

Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

Programa

- Física na Biologia
- **Sólidos e Fluidos**
- Electricidade
- Magnetismo
- Vibrações e Ondas
- Óptica geométrica
- Física Contemporânea (!)

Estes slides contêm imagens retiradas da web, assim como conteúdos gráficos das referências
Physics for Scientists and Engineers, R. A. Serway & J. W. Jewett, Thomson Brooks/Cole 2004.
Light and Matter, B. Crowell, Open Education Consortium, Creative Commons 3.0.

Licenciaturas em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

2- Sólidos e Fluidos

- Movimentos.
- **Forças e movimentos. Conservação do momento linear.**
- Trabalho e energia. Conservação de energia e energia potencial.
- Pressão. Princípio de Arquimedes.
- Tensão superficial e capilaridade.
- Escoamentos e equação de Bernoulli.
- Viscosidade.
- Movimento de insectos, aves e bactérias.
- Difusão e pressão osmótica.
- Equação de Nernst para a membrana do axónio.

2.2 Forças e Movimentos

Um corpo livre mantém o seu estado de repouso ou movimento uniforme e rectilíneo.

Lei da inércia (1^a Lei de Newton)



Esta lei define o espaço absoluto como o conjunto de referenciais em que ela se verifica – o espaço absoluto é onde se pode jogar bilhar a qualquer escala...

2.2 Forças e Movimentos

Num referencial inercial, as forças produzem acelerações proporcionais.

Lei da dinâmica (2ª Lei de Newton)

Como as acelerações são grandezas vectoriais, as forças também o são.

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




A identificação desta constante de proporcionalidade com a que intervém na gravitação permitiu perceber porque é que os corpos caem com a mesma aceleração...

2.2 Forças e Movimentos

A Terra atrai os corpos à sua superfície com uma força que é proporcional à massa destes corpos. Em geral,

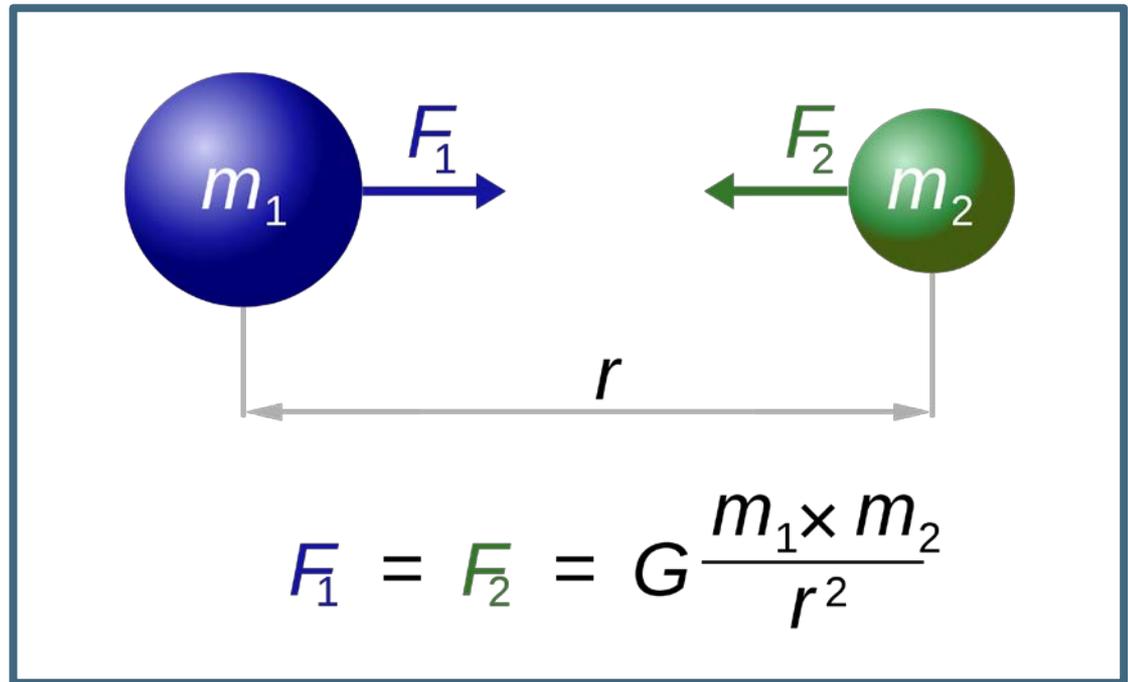
Lei da gravitação de Newton



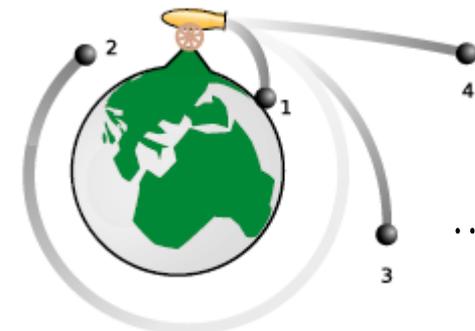
$$g = \frac{F}{m}$$

$$g = G \frac{M_T}{R_T^2}$$

$$\vec{P} = m \vec{g}$$



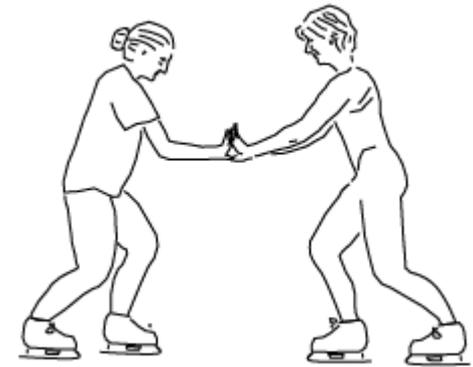
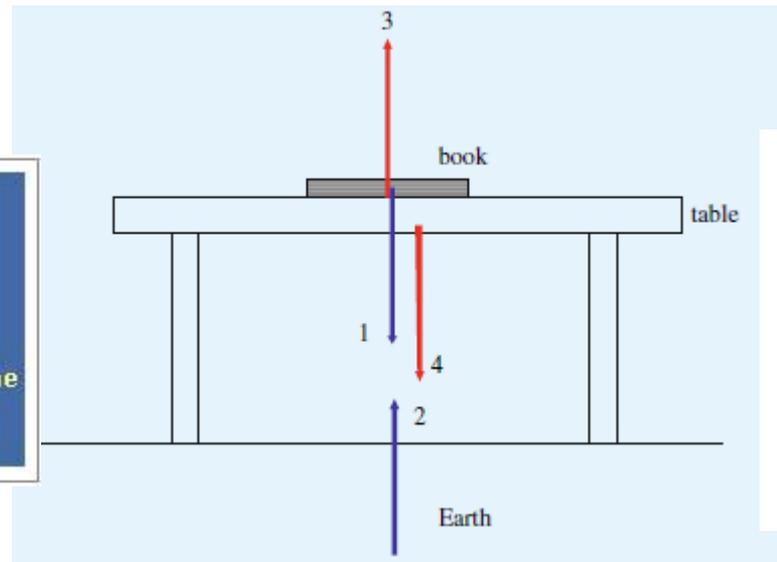
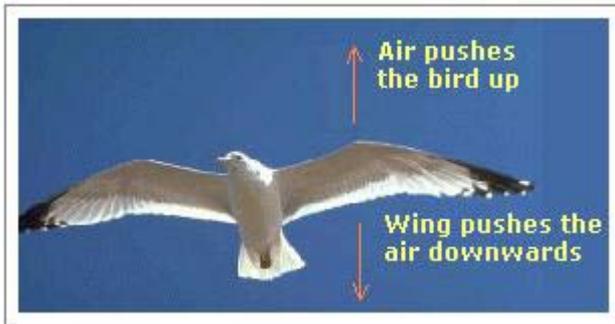
...e unificar a mecânica da Terra com a dos Céus.



2.2 Forças e Movimentos

As forças de interacção são sempre simétricas, independentemente da sua natureza.

Lei da acção-reacção (3^a Lei de Newton)

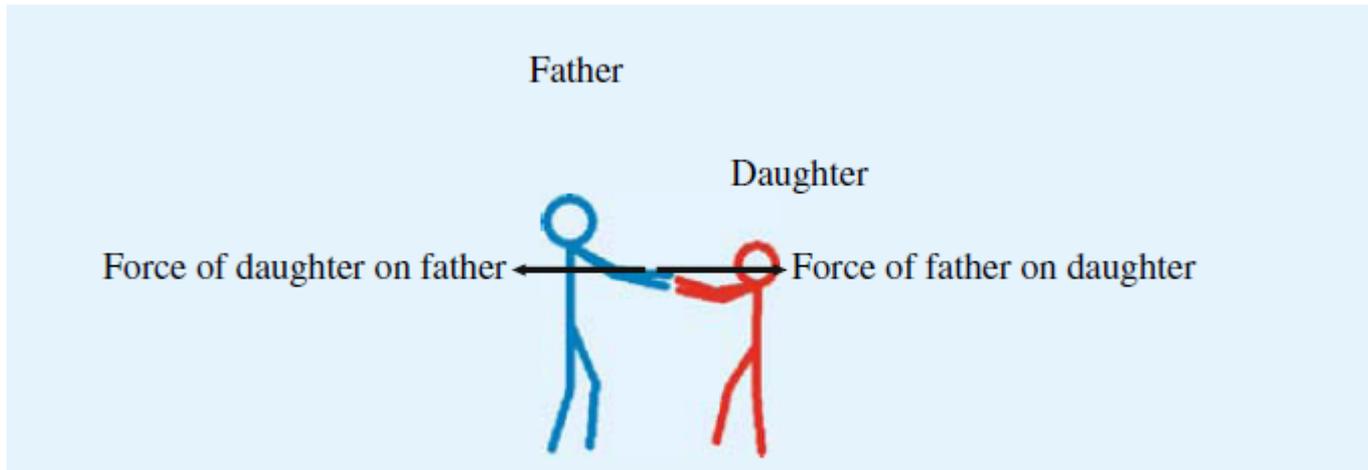


Estes três exemplos envolvem pares acção-reacção de forças fundamentais (gravitacionais) e de contacto.

2.2 Forças e Movimentos

As forças de interacção são sempre simétricas.

Quiz 23

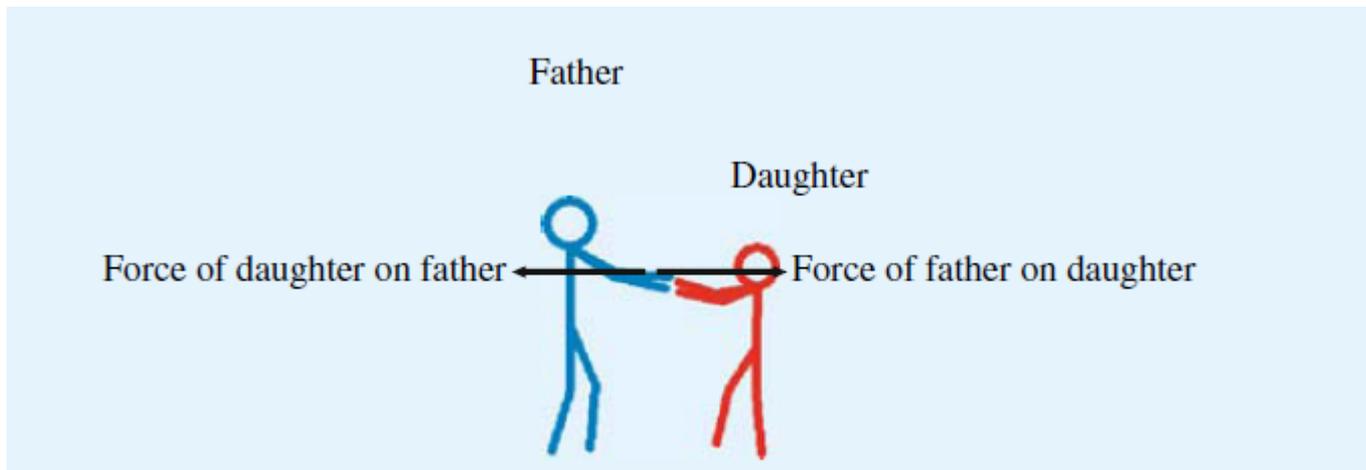


Dois patinadores, um de 90 kg e outro de 40 kg, empurram-se com uma força de 20 N durante um certo tempo. Ache as suas acelerações nesse intervalo de tempo.

2.2 Forças e Movimentos

As forças de interacção são sempre simétricas.

Quiz 23



$$\vec{a}_p = -\frac{F}{m_p} \vec{u}_x = -0.22 \vec{u}_x$$

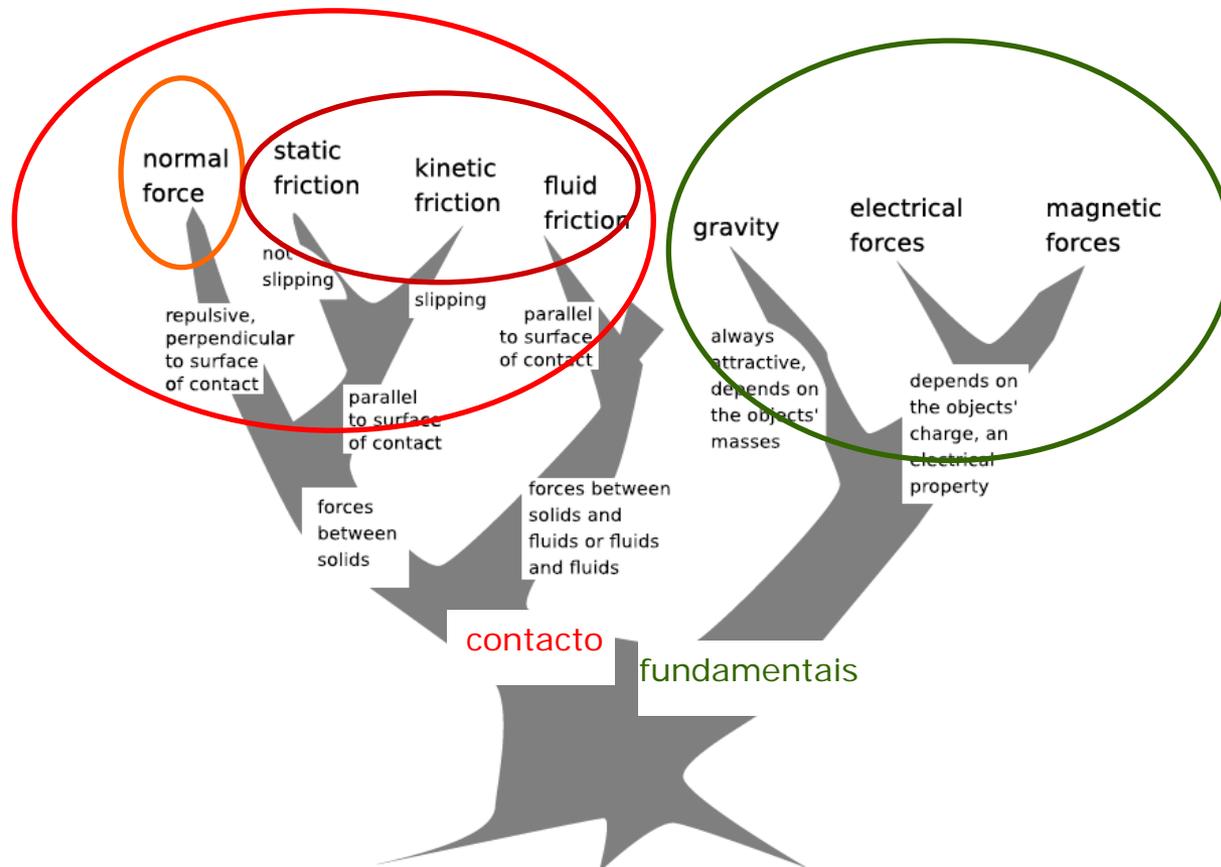
$$\vec{a}_f = \frac{F}{m_f} \vec{u}_x = 0.50 \vec{u}_x$$

A resposta depende de saber quem empurra com mais força?

2.2 Forças e Movimentos

Conhecendo as forças, podemos calcular os movimentos que estas produzem.

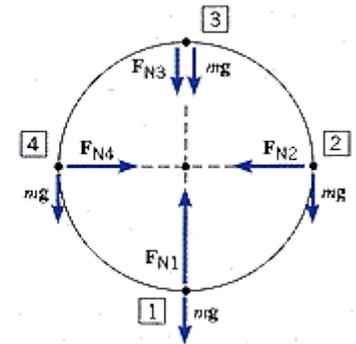
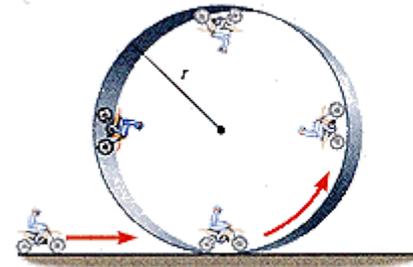
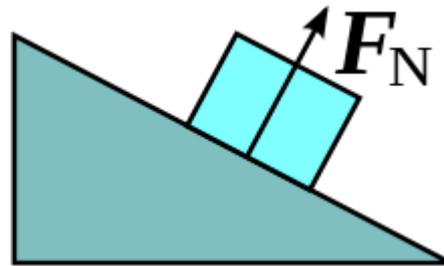
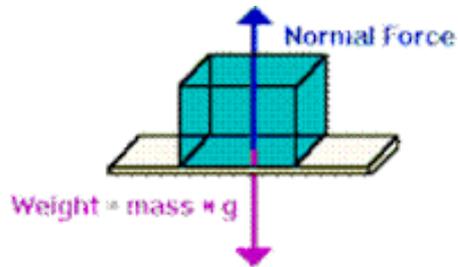
Tipos de forças



2.2 Forças e Movimentos

Conhecendo as forças, podemos calcular os movimentos que estas produzem.

Forças de ligação

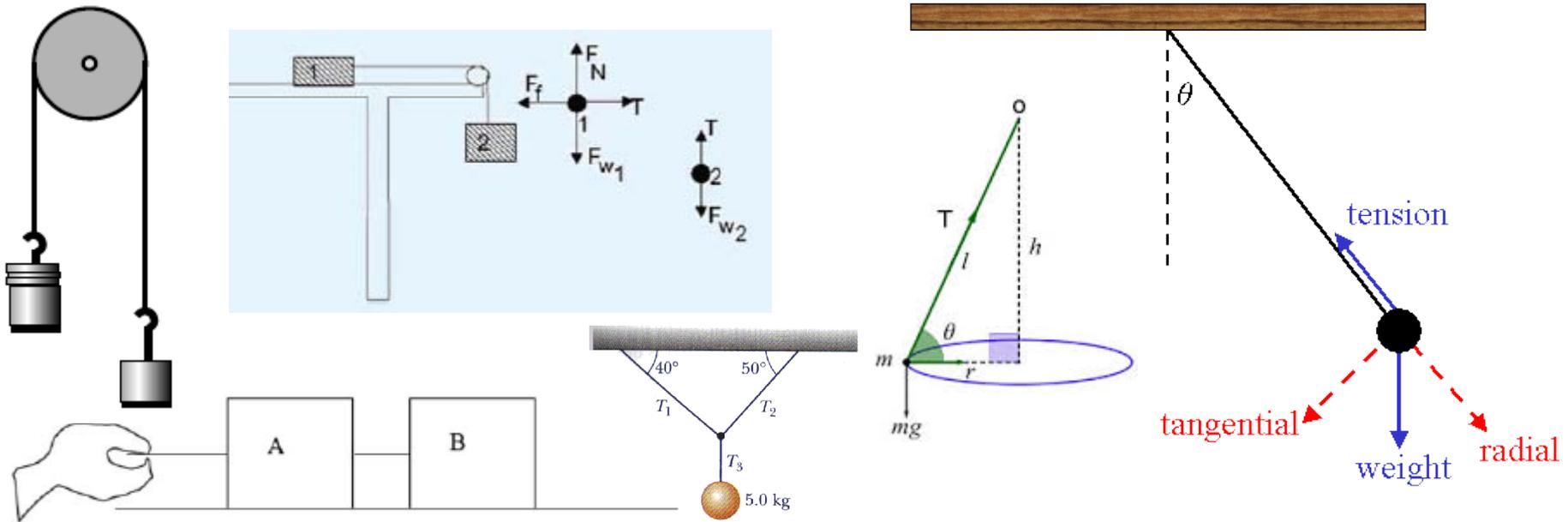


As forças de ligação são perpendiculares ao deslocamento e, em conjunto com as demais forças, garantem que o movimento respeite a geometria imposta.

2.2 Forças e Movimentos

Conhecendo as forças, podemos calcular os movimentos que estas produzem.

Forças de tensão

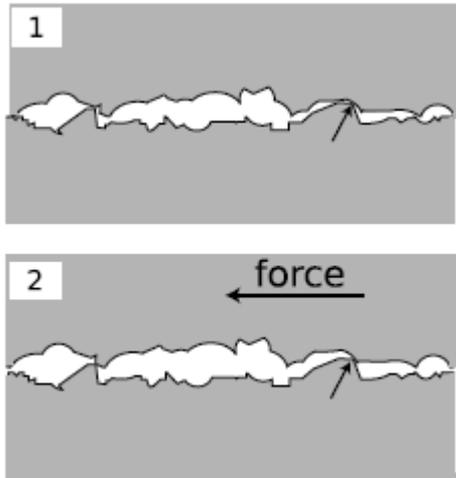


As forças de tensão/compressão são o outro tipo de forças geométricas. Exercem-se ao longo do fio e, em conjunto com as demais forças, garantem que o fio não estica/encolhe.

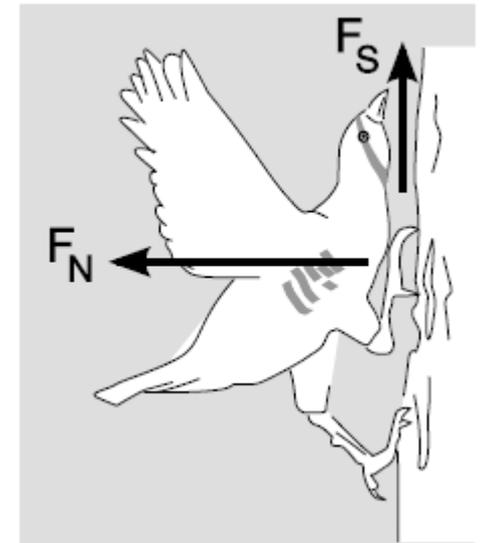
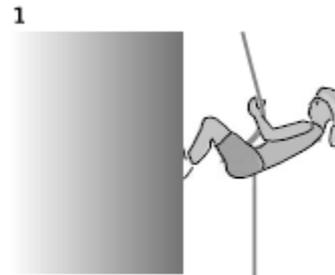
2.2 Forças e Movimentos

Conhecendo as forças, podemos calcular os movimentos que estas produzem.

Forças de atrito – atrito sólido



$$F_a = \mu F_N$$

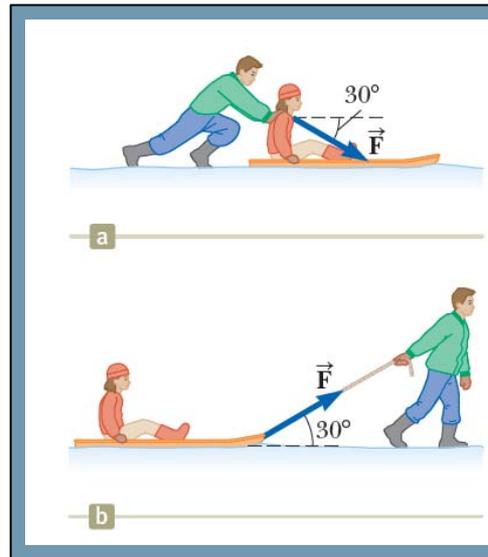


Como é evidente do modelo microscópico de atrito sólido, esta força de atrito opõe-se sempre ao movimento e é necessária uma força mínima para o iniciar.

2.2 Forças e Movimentos

Conhecendo as forças, podemos calcular os movimentos que estas produzem.

Forças de atrito – atrito sólido



Quiz 24

Como é mais fácil deslocar o trenó, empurrando ou puxando?

Toda a nossa intuição se baseia na existência deste tipo de atrito, que faz com que seja necessária uma força que o compense para manter uma velocidade constante.

2.2 Forças e Movimentos

Quiz 26 Atrito sólido

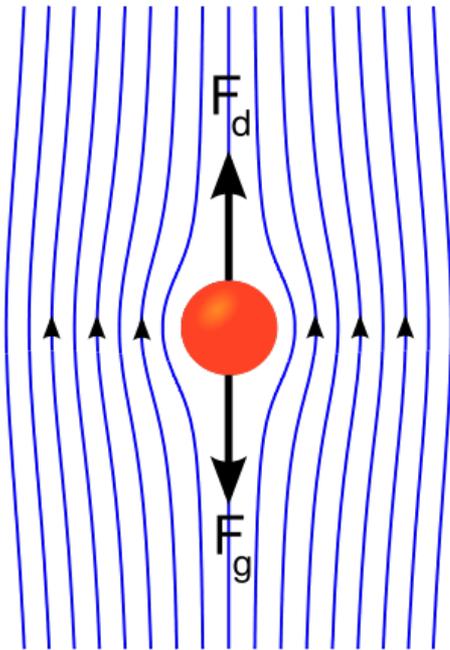
Um trenó vazio está em equilíbrio num plano inclinado de ângulo θ , sob a acção do seu peso, da força que a superfície exerce sobre ele e do atrito. Para inclinações superiores a θ , o trenó desliza. Suponha que carregamos o trenó com uma massa igual à massa do trenó vazio. Nesse caso,

- a) O trenó fica em equilíbrio para a inclinação θ , e desliza para inclinações maiores.
- b) O trenó fica em equilíbrio para a inclinação θ , e também para inclinações maiores.
- c) O trenó desliza para a inclinação θ , e também para inclinações menores.
- d) O trenó fica em equilíbrio para a inclinação θ , e também para inclinações θ' maiores, desde que $\sin \theta' < 2 \sin \theta$.
- e) O trenó desliza para a inclinação θ , e também para inclinações θ' menores, desde que $\cos \theta' < 2 \cos \theta$.

2.2 Forças e Movimentos

Ao contrário da força de atrito sólido, que é constante, a força de atrito fluido depende da velocidade.

Forças de atrito – atrito fluido, lei de Stokes



$$F_a = f v$$

$$f = 6 \pi r \eta$$

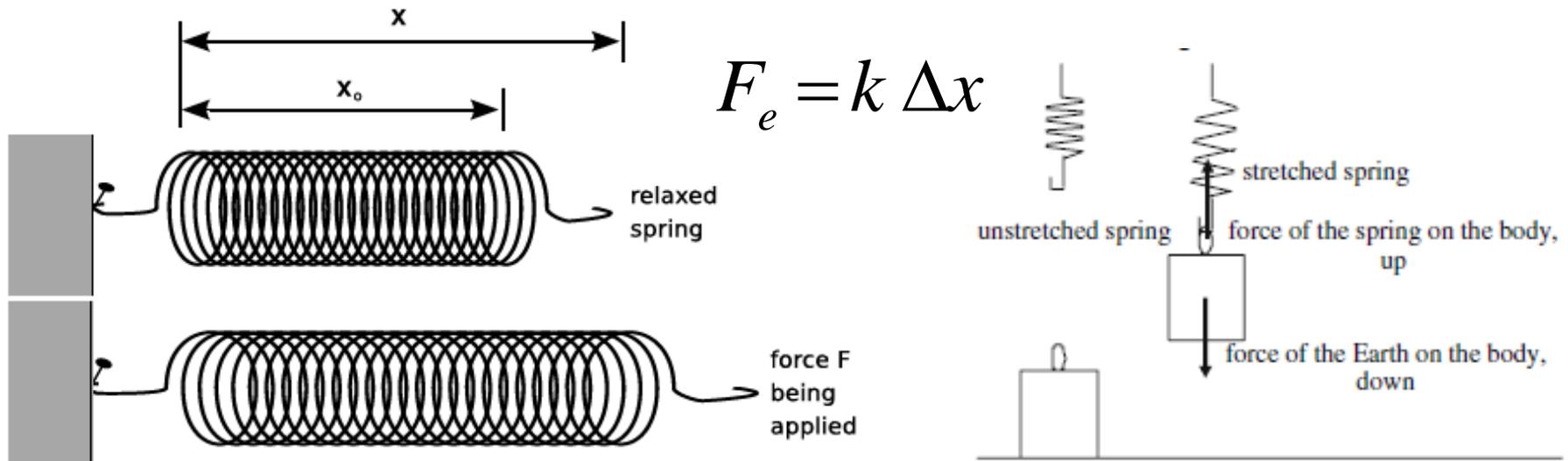


No escoamento turbulento o atrito depende da velocidade de maneira mais complicada. Adiante estudaremos o escoamento laminar e veremos porque existem dois regimes.

2.2 Forças e Movimentos

Outra força fenomenológica muito importante é a força elástica, que é responsável pelos movimentos de vibração.

Força elástica

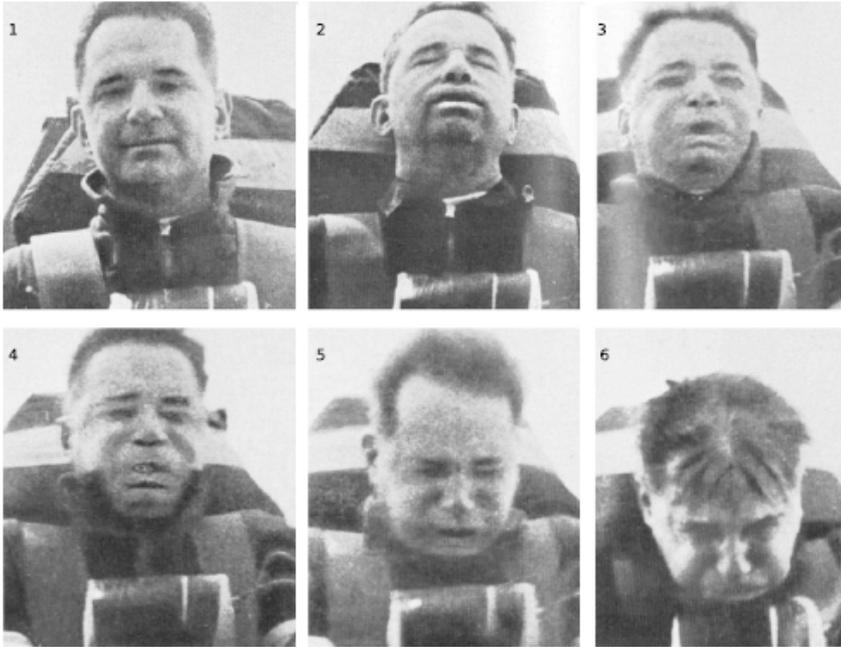


Uma mola ideal segue a lei de Hooke: a extensão/compressão é proporcional à força aplicada. A balança dinamómetro assenta nesse princípio.

2.2 Forças e Movimentos

Num referencial não inercial, a lei da dinâmica tem que ser 'ajustada'.

Forças de inércia

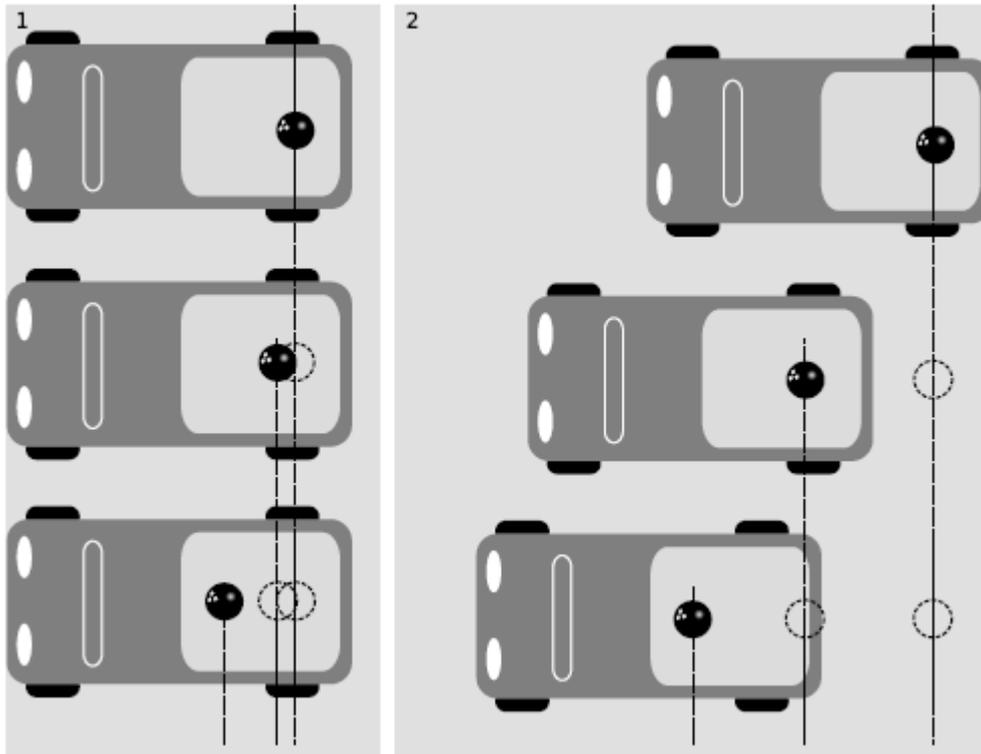


Ao contrário do movimento rectilíneo uniforme, o movimento acelerado – não inercial - produz efeitos físicos.

2.2 Forças e Movimentos

Num referencial não inercial, a lei da dinâmica tem que ser 'ajustada'. Como?

Forças de inércia



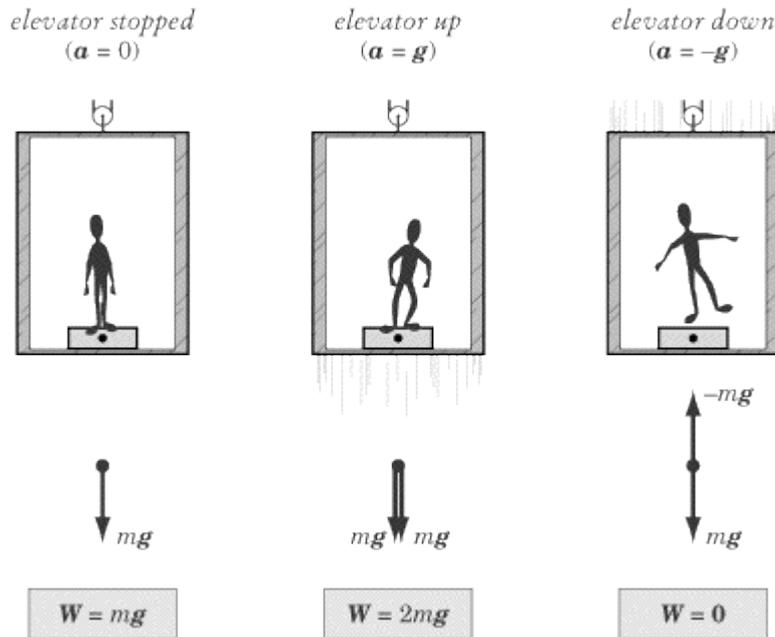
No referencial do caminhão, uma força misteriosa põe a bola em movimento acelerado, quando o caminhão começa a travar!

A aceleração do referencial 'gera' uma força, e temos que contar com essa força para usar a equação de Newton nesse referencial.

2.2 Forças e Movimentos

Num referencial não inercial, a lei da dinâmica tem que ser 'ajustada'. Como? Quanto valem as forças de inércia?

Forças de inércia



No interior de um elevador em queda livre, os corpos comportam-se como livres de qualquer força. Então, ...

2.2 Forças e Movimentos

Num referencial não inercial, a lei da dinâmica tem que ser ajustada. Como? Quanto valem as forças de inércia?

Forças de inércia



... num referencial acelerado cada massa m é actuada por uma força de inércia dada por

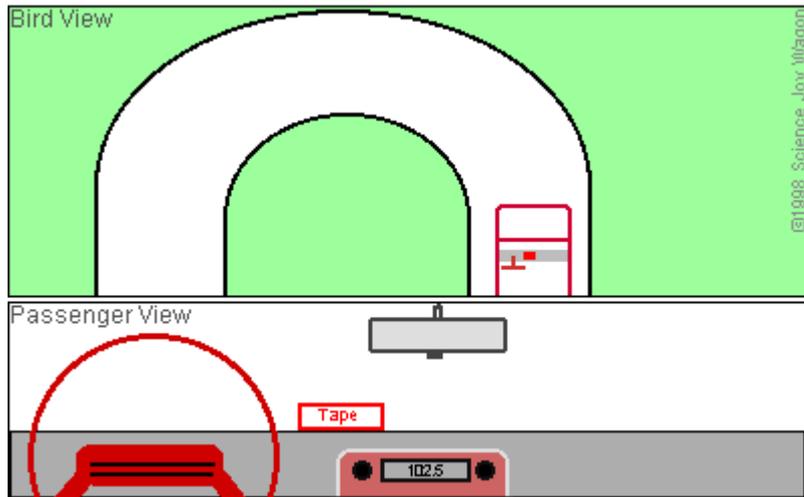
$$\vec{F}_i = -m \vec{a}_R$$

onde \vec{a}_R é a aceleração do referencial.

2.2 Forças e Movimentos

Num referencial não inercial, a lei da dinâmica é válida desde que se entre em conta também com as forças de inércia.

Forças de inércia



A força centrífuga é o nome que se dá à força de inércia associada a um referencial em movimento circular. Pesamos menos no Equador devido à rotação da Terra.

2.2 Conservação do momento linear

O momento linear ou quantidade de movimento é a quantidade conservada na ausência de forças.

A lei da dinâmica como lei de conservação

$$\vec{p} = m \vec{v} \quad [\text{kg m s}^{-1}]$$

O que é que magoa mais? Ser atingido(a) por um insecto que se desloca a 30 Km/h or por uma bola de ténis que se desloca a 30 Km/h?

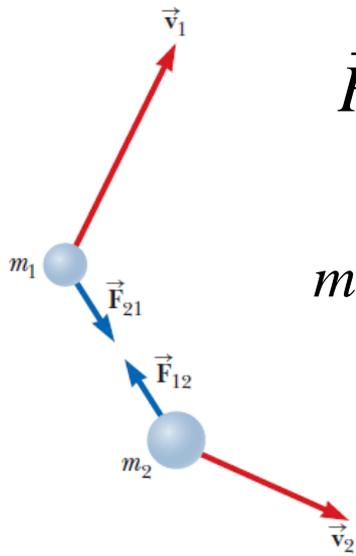
$$\vec{F} = m \vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{p} = \text{const}$$

2.2 Conservação do momento linear

Devido à 3ª lei, a conservação do momento linear total é válida para sistemas de partículas isolados, em particular nas colisões.

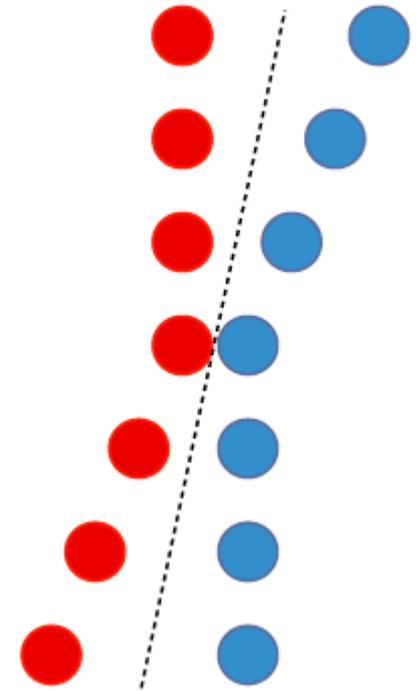
A lei da dinâmica como lei de conservação



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow \vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = 0$$

$$m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 = 0 \Rightarrow m_1 \frac{d\vec{v}_1}{dt} + m_2 \frac{d\vec{v}_2}{dt} = 0$$

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{P} = \text{conste.}$$

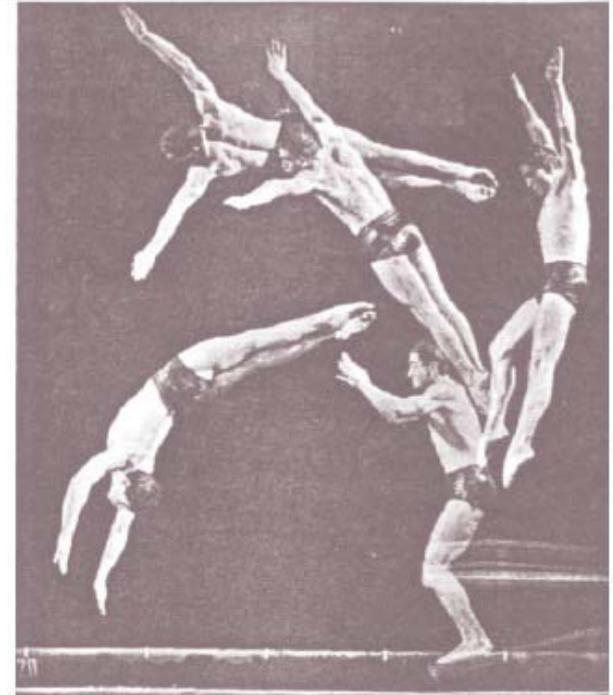
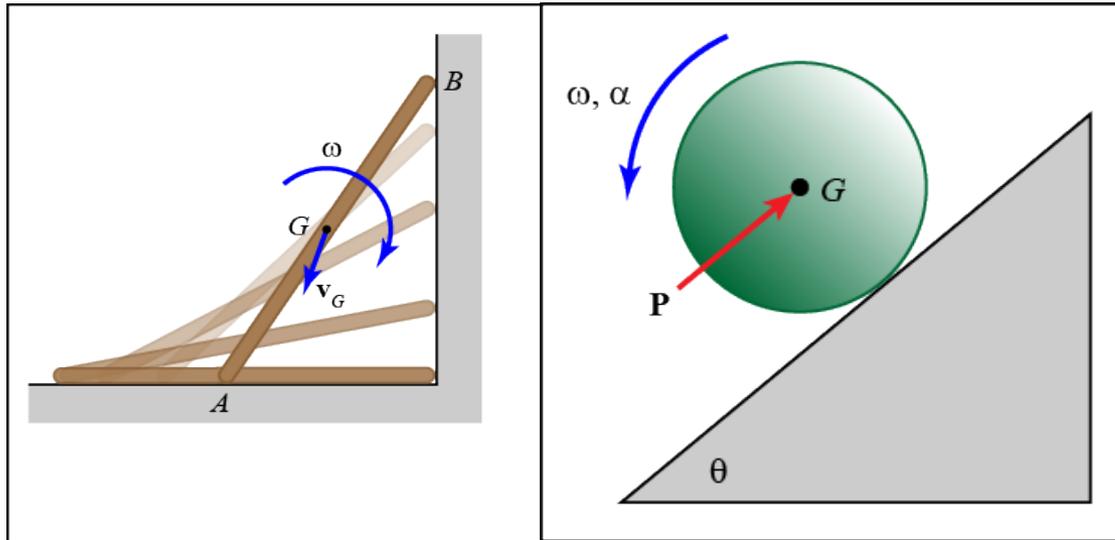


Há vários sistemas de propulsão naturais e artificiais baseados neste princípio, usando a ejeção de fluidos.

2.2 Rotação e momento angular

O movimento geral de um corpo rígido é a combinação de uma translação de um dos seus pontos com uma rotação em torno desse ponto.

Movimento geral de um corpo rígido

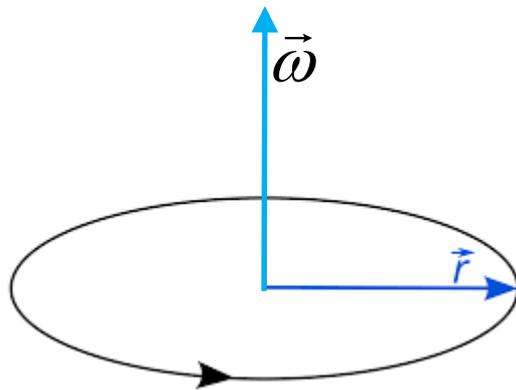


O momento linear total caracteriza o movimento de translação do centro de massa do corpo. Como caracterizar a rotação em relação a esse ponto?

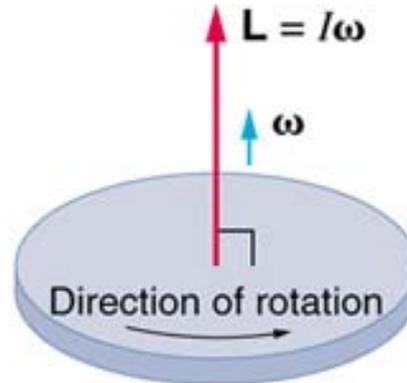
2.2 Rotação e momento angular

O momento angular em relação ao centro de massa caracteriza essa rotação.

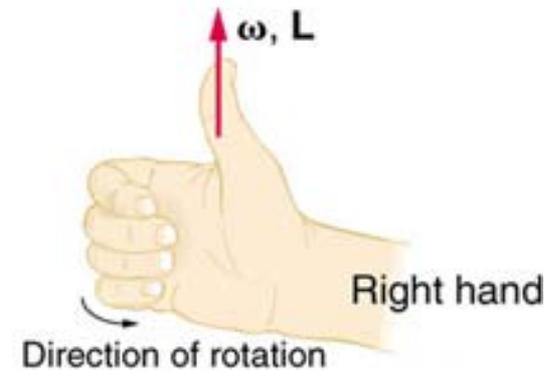
Vectores velocidade angular e momento angular



$$\vec{L} = I \vec{\omega}$$



(a)



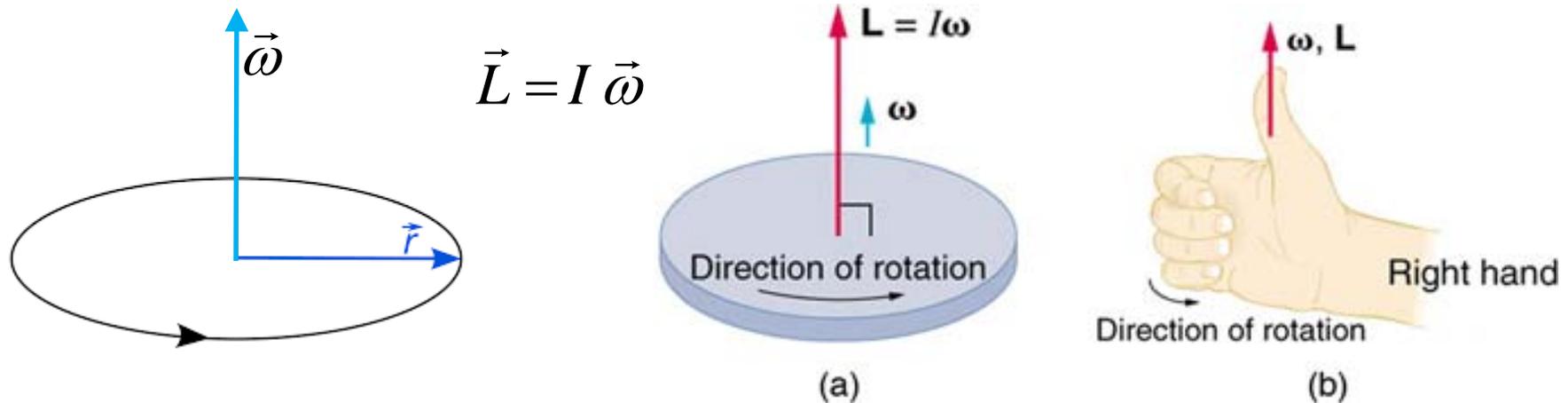
(b)

Assim como o momento linear é proporcional à velocidade, também o vector momento angular é proporcional ao vector velocidade angular.

2.2 Rotação e momento angular

Numa rotação em torno de um eixo fixo, os vectores velocidade angular e momento angular têm a direcção do eixo de rotação e sentido dado pela regra da mão direita.

Vectores velocidade angular e momento angular

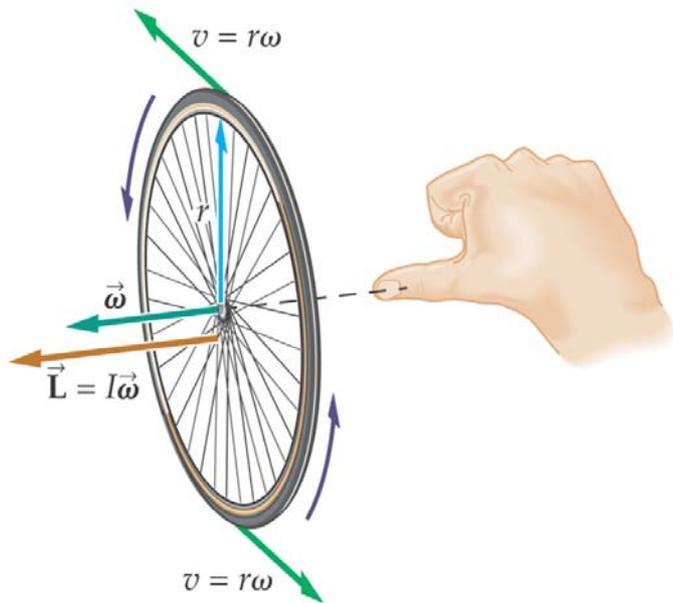


O momento de inércia I em relação a um eixo desempenha para a rotação em torno desse eixo um papel análogo ao da massa num movimento de translação.

2.2 Rotação e momento angular

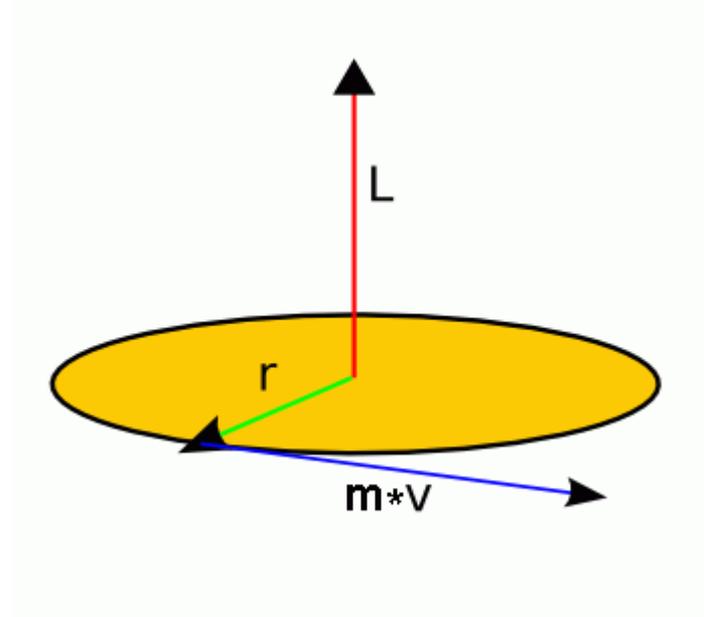
Em geral, o momento angular em relação a um ponto caracteriza a rotação em relação a esse ponto de uma massa pontual ou de uma distribuição de massas.

Momento angular e momento linear



$$\vec{L} = I \vec{\omega}$$

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

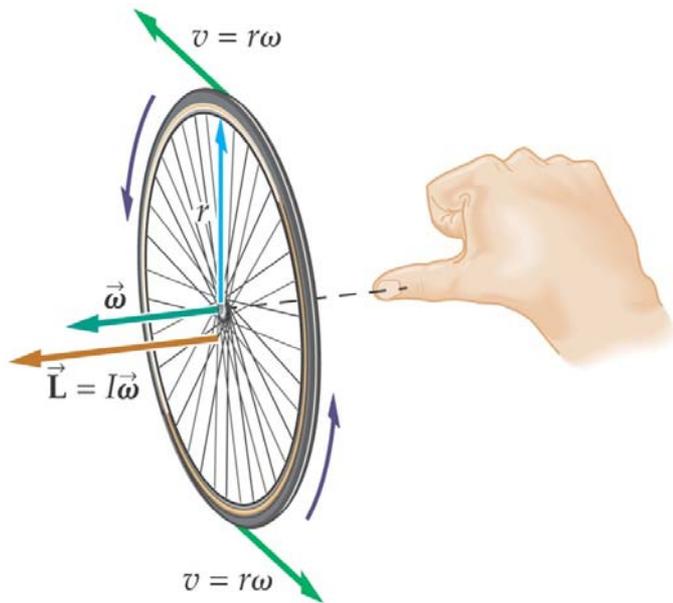


Para uma massa pontual em movimento circular estas duas definições são equivalentes.

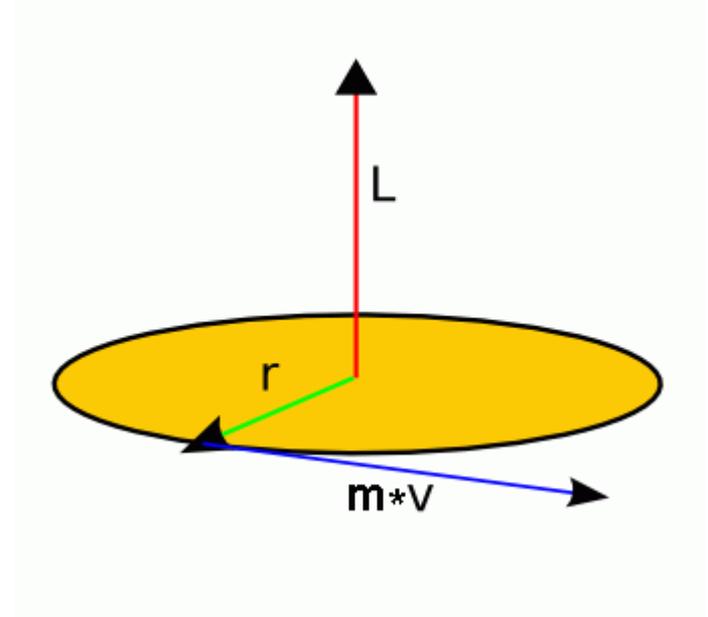
2.2 Rotação e momento angular

Para uma massa pontual estas duas definições são equivalentes.

Momento angular e momento linear



$$\vec{L} = I \vec{\omega}$$
$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$



As propriedades do produto externo de dois vectores garantem que o vector momento angular tem a direcção e o sentido correctos.

2.2 Rotação e momento angular

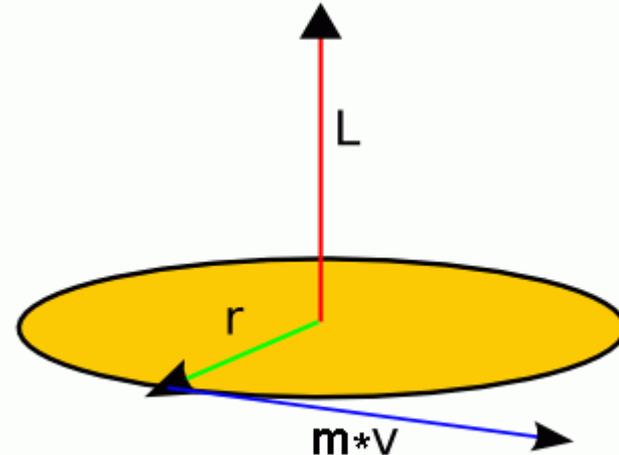
A igualdade dos módulos determina o valor do momento de inércia I em relação ao eixo de rotação.

Momento angular e momento linear

$$\vec{L} = I \vec{\omega}$$

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

$$L = m r v, v = \omega r \Rightarrow I = m r^2$$

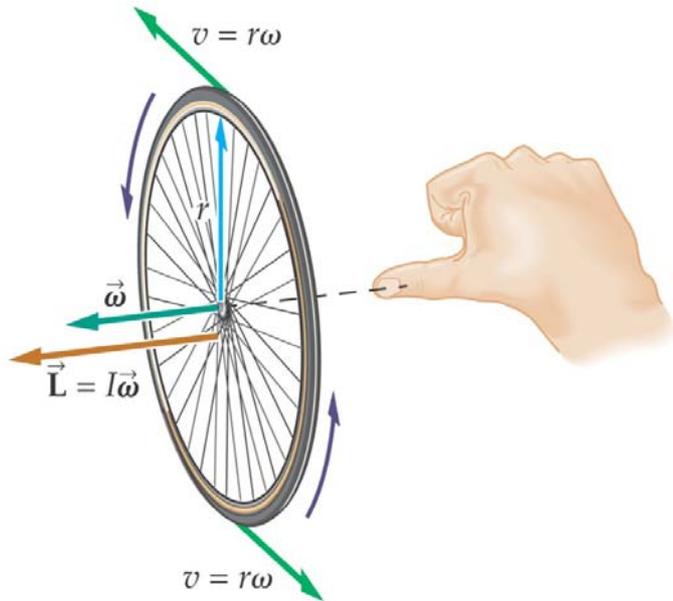


Para uma massa pontual m a distância r do eixo de rotação o momento de inércia em relação ao vale $I = m r^2$. Em geral, o momento de inércia em relação a um eixo mede a distância quadrática ao eixo, ponderada pela massa.

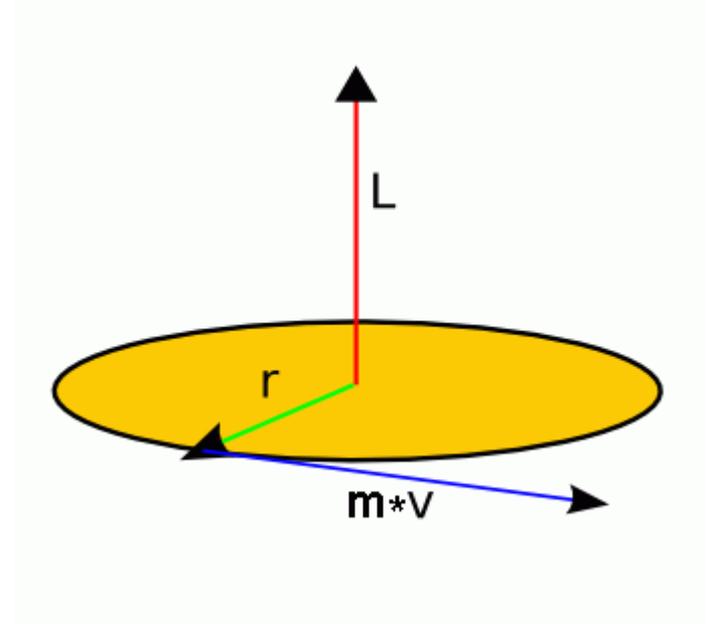
2.2 Rotação e momento angular

Em geral, o momento de inércia em relação a um eixo mede a distância quadrática ao eixo, ponderada pela massa.

Quiz 28 Momento de inércia



$$\vec{L} = I \vec{\omega}$$
$$I = m r^2$$



Quanto vale o momento de inércia de um aro circular de massa m e raio r ?

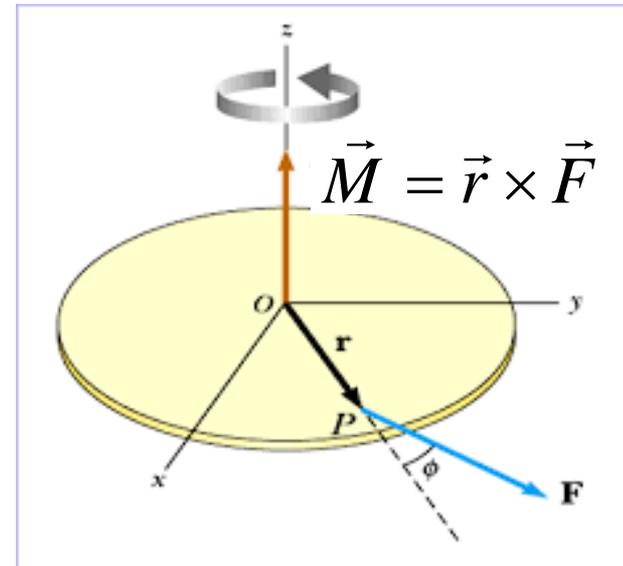
2.2 Conservação do momento angular

Da segunda lei da dinâmica é possível deduzir também a relação entre as força e a rotação que elas induzem.

Lei da dinâmica de rotação

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}, \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \Rightarrow$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}, \vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

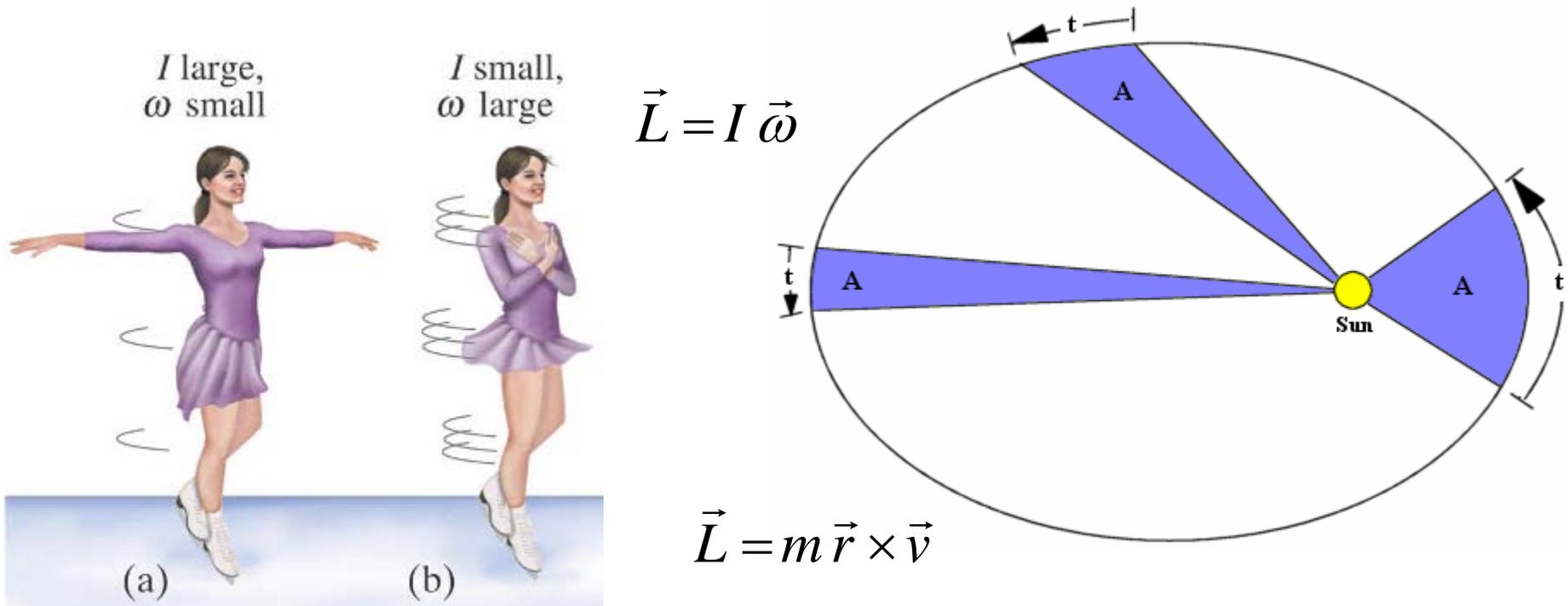


A variação de \vec{L} implica a existência de forças com momento total não nulo. Um corpo livre roda com momento angular constante, mas o momento angular também é conservado em condições mais gerais.

2.2 Conservação do momento angular

Este princípio de conservação é a versão rotacional do princípio de conservação do momento linear.

Lei da dinâmica (rotação) como lei de conservação



A conservação do momento angular explica também o essencial da formação de sistemas solares.

2.2 Epílogo: George, não devias ter morrido!

O filme ilustra em várias cenas as leis de conservação de momento linear e angular.

Gravity <http://gravitymovie.warnerbros.com/#/videos/teaser-trailer>



Sandra e George estão em queda livre, fora, tal como dentro, da estação em órbita! Como no elevador, o seu peso é equilibrado pela força de inércia e só se afastarão se se empurrarem...

2.2 Epílogo: George, não devias ter morrido!

Sandra e George estão em queda livre, fora, tal como dentro, da estação em órbita! Como no elevador, o seu peso é equilibrado pela força de inércia e só se afastarão se se empurrarem...

Gravity e problema 3.1

A ISS (estação espacial internacional) orbita a Terra a cerca de 400 Km de altitude. Calcule a força gravítica exercida pela Terra a esta altitude, e compare com o valor à superfície da Terra. Explique como pode **então** a ISS ser usada para experiências de microgravidade.

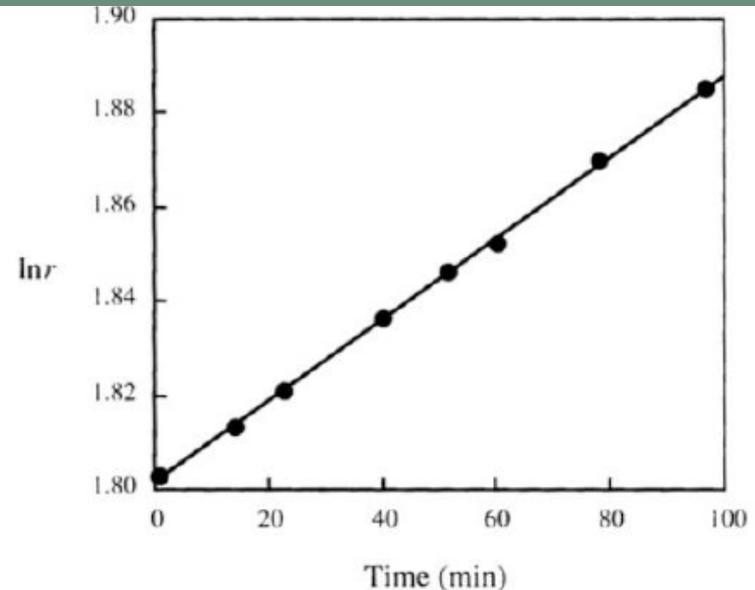
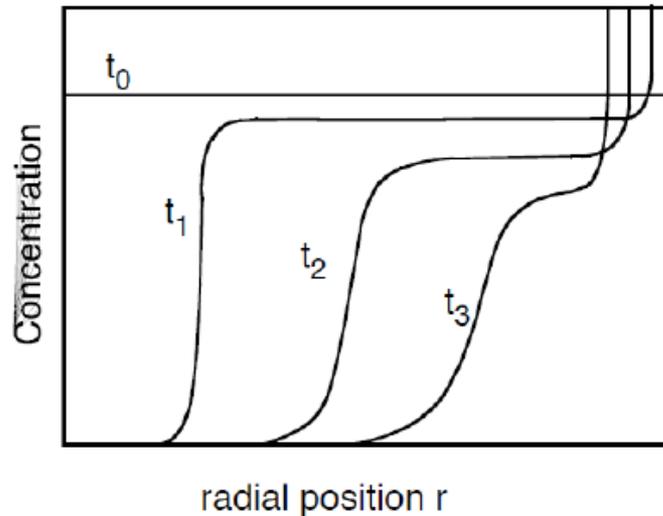


2.2 Epílogo: forças de atrito e de inércia

Problema 3.11- sedimentação centrifugada



2.2 Epílogo: forças de atrito e de inércia



Problema 3.11- sedimentação centrifugada

O coeficiente de sedimentação s define-se como a razão entre a velocidade de sedimentação e a aceleração em ultra-centrifugação, e mede-se habitualmente em svedberg ($1S = 10^{-13} \text{ s}$, valores típicos para s variam entre cerca de $10S$ para proteínas e 10^6S para células inteiras. A sua determinação experimental faz-se a partir de gráficos lin-log da posição em função do tempo da fronteira entre o solvente puro e a solução, à medida que a centrifugação progride. Mostre que esse gráfico é o de uma recta de declive $s \omega^2$, onde ω é a velocidade de rotação.

2.2 Epílogo: impulso de forças e momentos

Problema 3.14

Uma proteína pode ser considerada formada por uma zona central de raio R com densidade ρ e uma camada externa com espessura igual a $R/3$ e densidade $\rho/2$. Suponha $R=1$ nm e $\rho= 3$ g/cm³.

- Calcule a densidade média da proteína.
- Calcule o momento desta proteína se se deslocar com uma velocidade de 10cm/min.
- Calcule a força média que esta proteína exercerá numa membrana quando colidir com ela, admitindo que a colisão dura 0.5 s e que a proteína depois da colisão se desloca em sentido oposto com velocidade 5cm/min.