

Física I- Força e Movimento - II

Resumo dos Conceitos

Extraído do capítulo 6 do livro: Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1. GEN | LTC. Edição do Kindle.

Atrito

Quando uma força \vec{F} tende a fazer um corpo deslizar em uma superfície, a superfície exerce uma força de atrito sobre o corpo. A força de atrito é paralela à superfície e está orientada de modo a se opor ao movimento. Essa força se deve às ligações entre os átomos do corpo e os átomos da superfície.

Se o corpo permanece em repouso, a força de atrito é a força de atrito estático \vec{f}_s . Se o corpo se move, a força de atrito é a força de atrito cinético \vec{f}_k .

1. Se um corpo permanece em repouso, a força de atrito estático \vec{f}_s e a componente de \vec{F} paralela à superfície têm módulos iguais e sentidos opostos. Se a componente de \vec{F} aumenta, f_s também aumenta.

2. O módulo de \vec{f}_s tem um valor máximo $f_{s,máx}$ dado por

$$f_{s,máx} = \mu_s F_N$$

em que μ_s é o coeficiente de atrito estático e F_N é o módulo da força normal. Se a componente de \vec{F} paralela à superfície excede o valor de $f_{s,máx}$, o corpo começa a se mover.

3. Se o corpo começa a se mover, o módulo da força de atrito diminui rapidamente para um valor constante f_k dado por

$$f_k = \mu_k F_N$$

em que μ_k é o coeficiente de atrito cinético.

A Figura 1 abaixo mostra um sistema onde vemos as forças de atrito estático e cinético para um bloco que foi submetido a uma força horizontal variável. No sistema vemos um bloco que está inicialmente em repouso (Figura 1a) sobre uma mesa, com força gravitacional \vec{F}_g equilibrada pela normal \vec{F}_N . Na Figura 1b, temos uma força exercida sobre o bloco, tentando puxá-lo para a esquerda. Em consequência, surge uma força de atrito \vec{f}_s para a direita, que equilibra a força aplicada \vec{F} . A força \vec{f}_s é chamada força de atrito estático. O bloco permanece imóvel.

As Figuras 1c e 1d mostram que, quando a intensidade da força aplicada aumenta, a intensidade da força de atrito estático \vec{f}_s também aumenta, e o bloco permanece em repouso. Entretanto, quando a força aplicada atinge determinado valor, o bloco “se desprende” da superfície da mesa e sofre aceleração para a esquerda (Figura 1e). A força de atrito \vec{f}_k que se opõe ao movimento na nova situação é chamada força de atrito cinético.

Em geral, a intensidade da força de atrito cinético, que age sobre os objetos em movimento, é menor do que a intensidade máxima da força de atrito estático, que age sobre os objetos em repouso. Assim, para que o bloco se mova na superfície com velocidade constante, provavelmente você terá que diminuir a intensidade da força aplicada depois que o bloco

começar a se mover, como mostra a Figura 1f. A Figura 1g mostra o resultado de um experimento no qual a força aplicada a um bloco foi aumentada lentamente até que o bloco começasse a se mover. Observe que a força necessária para manter o bloco em movimento com velocidade constante é menor que a necessária para que o bloco comece a se mover.

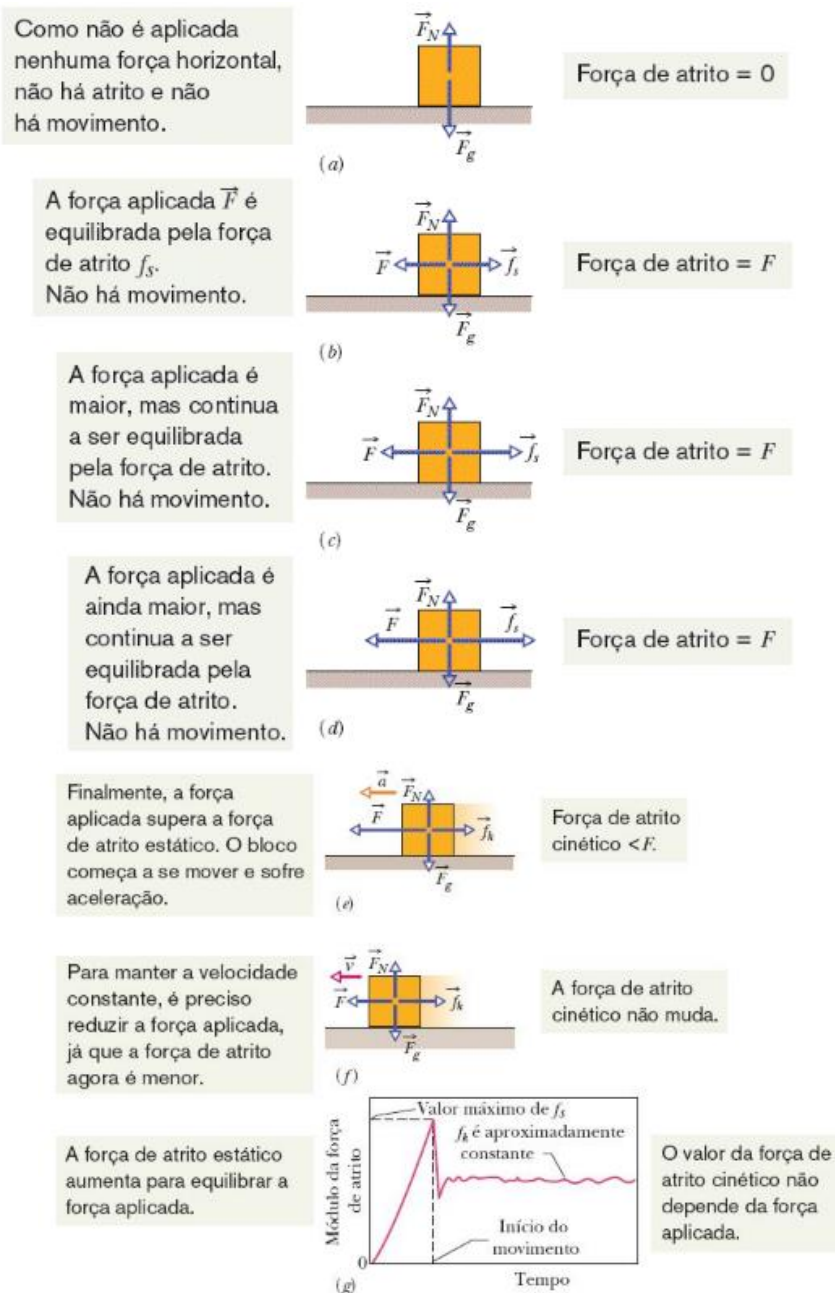


Figura 1. (a) Forças que agem sobre um bloco estacionário. (b a d) Uma força externa \vec{F} , aplicada ao bloco, é equilibrada por uma força de atrito estático \vec{f}_s . Quando \vec{F} aumenta, f_s também aumenta, até atingir um valor máximo. (e) Quando f_s atinge o valor máximo, o bloco “se desprende” e acelera bruscamente na direção de \vec{F} . (f) Para que o bloco se mova com velocidade constante, é preciso reduzir o valor de F . (g) Alguns resultados experimentais para a sequência da (a) a (f). Fonte: Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 525). GEN | LTC. Edição do Kindle.

Força de Arrasto

Quando há movimento relativo entre o ar (ou outro fluido qualquer) e um corpo, o corpo sofre a ação de uma força de arrasto \vec{D} que se opõe ao movimento relativo e aponta na direção em que o fluido se move em relação ao corpo. O módulo do arrasto \vec{D} está relacionado à velocidade relativa v através de um coeficiente de arrasto C (determinado experimentalmente) por meio da equação

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

em que ρ é a massa específica do fluido (massa por unidade de volume) e A é a área da seção reta efetiva do corpo (área de uma seção reta perpendicular à velocidade relativa \vec{v}).

Velocidade Terminal

Quando um objeto rombudo cai por uma distância suficiente no ar, os módulos da força de arrasto \vec{D} e da força gravitacional \vec{F}_g tornam-se iguais. Nesse caso, o corpo passa a cair com uma velocidade terminal v_t dada por

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

Movimento Circular Uniforme

Se uma partícula se move em uma circunferência ou em um arco de circunferência de raio R com uma velocidade escalar constante v , dizemos que a partícula está em movimento circular uniforme. Nesse caso, a partícula possui uma aceleração centrípeta \vec{a} cujo módulo é dado por

$$a = \frac{v^2}{R}$$

Essa aceleração se deve a uma força centrípeta cujo módulo é dado por

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

em que m é a massa da partícula. As grandezas vetoriais \vec{a} e \vec{F} apontam para o centro de curvatura da trajetória da partícula.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1. GEN | LTC. Edição do Kindle.

Exemplo 1

A Figura 2 mostra uma força de módulo $F = 12,0\text{ N}$ aplicada a um bloco de $8,0\text{ kg}$. A força faz um ângulo $\theta = 30^\circ$ para baixo com a superfície em que o bloco repousa. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície é $\mu_s = 0,700$ e o coeficiente de atrito cinético é $\mu_k = 0,400$. O bloco começa a se mover quando a força é aplicada ou permanece em repouso? Qual é o valor do módulo da força de atrito que age sobre o bloco?

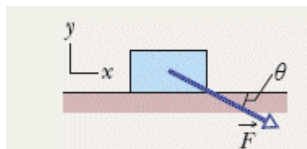


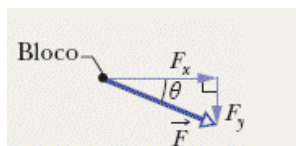
Figura 2. Bloco submetido a uma força F com um ângulo θ com a horizontal. Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 531). GEN | LTC. Edição do Kindle.

Solução

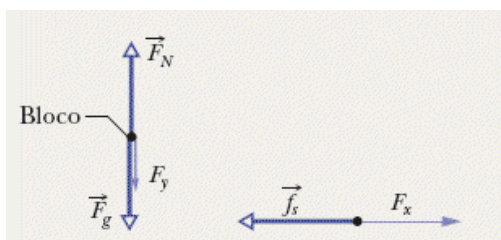
Para saber se o bloco começa a se mover quando a força é aplicada, precisamos comparar a componente F_x (componente paralela à superfície) da força aplicada com o valor máximo $f_{s,máx}$ da força de atrito estático. De acordo com o triângulo da Figura 3a,

$$F_x = F \cos \theta = (12,0\text{ N}) \cos 30^\circ$$

$$F_x = 10,39\text{ N}$$



(a)



(b)

(c)

Figura 3. (a) As componentes da força aplicada. (b) As componentes verticais das forças que agem sobre o bloco. (c) As componentes horizontais das forças que agem sobre o bloco.

Para determinar a força de atrito estático máxima ($f_{s,máx}$), precisamos conhecer o módulo da força normal \vec{F}_N . A partir da análise das forças ilustradas na Figura 3b e aplicando-se a segunda lei de Newton, temos

$$F_N - F_g - F_y = ma_y$$

Considerando-se que aceleração ao longo da vertical é nula, temos o seguinte resultado.

$$F_N - F_g - F_y = 0$$

$$F_N = F_g + F_y = mg + F \sin \theta$$

$$F_N = 8,0 \cdot 9,8 + 12 \sin 30^\circ$$

$$F_N = 84,4 \text{ N}$$

Procedemos ao cálculo de $f_{s,máx}$

$$f_{s,máx} = \mu_s F_N$$

$$f_{s,máx} = 0,7 \cdot 84,4 \text{ N}$$

$$f_{s,máx} = 59,08 \text{ N}$$

Resposta: Como a componente horizontal da força aplicada ao bloco, ($F_x = 10,39 \text{ N}$), é menor que a força máxima de atrito estático ($f_{s,máx} = 59,08 \text{ N}$), o bloco permanece em repouso.

Para determinar a força de atrito (agora sabemos que é o atrito estático) analisamos a forças ao longo do eixo x como mostradas na Figura 3c. Aplicando-se a segunda lei de Newton, temos

$$F_x - f_s = ma_x$$

Como a aceleração ao longo de x é nula, temos

$$f_s = F_x = 10,39 \text{ N}$$

Resposta: $f_s = 10,39 \text{ N}$.

Exemplo 2

Vamos analisar as forças que agem sobre um surfista da neve de 70 kg quando ele desce uma encosta com uma inclinação de 18° . Iremos considerar que o coeficiente de atrito cinético é $0,040$ e usar um eixo x alinhado com a encosta. Qual é a aceleração do surfista?

Solução

Vamos analisar o diagrama de corpo livre do sistema, como mostrado na Figura 4.

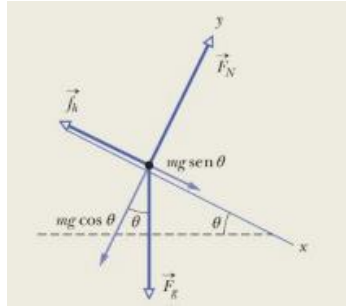


Figura 4. Diagrama de corpo livre do surfista.

Pela geometria do sistema detalhado na figura acima, vemos que a força gravitacional paralela à encosta tem a forma $mg \sin \theta$, e a componente perpendicular à encosta é $mg \cos \theta$. Podemos calcular a aceleração do surfista usando a segunda lei Newton:

$$F_N - mg \cos \theta = ma_y$$

A componente y da aceleração (a_y) é nula, assim temos:

$$F_N - mg \cos \theta = 0$$

Ou seja,

$$F_N = mg \cos \theta$$

Usando-se esse resultado para determinar a força de atrito, chegamos ao seguinte resultado.

$$f_k = \mu_k F_N = \mu_k mg \cos \theta$$

$$f_k = \mu_k mg \cos \theta$$

Aplicando-se a segunda lei de Newton, ao longo do eixo x , temos:

$$mg \sin \theta - f_k = ma_x$$

Como só temos aceleração ao longo do eixo, $a_x = a$.

$$ma = mg \sin \theta - \mu_k mg \cos \theta$$

$$a = g(\sin \theta - \mu_k \cos \theta)$$

Substituindo-se os valores na expressão acima, temos:

$$a = 9,8 \text{ m/s}^2 (\sin 18^\circ - 0,04 \cos 18^\circ)$$

$$a = 9,8 \text{ m/s}^2 (\sin 18^\circ - 0.04 \cos 18^\circ)$$

Resposta:

$$a = 2,66 \text{ m/s}^2$$

Exemplo 3

Uma gota de chuva, de raio $R = 1,5 \text{ mm}$, cai de uma nuvem que está a uma altura $h = 1.200 \text{ m}$ acima do solo. O coeficiente de arrasto C da gota é $0,60$. Suponha que a gota permanece esférica durante toda a queda. A massa específica da água, ρ_a , é 1.000 kg/m^3 e a massa específica do ar, ρ_{ar} , é $1,2 \text{ kg/m}^3$. Qual é a velocidade terminal da gota de chuva?

Solução

Usaremos a equação:

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

Para usar a equação acima, precisamos conhecer a área efetiva da seção reta A e o módulo F_g da força gravitacional. Como a gota é esférica, A é a área de um círculo (πR^2) com o mesmo raio que a esfera. Para determinar F_g , usamos três fatos: (1) $F_g = mg$, em que m é a massa da gota; (2) o volume da gota (esférica) é $V = \frac{4}{3}\pi R^3$; (3) a massa específica da água da gota é igual à massa por unidade de volume: $\rho_a = m/V$. Assim, temos

$$F_g = mg = \rho_a V g = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_a g$$

Substituindo na expressão para velocidade terminal, chegamos:

$$v_t = \sqrt{\frac{8\pi R^3 \rho_a g}{3C\rho_{Ar}A}} = \sqrt{\frac{8\pi R^3 \rho_a g}{3C\rho_{Ar}\pi R^2}} = \sqrt{\frac{8R\rho_a g}{3C\rho_{Ar}}}$$

Resposta:

$$v_t = 7,38 \text{ m/s}$$

Exemplo 4

Em 1901, em um espetáculo de circo, Allo "Dare Devil" Diavolo apresentou pela primeira vez um número de acrobacia que consistia em descrever um loop vertical pedalando uma bicicleta. Supondo que o loop seja um círculo, de raio $R = 2,7 \text{ m}$, qual é a menor velocidade v que Diavolo podia ter na parte mais alta do loop para permanecer em contato com a pista?

Solução

A Figura 5 mostra o diagrama de corpo livre do sistema, onde consideramos o acrobata e a bicicleta como uma partícula. Para determinarmos a menor velocidade, temos que considerar a situação limite onde a força normal é nula na parte mais alta do loop.

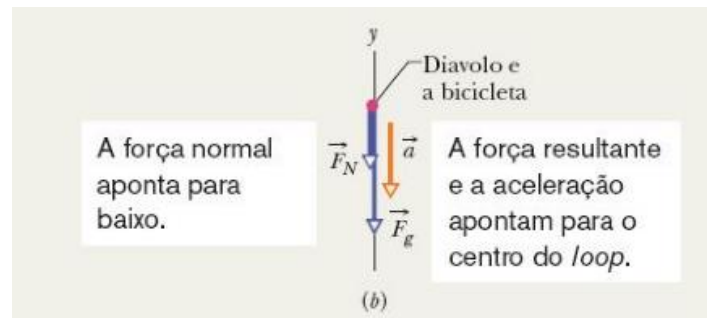


Figura 5. Diagrama de corpo livre do acrobata na parte mais alta do loop.

Pela segunda lei de Newton ao longo de y , temos:

$$-F_N - F_g = -ma$$

Para a menor velocidade possível para completar o loop, temos que a força normal é nula, assim chegamos:

$$-F_g = -m \frac{v^2}{R}$$

Ou seja,

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

$$v = \sqrt{gR}$$

Substituindo-se os valores:

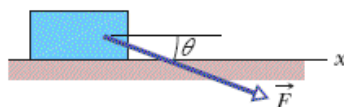
$$v = \sqrt{9,8 \cdot 2,7}$$

Resposta:

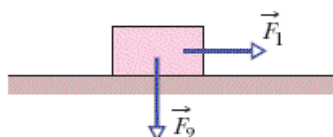
$$v = 5,14 \text{ m/s}$$

Exercícios

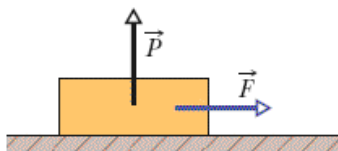
- Na figura abaixo, se a caixa está parada e o ângulo θ entre a horizontal e a força \vec{F} aumenta, as grandezas a seguir aumentam, diminuem ou permanecem com o mesmo valor: (a) F_x ; (b) f_s ; (c) F_N ; (d) $f_{s,máx}$? (e) Se a caixa está em movimento e θ aumenta, o módulo da força de atrito a que a caixa está submetida aumenta, diminui ou permanece o mesmo?



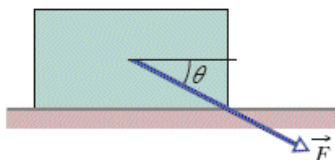
- Na figura abaixo, uma força horizontal \vec{F}_1 de módulo 10 N é aplicada a uma caixa que está em um piso, mas a caixa não se move. Quando o módulo da força vertical \vec{F}_2 aumenta a partir de zero, as grandezas a seguir aumentam, diminuem ou permanecem as mesmas: (a) o módulo da força de atrito estático \vec{f}_s a que a caixa está submetida; (b) o módulo da força normal \vec{F}_N exercida pelo piso sobre a caixa; (c) o valor máximo $f_{s,máx}$ do módulo da força de atrito estático a que a caixa está submetida? (d) A caixa acaba escorregando?



- Um bloco de $2,5\text{ kg}$ está inicialmente em repouso em uma superfície horizontal. Uma força horizontal de módulo $6,0\text{ N}$ e uma força vertical são aplicadas ao bloco (figura abaixo). Os coeficientes de atrito entre o bloco e a superfície são $\mu_s = 0,40$ e $\mu_k = 0,25$. Determine o módulo da força de atrito que age sobre o bloco se o módulo de é (a) $8,0\text{ N}$, (b) 10 N e (c) 12 N .

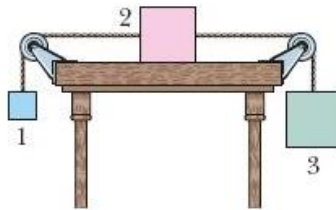


- Uma pessoa empurra horizontalmente um caixote de 55 kg com uma força de 220 N para deslocá-lo em um piso plano. O coeficiente de atrito cinético é $0,35$. (a) Qual é o módulo da força de atrito? (b) Qual é o módulo da aceleração do caixote?
- Um bloco de $3,5\text{ kg}$ é empurrado em um piso horizontal por uma força \vec{F} de módulo 15 N que faz um ângulo $\theta = 40^\circ$ com a horizontal (figura abaixo). O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o piso é $0,25$. Calcule (a) o módulo da força de atrito que o piso exerce sobre o bloco e (b) o módulo da aceleração do bloco.



- O coeficiente de atrito estático entre o Teflon e ovos mexidos é cerca de $0,04$. Qual é o menor ângulo com a horizontal que faz com que os ovos deslizem no fundo de uma frigideira revestida com Teflon?

7. Quando os três blocos da figura abaixo são liberados a partir do repouso, eles aceleram com um módulo de $0,500 \text{ m/s}^2$. O bloco 1 tem massa M , o bloco 2 tem massa $2M$ e o bloco 3 tem massa $2M$. Qual é o coeficiente de atrito cinético entre o bloco 2 e a mesa?



8. Qual é o menor raio de uma curva sem compensação (plana) que permite que um ciclista a 29 km/h faça a curva sem derrapar se o coeficiente de atrito estático entre os pneus e a pista é $0,32$?
9. Um gato está cochilando em um carrossel parado, a uma distância de $5,4 \text{ m}$ do centro. O brinquedo é ligado e logo atinge a velocidade normal de funcionamento, na qual completa uma volta a cada $6,0 \text{ s}$. Qual deve ser, no mínimo, o coeficiente de atrito estático entre o gato e o carrossel para que o gato permaneça no mesmo lugar, sem escorregar?
10. Durante uma corrida de trenós nas Olimpíadas de Inverno, a equipe jamaicana fez uma curva com $7,6 \text{ m}$ de raio a uma velocidade de $96,6 \text{ km/h}$. Qual foi a aceleração em unidades de g ?

Respostas

1. (a) diminui; (b) diminui; (c) aumenta; (d) aumenta; (e) aumenta
2. (a) permanece o mesmo; (b) aumenta; (c) aumenta; (d) não
3. (a) 6,0 N; (b) 3,6 N; (c) 3,1 N
4. (a) $1,9 \times 10^2$ N; (b) $0,56 \text{ m/s}^2$
5. (a) 11 N; (b) $0,14 \text{ m/s}^2$
6. 2°
7. 0,37
8. 21 m
9. 0,6
10. 9,7 g

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1.
GEN | LTC. Edição do Kindle.