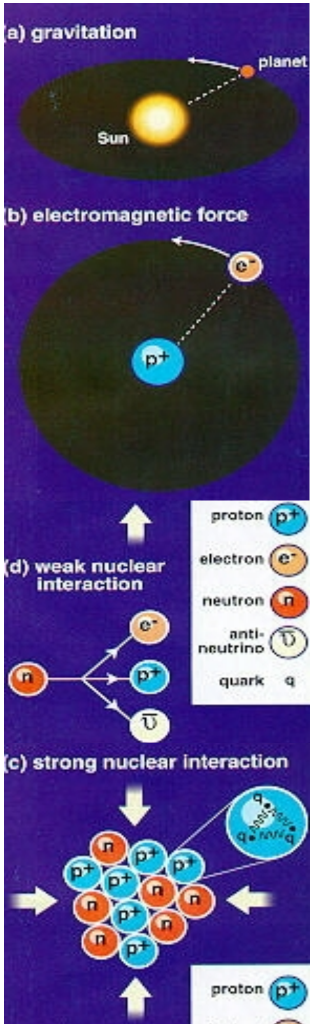
Física Geral I F -128

Aula 6

Força e movimento II

Forças Fundamentais da Natureza

- Gravitacional ($\propto 1/r^2$) 10^{-38}
  - Matéria
- Eletromagnética ($\propto 1/r^2$) 10^{-2}
  - Cargas Elétricas, átomos, sólidos
- Nuclear Fraca 10^{-7}
  - Decaimento Radioativo beta
- Nuclear forte 1
  - Mantém o núcleo ligado (curto alcance)



Unificação das forças

- Maxwell tentou unificar as forças elétrica e gravitacional
- Depois de 1915 (teoria da relatividade geral) Einstein tentou a unificação
- Fim dos 60, A. Salam (1926-96) e S. Weinberg (1933-) e S. Glashow (1932-) formularam a teoria Eletro-Fraca (Nobel 1979)
- Teorias de Grande Unificação (GUT) !!!
- Supercordas ???

Forças

As forças que indicamos acima - gravitacional, eletromagnética, fraca e forte são as básicas.

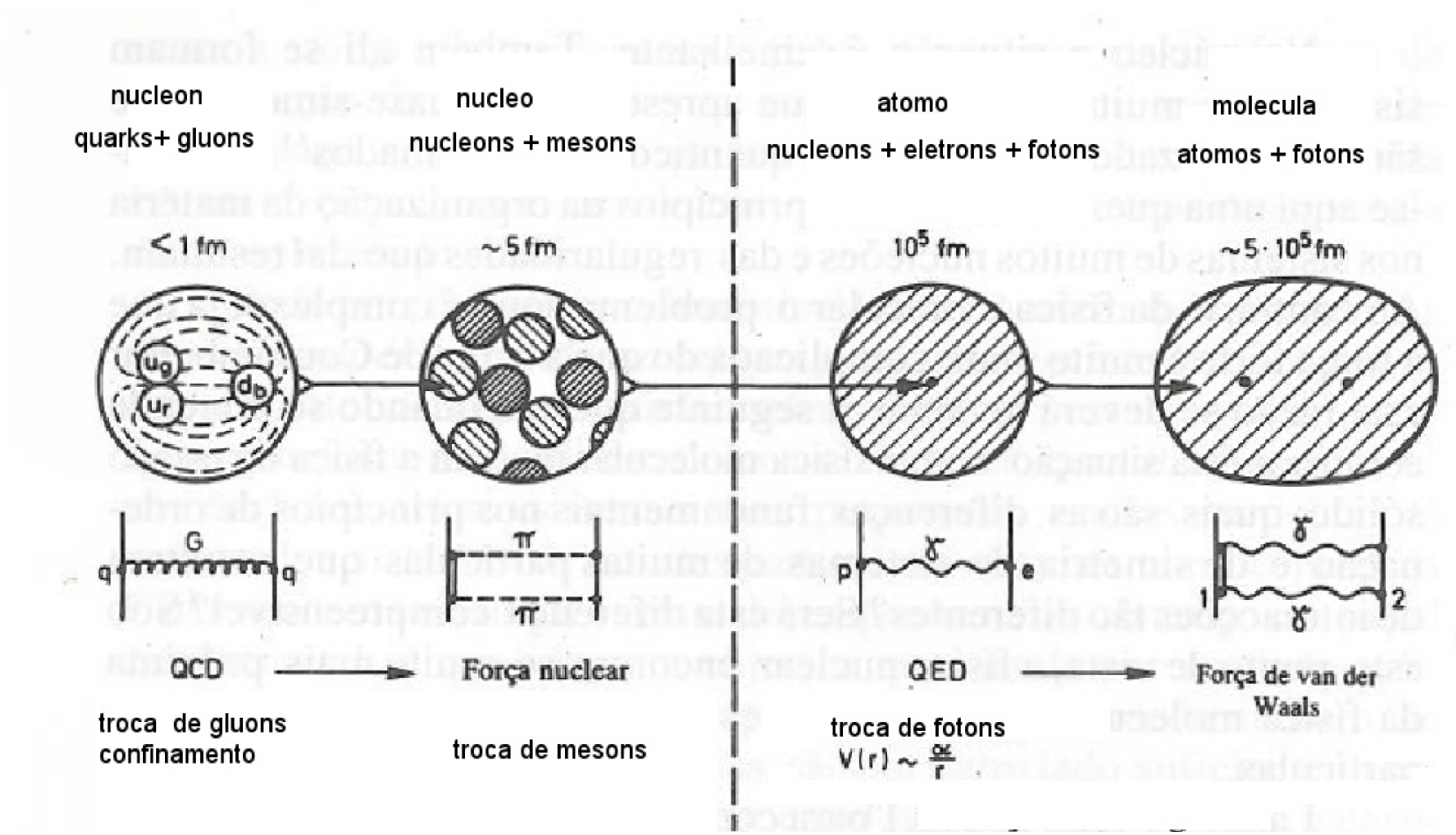
Há fenômenos nos quais elas aparecem de modo composto:

- as forças entre moléculas são composições (somas) de forças entre vários objetos menores, que são os eletrons e os núcleos. Essa soma aparece como uma força de tipo Van der Waals.

- As forças entre núcleons (protons e neutrons) são composições (somas) de forças entre objetos menores (quarks). Estas também aparecem como forças de tipo Van der Waals mas muito mais fortes e atuando em dimensões menores.

Assim, a estrutura de um átomo depende da força forte que mantem o núcleo coeso e da força eletromagnética que mantém os eletrons ligados ao núcleo. Caso não houvesse a coesão entre protons e neutrons, que é muito forte, o núcleo "explodiria".

Forças em diferentes escalas



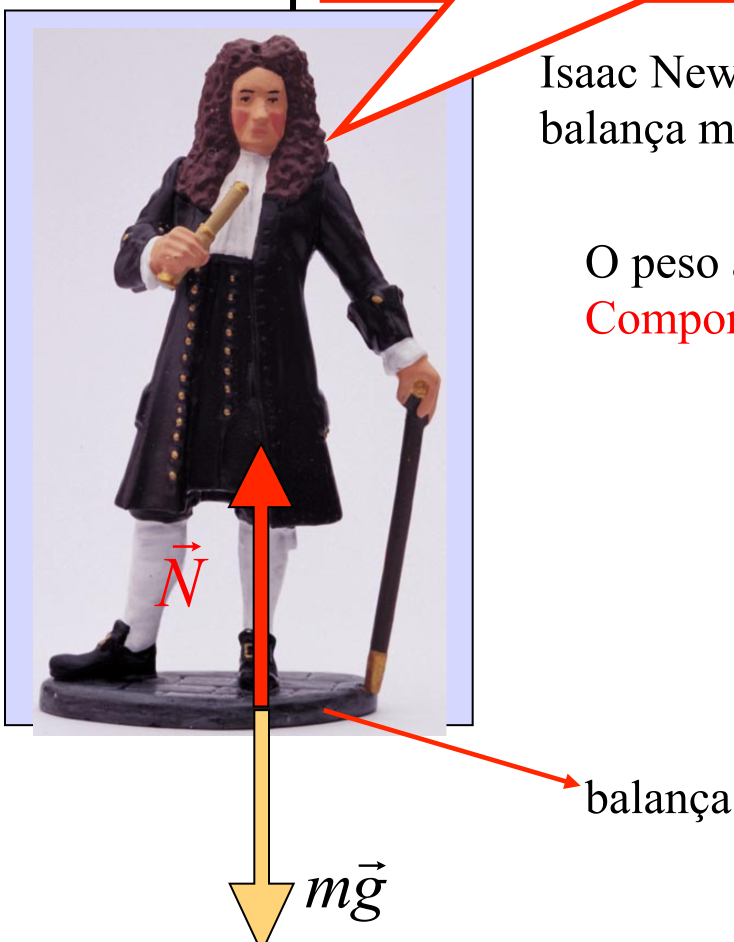
Forças derivadas

- Todas as forças macroscópicas são ou gravitacionais ou eletromagnéticas.

- Como foi visto anteriormente, em escalas menores, temos a estrutura das moléculas, dos átomos e a estrutura sub-atômica. Elas dependem da interação eletromagnética no nível molecular e atômico e também da interação forte, que mantém o núcleo coeso. As leis que regem esses fenômenos em escalas menores são as da mecânica quântica.

Força normal: referenciais não inerciais

acelerado para cima: a > 0



Isaac Newton dentro de um elevador sobre uma balança. A balança mede o peso aparente.

O peso aparente é dado pela força normal.
Componente *y* da 2ª lei de Newton:

$$\sum F_y = ma_y \Rightarrow N - mg = ma$$

Se:

$$a = 0 \rightarrow N = mg$$

$$a > 0 \rightarrow N > mg$$

$$a < 0 \rightarrow N < mg$$

Q1: Força de atrito

Um objeto sobre um plano inclinado desliza se a inclinação do plano for maior que uma certa inclinação máxima. De que forma tal inclinação depende da orientação do objeto?

A. A inclinação é maior quando a área de contato for maior

B. A inclinação é maior quando a área de contato for menor.

C. A inclinação independe da área de contato.

[MC Types]

[Default]
[MC Any]
[MC All]

Força de atrito: história

Leonardo da Vinci (1452-1519): um dos primeiros a reconhecer a importância do atrito no funcionamento das máquinas.

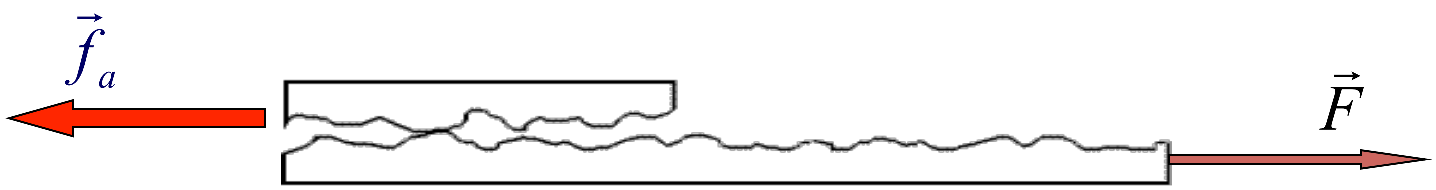
Leis de atrito de da Vinci:

1) a área de contato não tem influência sobre o atrito.

2) dobrando-se a carga de um objeto, o atrito também é dobrado.

Guillaume Amontons (1663-1705): redescoberta das leis de da Vinci

O atrito é devido à rugosidade das superfícies.

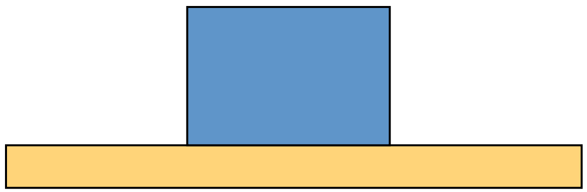


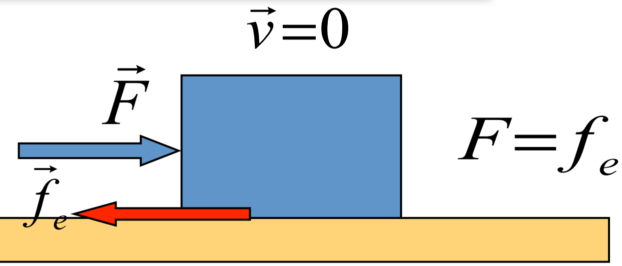
Charles August Coulomb (1736-1806): o atrito cinético é proporcional à força normal e independente da velocidade **Lei de Amontons-Coulomb:**

$$\left|\vec{f}_a\right| = \mu\left|\vec{N}\right|$$

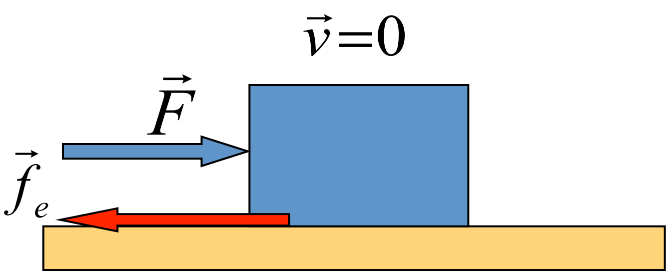
Atrito estático e atrito cinético

Ausência de forças horizontais

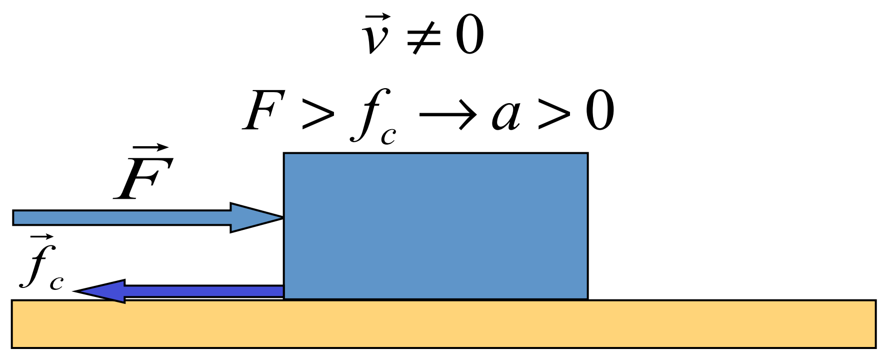




A força de atrito estático é máxima ($=\mu_e N$) na *iminência* de deslizamento.



$$0 \leq f_e \leq \mu_e N$$

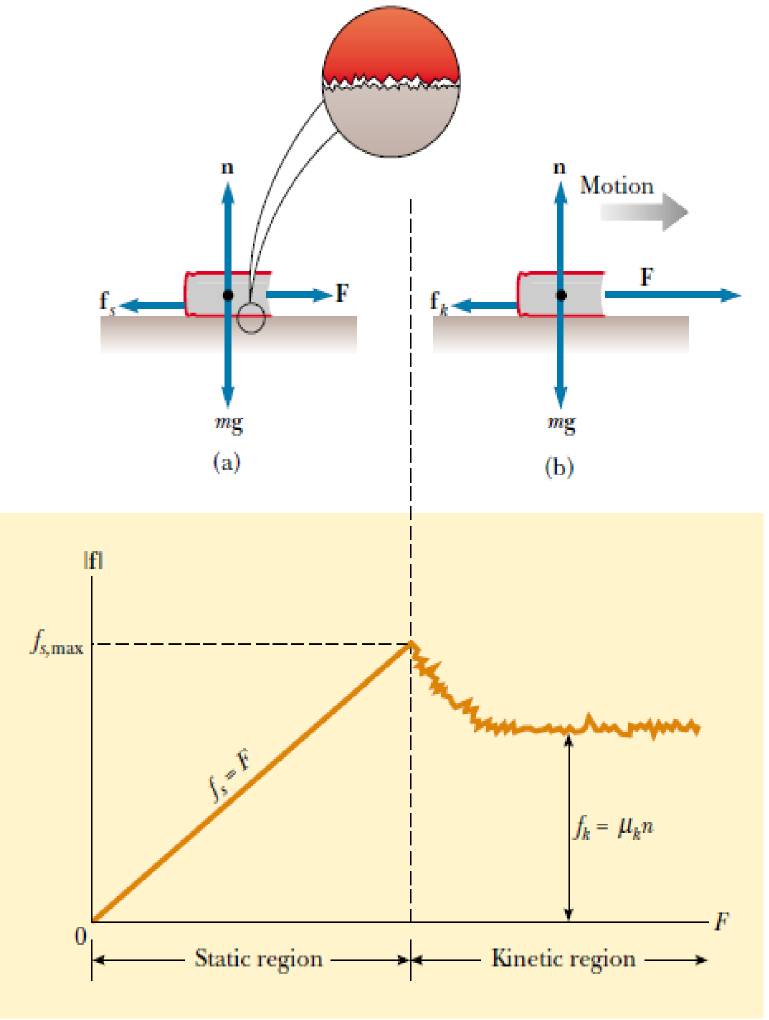


$$f_c = \mu_c N$$

A força de atrito sobre um corpo tem sempre sentido oposto ao seu movimento (ou à tendência de movimento) em relação ao outro corpo.

Atrito estático e atrito cinético

$$\mu_e > \mu_c$$



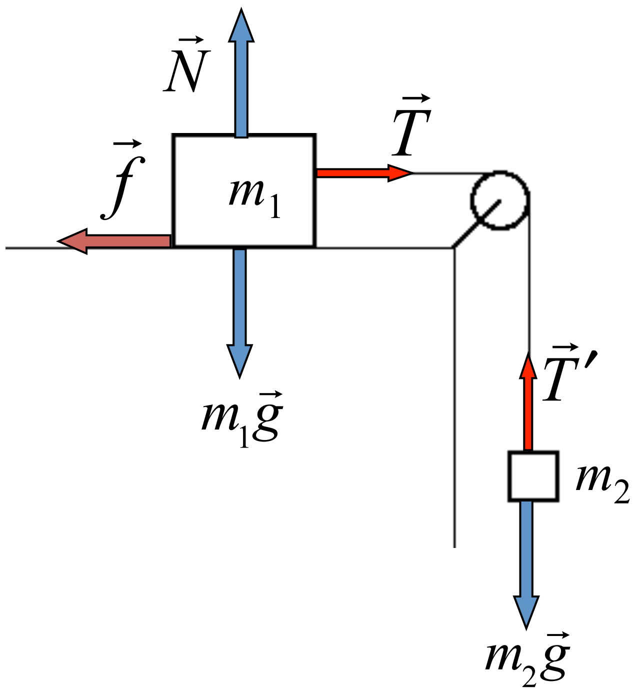
Os coeficientes de atrito dependem das duas superfícies envolvidas.

O coeficiente de atrito cinético independe da velocidade relativa das superfícies.

Coeficientes de atrito

Material	μ_e	μ_c
Aço / aço	0,74	0,57
Alumínio / aço	0,61	0,47
Cobre / aço	0,53	0,36
Madeira / madeira	0,25-0,50	0,20
Vidro / vidro	0,94	0,40
Metal / metal (lubrificado)	0,15	0,06
Gelo / gelo	0,10	0,03
juntas de ossos	0,01	0,003

Medida de forças de atrito: sistema de blocos



Sistema em movimento:

$$m_2 g - f = (m_1 + m_2)a$$

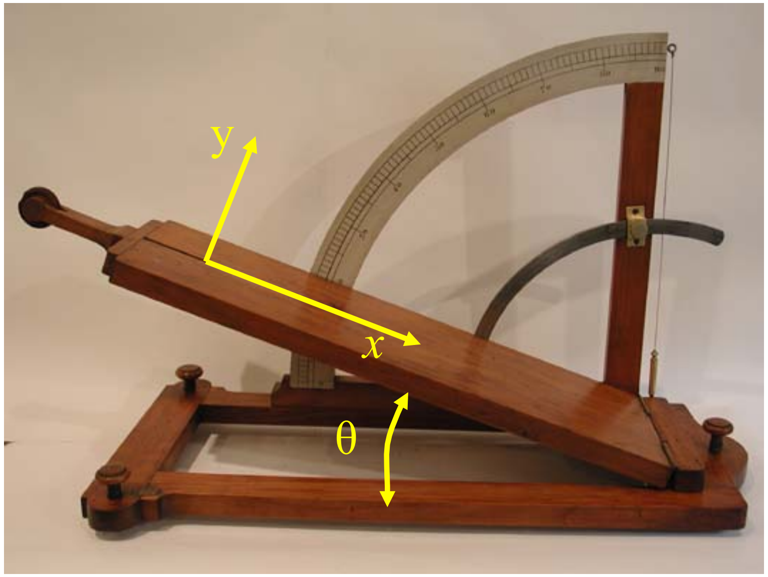
$$m_2 g - \mu_c m_1 g = (m_1 + m_2)a$$

$$a = \frac{m_2 - \mu_c m_1}{m_1 + m_2} g$$

Sistema em equilíbrio na iminência de movimento: $a = 0$ e $f_e = \mu_e N$

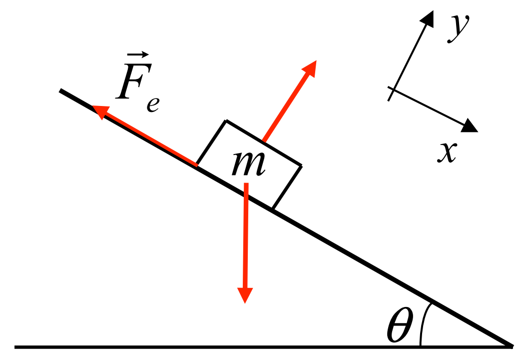
Então: $m_2 - \mu_e m_1 = 0 \longrightarrow \boxed{\mu_e = \frac{m_2}{m_1}}$ (determinação do coeficiente de atrito estático)

Medida de forças de atrito: plano inclinado



Plano inclinado para aulas de física (1850)

Bloco de massa *m* na iminência de deslizar num plano inclinado:



$\vec{N}$

$m\vec{g}$

$$\sum F_x = mg\ sen\theta - F_e = 0$$

$$\sum F_y = N - mg\cos\theta = 0$$

Na iminência de deslizamento:

$$F_e = \mu_e N$$

$$\mu_e = \frac{m\,g\ sen\ \theta}{m\,g\ \cos\ \theta} \rightarrow \boxed{\mu_e = tg\,\theta}$$

Plano inclinado com o bloco em movimento

Calcular a aceleração do bloco

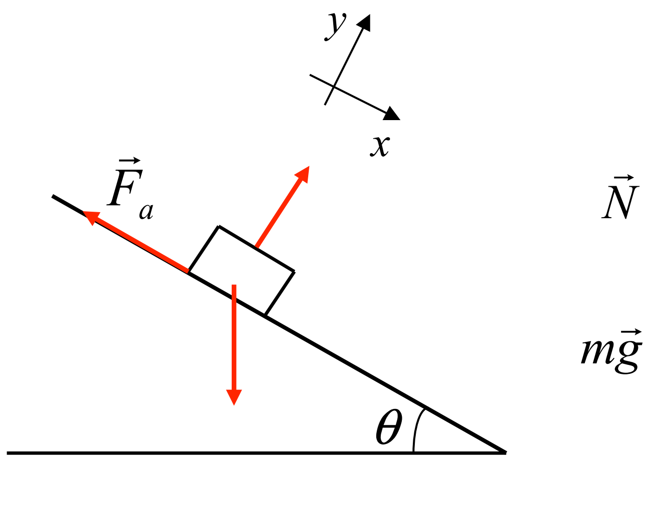
$$\sum F_x = mg\ sen\theta - F_a = ma$$

$$\sum F_y = N - mg\ \cos\theta = 0$$

$$\cancel{m}gsen\theta - \mu_c \cancel{m}g\cos\theta = \cancel{m}a$$

$$\boxed{a = g(sen\theta - \mu_c \cos\theta)}$$

Ou: $$a = g\cos\theta(\mu_e - \mu_c)$$

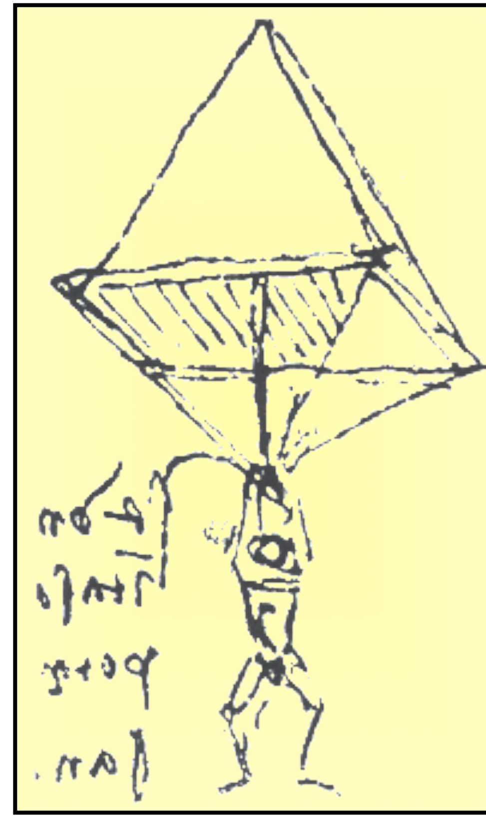


Como o coeficiente cinético é menor que o estático, a inclinação pode ser reduzida e o bloco continuará em movimento.

Atrito em fluidos: Força de arraste

Salto realizado por Adrian Nicholas, 26/6/2000

"It took one of the greatest minds who ever lived to design it, but it took 500 years to find a man with a brain small enough to actually go and fly it."



Esboço de Leonardo da Vinci, de 1483

Força de arraste e velocidade terminal

A força de arraste em um fluido é uma força dependente da velocidade (ao contrário da força de atrito vista até agora) e apresenta dois regimes:

a) Fluxo turbulento: velocidades altas

Força de arraste: $$F_D = \frac{1}{2}\rho A C v^2$$

C: coeficiente de arraste (adimensional)

A: área da seção transversal do corpo

ρ : densidade do meio

b) Fluxo viscoso: velocidades baixas

Força de arraste: $$F_D = 6\pi\eta r v$$

r : raio do objeto

η : viscosidade do meio ($N.s/m^2$)

Velocidade terminal: queda de corpos

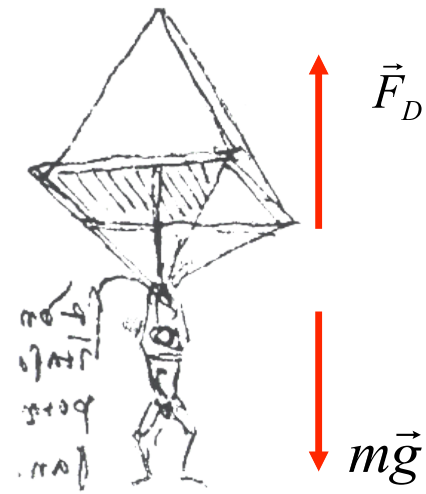
Fluxo turbulento:

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

Quando o paraquedas atinge a velocidade terminal v_T constante:

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow F_D = mg$$

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



Exemplo da gota de chuva (Halliday)

$$v_T \approx 27\text{km/h}$$

Sem a resistência do ar:

$$v_T \approx 550\text{km/h}$$

Variação da velocidade em fluxo viscoso

2.ª lei de Newton:

$$\sum F = ma = mg - bv = m\frac{dv}{dt} \qquad \boxed{b = 6\pi\eta r}$$

ou:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{b}{m}v = g$$

A solução desta equação é, para $v(0) = 0$:

$$v = \frac{mg}{b}\left(1 - e^{-\frac{b}{m}t}\right)$$

A velocidade terminal (para $t \to \infty$) é:

$$v_t = \frac{mg}{b} = \frac{mg}{6\pi\eta r}$$

Prova:

$$v = \frac{mg}{b}\left(1 - e^{-\frac{b}{m}t}\right) \longrightarrow \frac{dv}{dt} = g\,e^{-\frac{b}{m}t}$$

Então:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{b}{m}v = g\,e^{-\frac{b}{m}t} + \frac{b}{m}\frac{mg}{b}(1 - e^{-\frac{b}{m}t}) = g$$

Ou seja, fica satisfeita a equação

$$\frac{dv}{dt} + \frac{b}{m}v = g$$

Melhor aproximação para a força de arraste

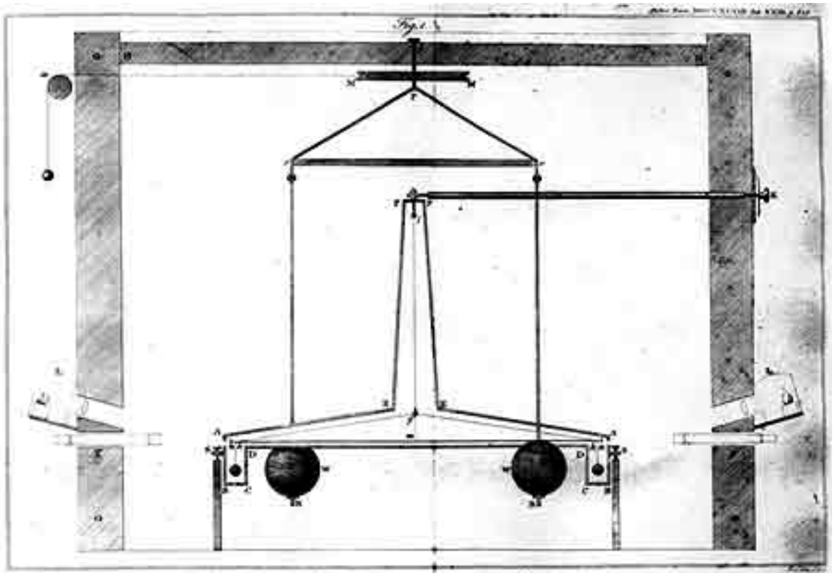
Velocidades baixas

Velocidades altas

$$F_D = b\,v + \;c\,v^2$$

Cada um dos termos domina em um limite de velocidade. Em baixas velocidades a força é linear; com o aumento da velocidade, novos efeitos devidos à turbulência aparecem e a força fica proporcional ao quadrado da velocidade.

A Lei de Newton e a constante da gravitação universal



$$\vec{F} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{r}$$

$$G = 6{,}67\times10^{-11}\frac{N.m^2}{kg^2}$$

Experimento da balança de torção de Henry Cavendish, que determinou a constante da gravitação universal pela primeira vez em 1797.
(Extraído do Journal of Measurement and Technology)

Upper limits to submillimeter-range forces from extra space-time dimensions. Long et al., Nature **421**, 922, 2003.

A Lei da Gravitação Universal de Newton continua válida até distâncias >100 μm.

"Pesando" a Terra! Qual é a massa da Terra?

O raio da Terra é conhecido desde as medidas de Erastótenes (276 a.C.-197 a.C.):

$$R_T = 6{,}374 \times 10^6\,\mathrm{m}$$

Outro resultado de medida: $g = 9{,}8 m/s^2$

$$G\frac{M_T\, m}{R^2{}_T} = mg \quad \Longrightarrow \quad M_T = \frac{gR^2{}_T}{G} = 5{,}97 \times 10^{24}\, kg$$

Dedução da 3ª Lei de Kepler, ou "pesando" o Sol

Supondo uma órbita aproximadamente circular: MCU

$$G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r} = m\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 \times \frac{1}{r}$$

$$T^2 = \frac{(2\pi)^2}{GM} r^3$$

$$r_{Sol-Terra} = 1{,}496 \times 10^{11}\, m$$

(raio médio da órbita da Terra)

$$T = 3{,}16 \times 10^7\, s = 365{,}3\ dias \therefore$$

$$M_{sol} = 1{,}99 \times 10^{30}\, kg$$

A "pesagem" pode ser refeita usando-se dados de cada planeta conhecido - ou o caminho inverso !!!

“Pesando” a Terra novamente

$$\boxed{\frac{T^2}{r^3} = \frac{(2\pi)^2}{GM}}$$

<u>Órbita da Lua:</u>
Raio médio: 382.000 km
Período: 27,3 dias (2,35 x 10^6 s)

$M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg

E as luas de Júpiter (Io, Europa, Ganimedes e Calisto)?
“Pesando” tudo... e determinando as densidades...

Notar a importância de se conhecer G !!!

Q2: Movimento Circular

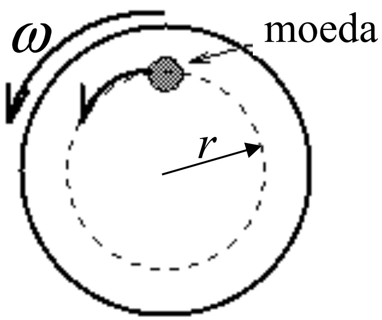
Em um disco girando são colocados dois objetos idênticos, a diferentes distâncias do centro do disco. Ao aumentarmos a velocidade angular, o objeto mais próximo do centro será o primeiro a deslizar.

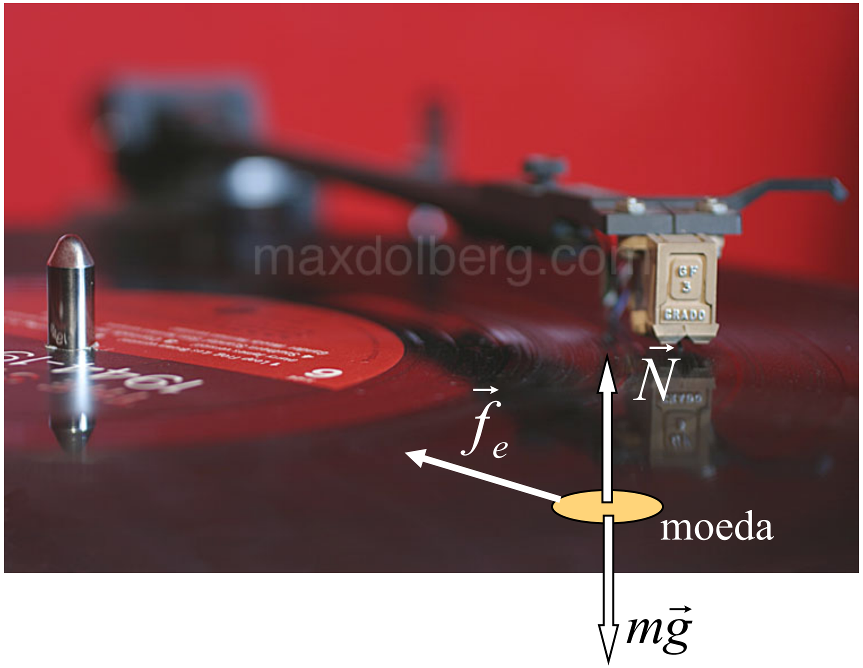
A. Verdadeiro

B. Falso

Atrito e movimento circular

Qual é a máxima velocidade angular do disco para que a moeda não deslize?





$$N - mg = 0$$

$$f_e \leq \mu_e N = \mu_e mg$$

Para que a moeda não deslize e caia do disco:

$$m\frac{v^2}{r} = f_e \leq \mu_e mg$$

Outro jeito para medir o coeficiente de atrito!

$$\boxed{\frac{v^2}{r} = \omega^2 r \leq \mu_e g}$$

Força normal e movimento circular

Um carro faz uma curva numa estrada sem atrito, superelevada de um ângulo θ. Qual é a velocidade do carro para que ele não derrape?

Componente x (centrípeta):

$$N\,sen\theta = m\frac{v^2}{r} \qquad (1)$$

Componente y (vertical):

$$N\cos\theta = mg \qquad (2)$$

$(1) \div (2)$:

$$tg\,\theta = \frac{v^2}{rg} \;\Rightarrow\; v = \sqrt{g r tg\theta}$$