

Leis de Newton - Aplicações - Atrito

(1)

Causas do Movimento?

Antes de ~~Newton~~ ^{Galileo}: Era necessário (re-pensava) um "algo" para manter as coisas em movimento.
(Estado natural das coisas = repouso)

Galileo imaginou experiências hipotéticas em que gradualmente diminuía o atrito entre o piso e uma caixa. Para um mesmo "empurrão" inicial, cada vez a caixa se deslocava por uma distância maior. No limite em que toda a influência do piso fosse removida, a caixa continuaria para sempre à aquela velocidade.

Essa lei do mérito de Galileo, foi posteriormente formalizada por Isaac Newton, no que conhecemos como sua 1ª lei da Mecânica:

1ª lei de Newton: Na ausência de forças externas um corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme.

Embora nossa frase "força" não seja uma unidade definida, o importante é que é necessária alguma Causa externa para alterar o estado de movimento de um corpo.

Pode-se dizer tb. que esta é a definição de um referencial inercial: Sistema em que, na ausência de influências externas, um corpo mantém seu estado de movimento.

2ª lei de Newton: A maneira como uma causa externa altera o estado de movimento de um corpo é definida na 2ª lei de Newton.

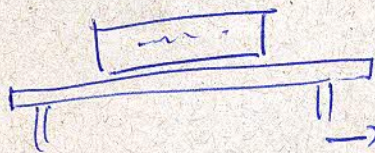
A aceleração de um corpo é diretamente proporcional à resultante das forças sobre ele e inversamente proporcional à sua massa (= sua inércia.)

3ª lei de Newton: Esta lei é uma consequência do fato de todos os forças na natureza serem resultantes, da interação entre dois corpos.

"Na interação entre dois corpos, a força exercida por um sobre o outro é sempre igual e contrária àquela exercida pelo outro no primeiro"
(Ação e reação)

Note que a definição da 3ª lei implica em que sempre as forças que formam um par ação-reação agem em corpos diferentes.

Livro sobre a mesa:



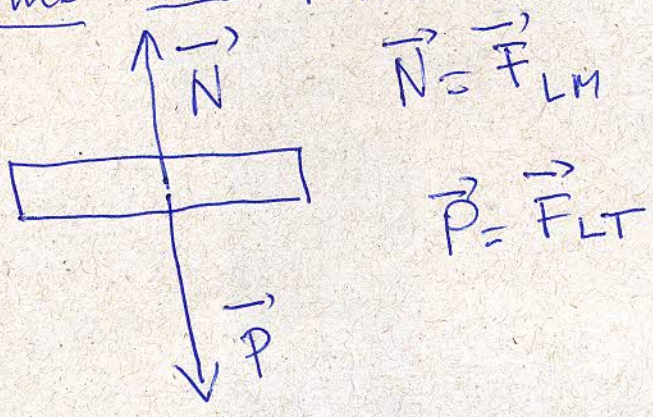
- A Terra atrai o livro com força \vec{F}_{LT} . O livro atrai a Terra com força $\vec{F}_{TL} = -\vec{F}_{LT}$

- O livro aplica uma força (de contato) \vec{F}_{ML} sobre a mesa. A mesa aplica uma força $\vec{F}_{LM} = -\vec{F}_{ML}$.

Note que usaremos a convenção:

\vec{F}_{BA} = Força exercida por A no corpo B

No estudo do movimento ou equilíbrio de um corpo (p.ex. aplicar a 2ª lei de Newton) é preciso conhecer todas as forças agendo sobre um determinado corpo. Para isso é necessário fazer o diagrama de corpo livre do objeto a ser estudado.



Massa m e M e massa gravitacional. A força com que dois corpos se atraem é diretamente proporcional a suas massas gravitacionais.

$F_{LT} = G \frac{mM}{R_T^2}$ (m = massa do livro, M = massa de Terra)

$F_{LT} = m \frac{GM}{R_T^2}$ costumamos chamar $g = \frac{GM}{R_T^2}$

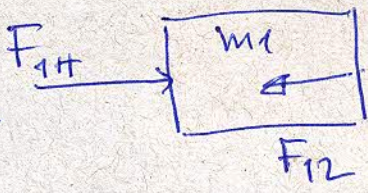
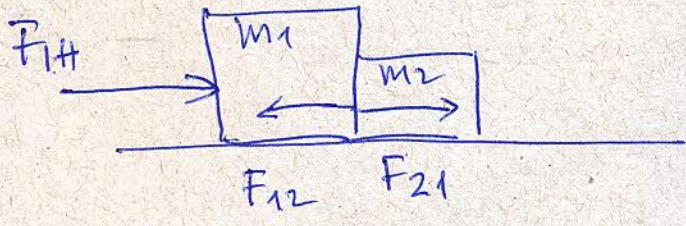
$F_{LT} = mg$

O m neste caso é a chamada massa gravitacional (podemos chamar de carregamento gravitacional)

O fato de que a massa gravitacional de um corpo é exatamente igual à sua massa inercial foi postulado como o "Princípio de Equivalência" por Albert Einstein e dá origem à Teoria da Relatividade Geral, ou Teoria da Gravitação.

Aplicações das leis de Newton

diagrama de corpo livre



$$F_{1H} - m_2 a = m_1 a$$

$$F_{1H} - F_{12} = m_1 a$$

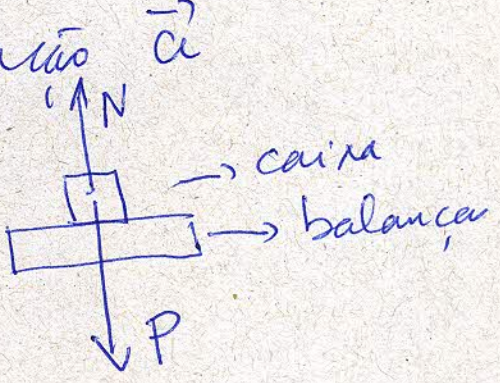
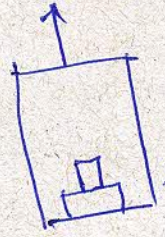
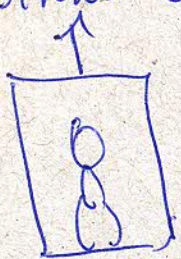
$$F_{1H} = (m_1 + m_2) a$$

$$F_{21} = m_2 a$$

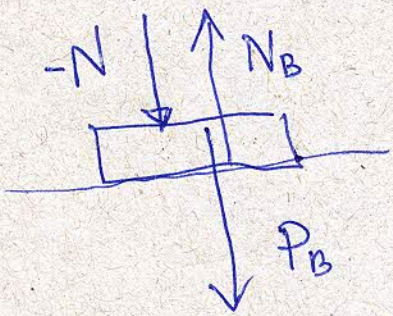
$$F_{21} = F_{12}$$

Elevador:

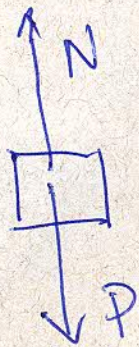
a) Subindo com ~~aceleração~~ aceleração \vec{a}



Forças na balança:



- N = força que comprime a mola da balança = peso aparente indicado pela balança



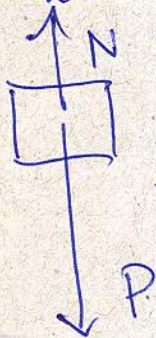
$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \text{ (2ª lei)}$$

(5)

$$N - P = ma \Rightarrow N > P$$

(peso aparente é maior)

descend. c/ aceleração a



$$P - N = ma \Rightarrow P > N$$

(peso aparente é menor que P)

Cabo se quebra, elevador cai com $a = g$
 $P - N = mg$. Como $P = mg \Rightarrow N = 0$

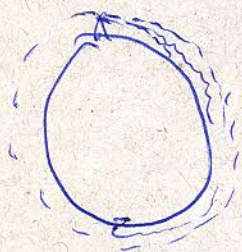
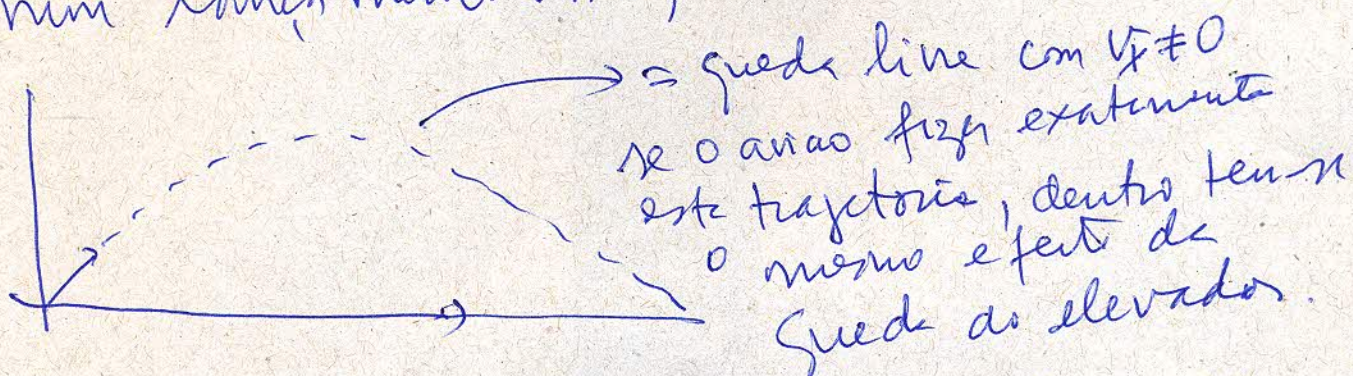
\Rightarrow ausência de peso.

Isso é o que ocorre dentro de uma espaçonave em órbita na Terra, como p.ex. na Estação Espacial Internacional. Se calcularmos o valor de aceleração da gravidade ~~na~~ para a E.O.I, (~ 650 km acima da superfície de Terra) ~~o~~ vemos que é ligeiramente menor que a $9,8 \text{ m/s}^2$ de superfície. Portanto não há ausência de gravidade dentro da estação. Acontece que o movimento orbital é equivalente ao de queda livre (como a do elevador) e os astronautas estão continuamente caindo, bem como tudo dentro da nave, com aceleração

Igual ao g local. Isso, como cai em
o elevador, é equivalente à ausência de
gravidade.

(6)

Simulações de ausência de gravidade podem
ser realizadas em um avião, que faz
um voo parabólico, isto é na mesma
trajetória que faria um corpo qualquer
num lançamento oblíquo.



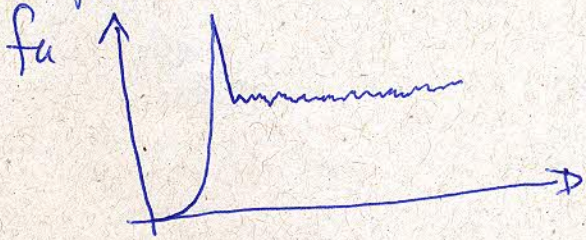
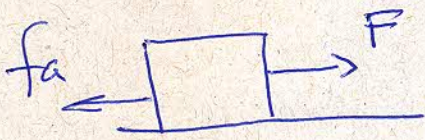
órbita da EEI: queda livre, v
velocidade horizontal de tal forma
que mantém constante a
distância à superfície da Terra

Peso no equador e no pólo.

A Terra tem movimento de rotação e
portanto corpos em sua superfície têm
aceleração centrípeta \Rightarrow Terra \bar{n} é um
referencial inercial. Mas o efeito é
suficientemente pequeno p/ que p/ ser
se ignorado na maioria dos casos.

Forças de Atrito

- Atrito entre duas superfícies planas e secas.



aplicar \vec{F} que é aumentada de que o movimento se inicia.

- atrito estático: não há movimento relativo entre o corpo e a superfície. A força de atrito aumenta quando \vec{F} aumenta de modo que sempre $f_a = \vec{F}$. Isso acontece até que o valor máximo de f_a seja atingido.

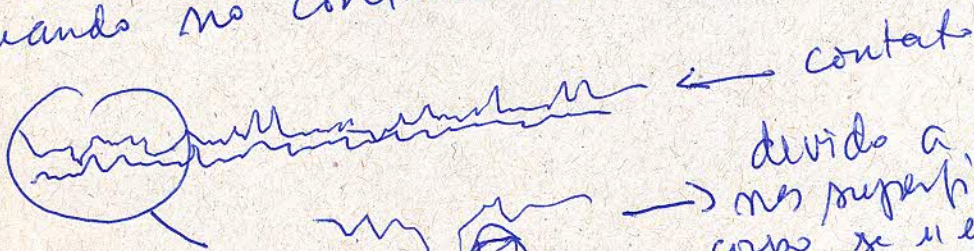
$$|f_{a \max}| = \mu_e N \quad \text{onde } \mu_e = \text{coeficiente de atrito estático}$$

N = força normal de contato entre o bloco e a superfície.

- atrito cinético: Se $\vec{F} > \vec{f}_{a \max}$ então o movimento se inicia. A partir de então, para a valer a força de atrito cinético $|f_c| = \mu_c N$

com $\mu_c < \mu_e$.

Essas expressões para atrito estático e cinético são empíricas, isto é não são obtidas da teoria. São consequência de forças microscópicas atuando no contato entre os corpos.



devido a rugosidade das superfícies um corpo se "encaixa" no outro. Para iniciar o movimento é necessário quebrar esses pontos.

Coefficients de atrito típicos:

	μ_e	μ_c
madeira sobre madeira:	0,25-0,5	0,2-0,3
vidro sobre vidro	0,9-1,0	0,4-0,6
aco no aco aco (*)	0,6	0,6
aco no aco (lubrificado) (*)	0,09	0,05
borracha no concreto (*)	1,0	0,8
Esqui na neve (*)	0,04	0,04
teflon no teflon	0,04	0,04

(A) Note que esses casos não são do tipo considerado acima (superfícies secas e polidas). Portanto μ p/ esses casos, o atrito nem sempre é proporcional à força de contato. Os valores de μ são indicativos e podem variar com a velocidade ou o valor de N.

- Lubrificação: Óleos minerais / orgânicos / sintéticos / são usualmente empregados p/ diminuir o atrito entre duas superfícies.
- Em alguns casos específicos (bombas de vácuo turbo moleculares, p.ex) a levitação magnética que impede o contato físico entre as superfícies e empregadas "levitação" sobre um colchão de ar comprimido tb é às vezes empregado.

- Resistência do ar.

A força de atrito entre um corpo e um fluido, depende da viscosidade

do fluido e da velocidade relativa. (9)

- para corpos n̄ muito extensos e de forma regular (esfera, projétil, etc) essa força é proporcional à velocidade do corpo no fluido:

$\vec{F} = -b\vec{v}$ com $b = 6\pi\eta r$, onde η é a viscosidade do fluido e r o raio do corpo (corte na direção perpendicular ao movimento).

- Para grandes velocidades a força é proporcional ao quadrado de velocidade.

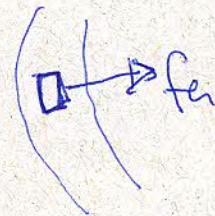
Essas relações tb são empíricas e aproximadas.

- Atrito de rolamento: Mais tarde vimos estudar o caso de rolamento (roda de carro que tem em movimento). O atrito ~~entre~~ entre uma roda e uma estrada, embora seja grande p/ manter o contato ("não derrapar"), afeta muito pouco o movimento.

Forças no movimento circular

- Curva em auto estrada normalmente têm uma pequena inclinação, para auxiliar e tornar mais seguro o percurso dos carros em altas velocidades. Considere uma curva de raio R , sendo percorrida a velocidade v .

a) Caso Plano



A força de atrito, neste caso, é a única (10)
na direção horizontal, e é o que permite que
o carro descreva um arco de círculo. Portanto
o valor da força de atrito (estático) é:

$$f_a - |\vec{f}_a| = m \frac{v^2}{R}$$

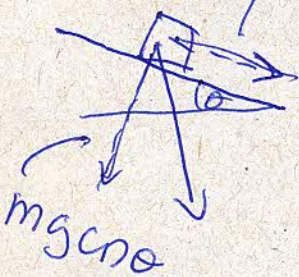
para uma dada curva (R) a velocidade máxima
com que o carro pode percorrer sem derrapar
é dada por:

$$\mu_e N = m \frac{v_{max}^2}{R}$$

Como a pista é horizontal,
 $N = mg$ e

$$v_{max} = \sqrt{\mu_e \cdot g \cdot R}$$

Agora considere-se uma pista com inclinação de
 10°



na direção da curva (ângulo
inclinado). Têm as forças
de atrito e o componente do
peso. Portanto a força centrípeta
é dada por:

$$\mu_e \cdot mg \cos \theta + mg \sin \theta$$

Assim, a velocidade máxima é dada

$$m g (\mu_e \cos \theta + \sin \theta) = \frac{v^2}{R}$$

pl $\mu_e = 1$, $\theta = 10^\circ$ ($\cos 10^\circ = 0,985$, $\sin 10^\circ = 0,17$)

$$g (1,16) = \frac{v^2}{R} \quad (16\% \text{ maior se sem inclinação})$$

com chuva: $\mu_e < 1$ e o efeito é ainda maior