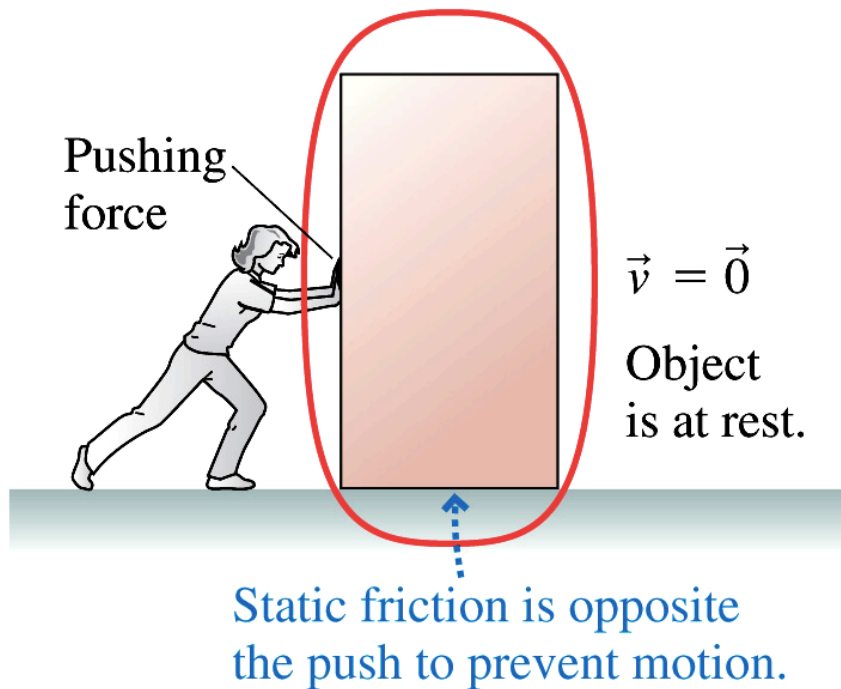
Static friction is opposite the push to prevent motion.

At first the object doesn't move, so the static friction force increases to match the pushing force. This causes the graph to increase with a slope of 1.



4.1 Força de atrito

Atrito estático:



\vec{f}_s balances \vec{F}_{push} and the box does not move.

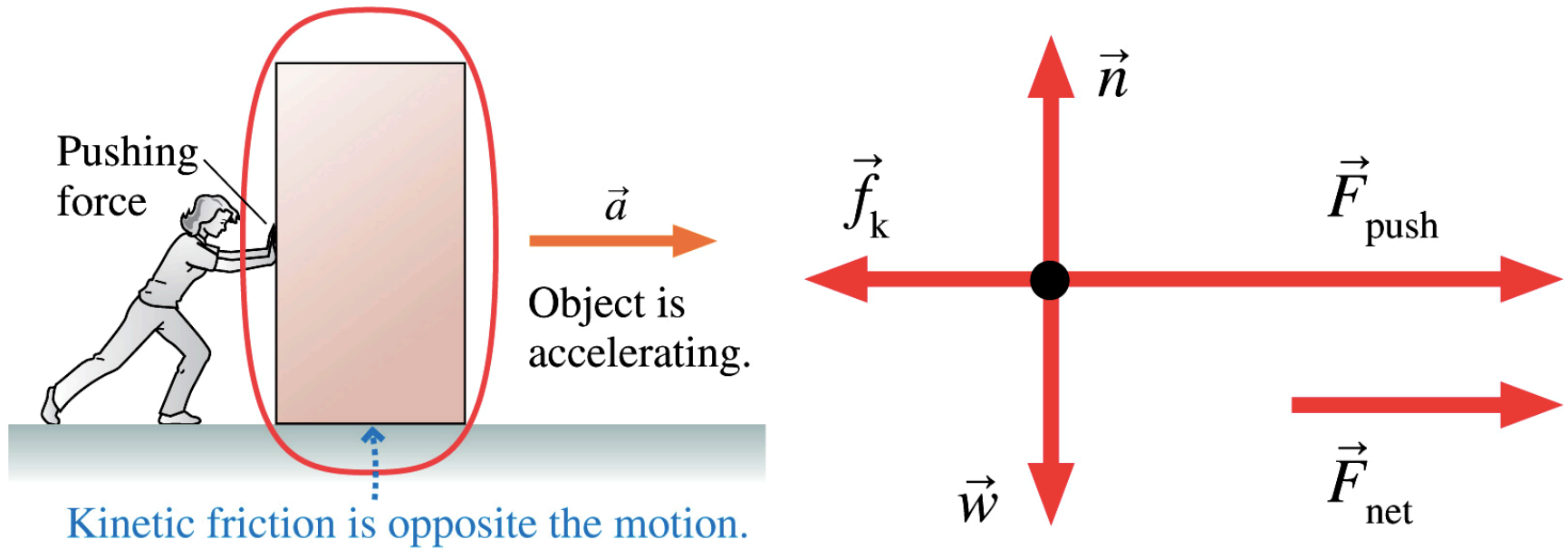
\vec{f}_s grows as \vec{F}_{push} increases ...

$f_s = f_{s \max}$

... until f_s reaches $f_{s \max}$. Now, if \vec{F}_{push} gets any bigger, the object will start to move.

4.1 Força de atrito

Atrito dinâmico:



$$F_{\text{push}} \geq f_k = \mu_k n$$

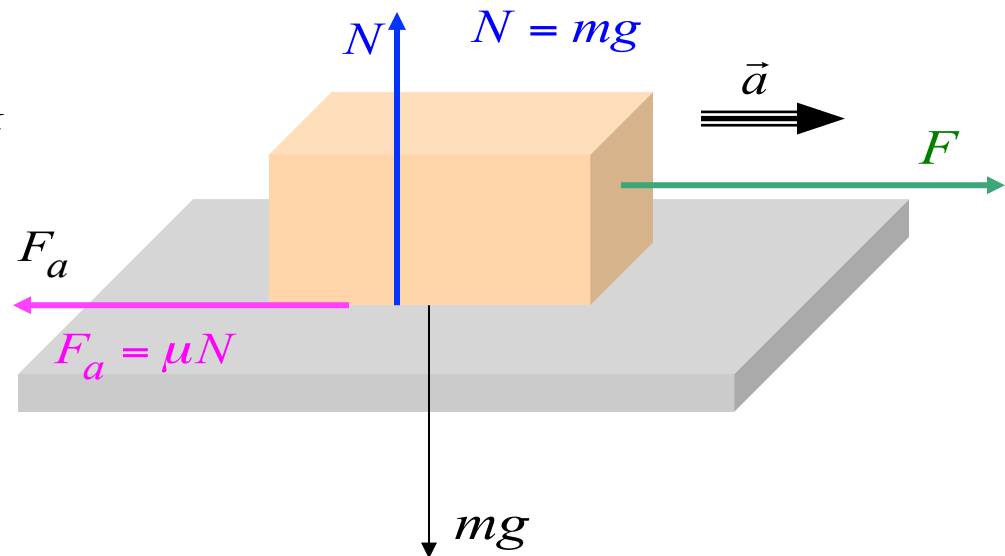
4.1 Força de atrito

Coeficiente de atrito estático: μ_s

$$0 = F - F_a \Rightarrow F_a = F$$

Coeficiente de atrito dinâmico: μ_k

$$ma = F - F_a = F - \mu_k mg$$



$$\left[\begin{array}{l} \text{se } F \leq \mu_s N \Rightarrow F_a = F \Rightarrow \text{n\~{o} h\~{a} movimento} \\ \text{se } F > \mu_s N \Rightarrow F_a = \mu_k N \Rightarrow \text{h\~{a} movimento, na presen\~{c}a de atrito} \end{array} \right.$$

4.1 Força de atrito

TABLE 6–1 Typical Coefficients of Friction

Materials	Kinetic, μ_k	Static, μ_s
Rubber on concrete (dry)	0.80	1–4
Steel on steel	0.57	0.74
Glass on glass	0.40	0.94
Wood on leather	0.40	0.50
Copper on steel	0.36	0.53
Rubber on concrete (wet)	0.25	0.30
Steel on ice	0.06	0.10
Waxed ski on snow	0.05	0.10
Teflon on Teflon	0.04	0.04
Synovial joints in humans	0.003	0.01

$$f_s \leq \mu_s F_n$$

$$f_{s \max} = \mu_s F_n$$

$$f_k = \mu_k F_n$$

Normalmente, $\mu_s > \mu_k$

Exemplo

Uma moeda está em cima de um livro. Se se começar a abrir o livro, θ_{\max} é o ângulo imediatamente antes da moeda começar a deslizar. Determine o coeficiente de atrito estático, entre a moeda e o livro.

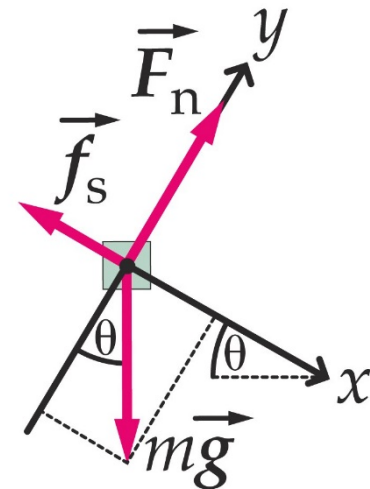
$$\sum F_x = ma_x \Rightarrow -f_s + mg \operatorname{sen} \theta_{\max} = 0$$

$$\sum F_y = ma_y \Rightarrow F_n - mg \cos \theta = 0$$

Atrito estático: $f_s = \mu_s F_n$

Para $\theta = \theta_{\max} \Rightarrow f_s = \mu_s mg \cos \theta_{\max}$

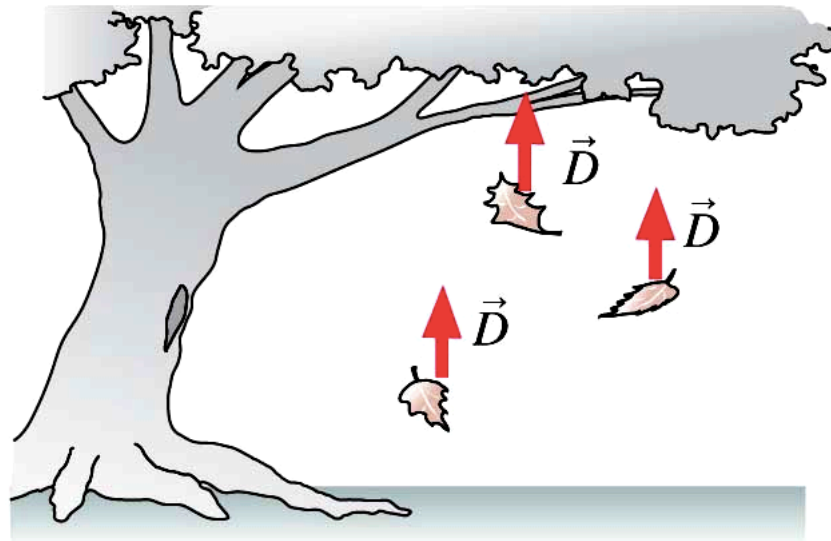
$$\mu_s \cos \theta_{\max} = \operatorname{sen} \theta_{\max} \Rightarrow \mu_s = \operatorname{tg} \theta_{\max}$$



4.2 Força de arrastamento

A **força de arrastamento** opõe-se ao movimento de um objeto num líquido ou num gás. Tal como o atrito cinético, manifesta-se no sentido contrário ao do movimento.

Air resistance is a significant force on falling leaves. It points opposite the direction of motion.



4.2 Força de arrastamento

A **força de arrastamento** depende da forma do objeto, das propriedades mecânicas do fluido e da velocidade do objeto, relativamente ao fluido.

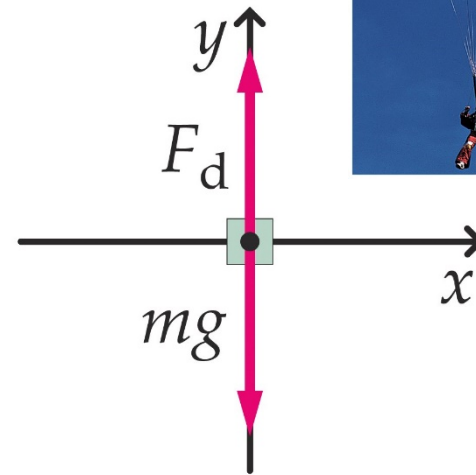
Normalmente, quando a velocidade é pequena, a força de arrastamento é proporcional à velocidade. Quando a velocidade aumenta, torna-se proporcional ao quadrado da velocidade:

$$F_d = b v^n$$

b é uma constante e n é um inteiro.

$$mg - b v^n = ma \quad \Rightarrow \quad a = g - \frac{b}{m} v^n$$

$$\text{Se } a \rightarrow 0 \quad \Rightarrow \quad v_{\text{terminal}} = \left(\frac{mg}{b} \right)^{1/n}$$



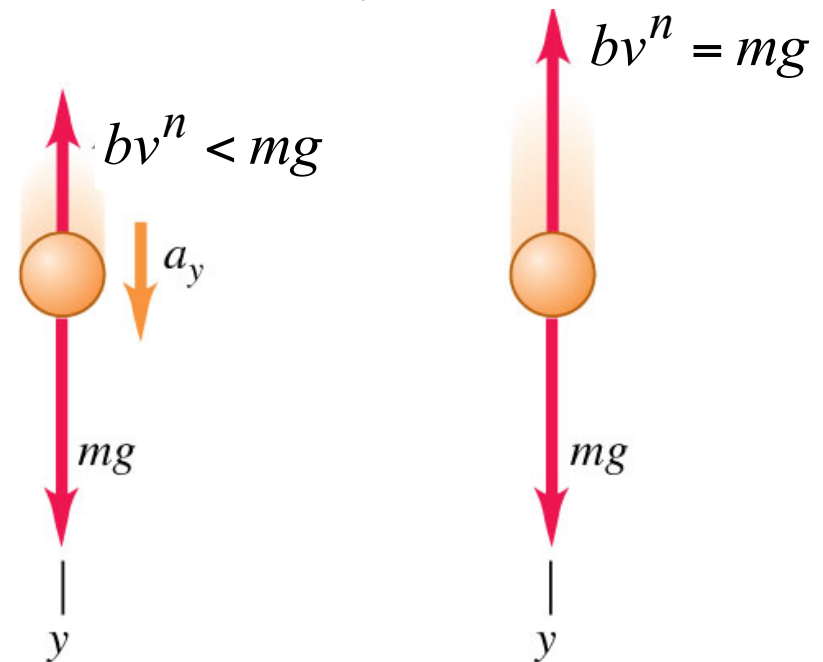
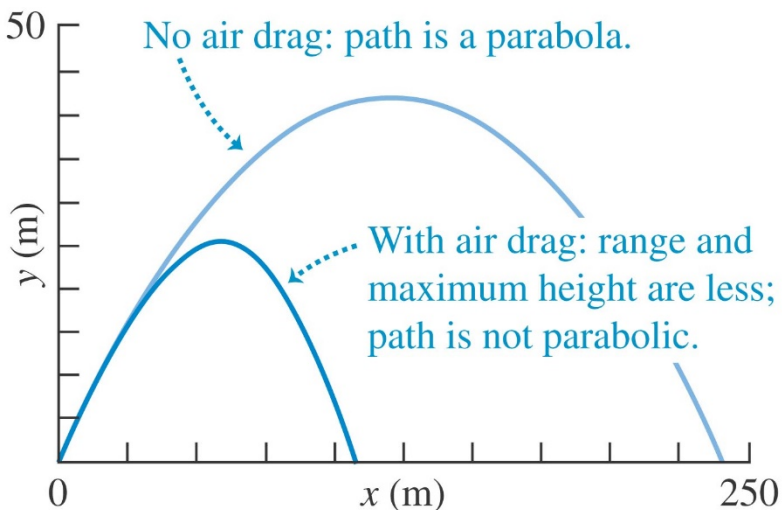
4.2 Força de arrastamento

A **velocidade terminal** (velocidade constante) será eventualmente atingida quando a **força de arrastamento** for igual ao peso do objeto.

Força de arrastamento

Simulação

Efeito da força de arrastamento na trajetória de um projétil:



Before terminal speed: Object accelerating, drag force less than weight.

At terminal speed v_t : Object in equilibrium, drag force equals weight.

4.2 Força de arrastamento



$$\Sigma F = mg - F_d$$

$$\Sigma F = mg - (1/2)C\rho Av^2$$

F_d aumenta com v^2 até $\Sigma F=0$,
ou seja, até

$$mg = (1/2)C\rho Av^2$$

→ $v_{\text{term}}^2 = \frac{2mg}{C\rho A}$

$$v_{\text{term}} = \sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}$$