

Força, Trabalho, Quantidade de Movimento e Impulso

A **Dinâmica** estuda os movimentos e as causas que os produzem ou os modificam.

PRINCÍPIO DA INÉRCIA (PRIMEIRA LEI DE NEWTON)

O **princípio da inércia** estabelece que um ponto material isolado permanece em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

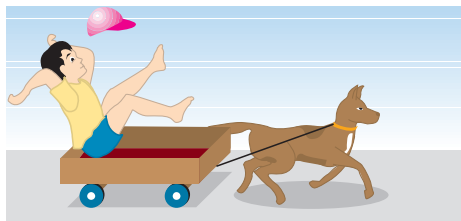
Força é a causa que produz num corpo variação de velocidade e, portanto, aceleração. A unidade de intensidade de força no SI é o newton (N).

Referenciais inerciais são os referenciais em relação aos quais vale o princípio da inércia.

Inércia é a propriedade da matéria de resistir a qualquer variação em sua velocidade.

Massa é a medida da inércia da matéria. No SI sua unidade é o quilograma (símbolo: kg).

Um corpo em repouso tende, por inércia, a permanecer em repouso. Quando em movimento retilíneo e uniforme, tem a tendência natural de manter constante sua velocidade.



PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA DINÂMICA (SEGUNDA LEI DE NEWTON)

O **princípio fundamental da Dinâmica** estabelece que a resultante das forças aplicadas a um ponto material é igual ao produto de sua massa pela aceleração adquirida:

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

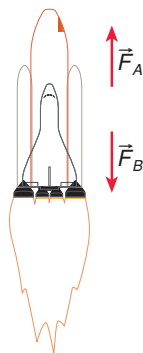
Peso \vec{P} de um corpo é a força de atração que a Terra exerce no corpo.

Aceleração da gravidade \vec{g} é a aceleração de um corpo em movimento sob ação exclusiva de seu peso:

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

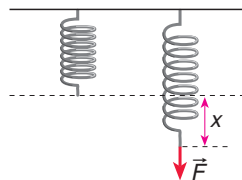
PRINCÍPIO DA AÇÃO E REAÇÃO (TERCEIRA LEI DE NEWTON)

O **princípio da ação e reação** estabelece que toda vez que um corpo A exerce uma força \vec{F}_A em outro corpo B , este também exerce em A uma força \vec{F}_B tal que $\vec{F}_A = -\vec{F}_B$, isto é, \vec{F}_A e \vec{F}_B têm mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.



Uma **deformação** é elástica quando, cessada a força que a provocou, a forma do corpo é restituída. As deformações elásticas são regidas pela lei de Hooke $F = kx$ (as intensidades das forças são proporcionais às deformações). A constante k é uma propriedade característica do corpo denominada constante elástica (unidade de k : N/m).

Se o corpo for uma mola, k é a **constante elástica da mola**.



Forças de atrito

ATRITO

É a propriedade de superfícies em contato interagirem com forças tangentes às superfícies quando há movimento relativo (atrito dinâmico) ou tendência de movimento (atrito estático).

FORÇAS DE ATRITO

Força de atrito dinâmico

É contrária ao movimento relativo das superfícies em contato. Sua intensidade é proporcional à intensidade da força normal:

$$f_{at.} = \mu_d \cdot F_N$$

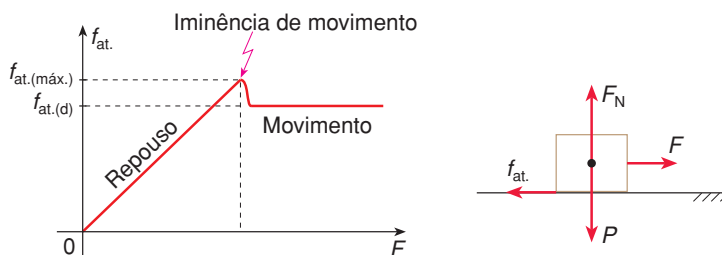
em que μ_d é o coeficiente de atrito dinâmico.

Força de atrito estático

É contrária à tendência de movimento das superfícies em contato. Sua intensidade varia de $f_{at.} = 0$ até $f_{at.(máx.)} = \mu_e \cdot F_N$ (iminência de escorregamento), em que μ_e é o coeficiente de atrito estático. Verifica-se, experimentalmente, que $\mu_d < \mu_e$.

Gráfico $f_{at.}$ versus F

F é a intensidade da força solicitadora.



Corpo em repouso: $0 \leq f_{at.} \leq \mu_e \cdot F_N$

Corpo em movimento: $f_{at.} = \mu_d \cdot F_N$

Existem casos em que os valores de μ_e e μ_d são muito próximos. Nessas situações, consideraremos $\mu_e = \mu_d$ e indicaremos esse valor por μ , chamando-o simplesmente de **coeficiente de atrito**.

Nessas condições, temos:

$$\text{Corpo em repouso: } 0 \leq f_{\text{at.}} \leq \mu F_N$$

$$\text{Corpo em movimento: } f_{\text{at.}} = \mu F_N$$

Força de resistência do ar

Tem intensidade proporcional ao quadrado da velocidade para um corpo em queda no ar:

$$R = kv^2$$

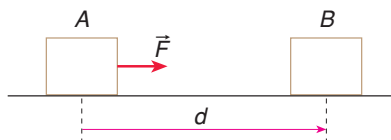
O coeficiente k depende da forma do corpo e da maior área da seção transversal do corpo perpendicular à direção da velocidade.

Velocidade limite

É a velocidade que um corpo em queda atinge no ar quando seu peso é equilibrado pela força de resistência do ar. Uma aplicação da noção de velocidade limite é o pára-quedas. Todo corpo atinge sua velocidade limite quando suas forças motoras são equilibradas pelas forças resistentes.

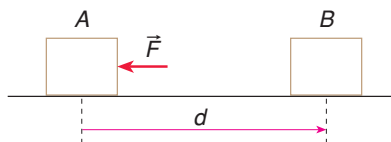
Trabalho

TRABALHO DE UMA FORÇA CONSTANTE PARALELA AO DESLOCAMENTO AB



$$\mathcal{C} = +Fd$$

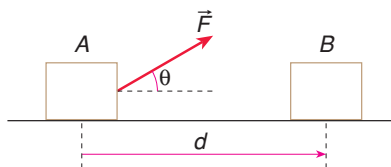
(trabalho motor)



$$\mathcal{C} = -Fd$$

(trabalho resistente)

TRABALHO DE UMA FORÇA CONSTANTE NÃO-PARALELA AO DESLOCAMENTO AB

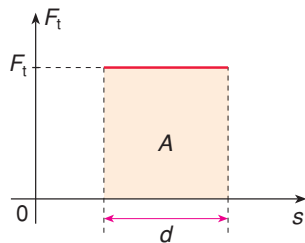
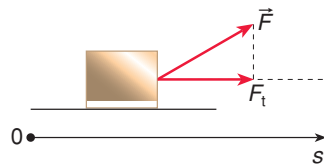


$$\mathcal{C} = Fd \cdot \cos \theta$$

A unidade de trabalho no SI é o joule (símbolo: J)

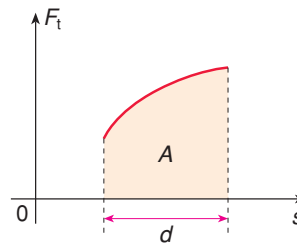
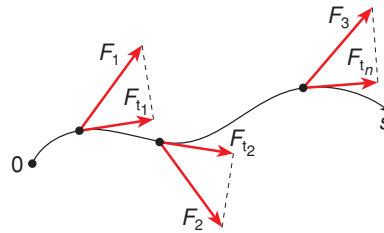
CÁLCULO GRÁFICO DO TRABALHO

Força constante



$$A \stackrel{N}{=} \zeta$$

Força qualquer



TRABALHO DE PESO

$$\zeta = \pm Ph$$

em que h é o desnível vertical entre as posições inicial e final.

$\zeta = +Ph$ quando o corpo desce.

$\zeta = -Ph$ quando o corpo sobe.

TRABALHO DA FORÇA ELÁSTICA

$$\zeta = \pm \frac{kx^2}{2}$$

em que k é a constante elástica e x , a deformação do sistema.

$\zeta = \frac{kx^2}{2}$ quando a mola volta à sua posição de equilíbrio.

$\zeta = -\frac{kx^2}{2}$ quando a mola for alongada ou comprimida.

Observação

Forças conservativas, como o peso e a força elástica, têm trabalhos independentes da forma da trajetória.

POTÊNCIA

Potência média

Relação entre o trabalho realizado e o correspondente intervalo de tempo:

$$Pot_m = \frac{\zeta}{\Delta t}$$

Potência instantânea

$$Pot = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\zeta}{\Delta t}$$

Para \vec{F} constante e paralela ao deslocamento, temos:

$$Pot_m = Fv_m$$

em que v_m é a velocidade média;

$$Pot = Fv$$

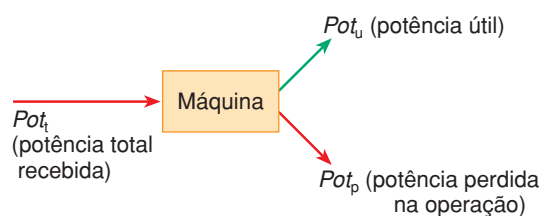
em que v é a velocidade instantânea.

A unidade de potência no SI é o watt (símbolo: W)

A unidade prática de trabalho é o quilowatt-hora (símbolo: kWh)

RENDIMENTO DE UMA MÁQUINA

É a relação entre a potência útil (Pot_u) e a potência total recebida (Pot_t)



$$\eta = \frac{Pot_u}{Pot_t}$$

Impulso e quantidade de movimento

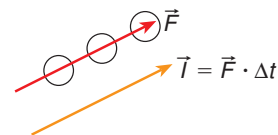
IMPULSO DE UMA FORÇA CONSTANTE

É o produto da força pelo intervalo de tempo de sua ação:

$$\vec{T} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

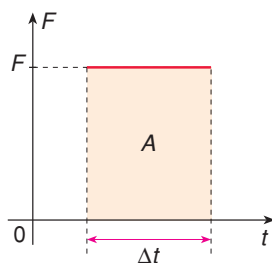
O impulso \vec{T} tem a direção e o sentido da força \vec{F} .

A unidade de intensidade do impulso no SI é o $N \cdot s$.



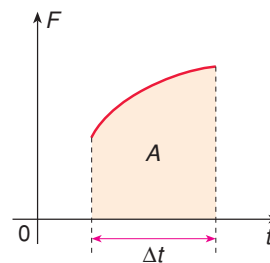
CÁLCULO GRÁFICO DA INTENSIDADE DO IMPULSO

Força constante



$$A \stackrel{N}{=} I$$

Força de intensidade variável e direção constante



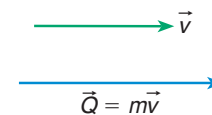
QUANTIDADE DE MOVIMENTO (OU MOMENTO LINEAR)

É o produto da massa do corpo por sua velocidade:

$$\vec{Q} = m\vec{v}$$

A quantidade de movimento \vec{Q} tem a direção e o sentido da velocidade \vec{v} .

A unidade do módulo da quantidade de movimento no SI é o $kg \cdot m/s$.



TEOREMA DO IMPULSO

O impulso da força resultante num intervalo de tempo é igual à variação da quantidade de movimento do corpo no mesmo intervalo:

$$\vec{I} = \Delta\vec{Q} = \vec{Q} - \vec{Q}_0$$

em que \vec{Q} é a quantidade de movimento no instante final e \vec{Q}_0 , no instante inicial.

SISTEMA ISOLADO DE FORÇAS EXTERNAS

Por sistema isolado de forças externas, entenda:

- 1) não atuam forças externas, podendo haver forças internas entre os corpos;
- 2) existem ações externas, mas sua resultante é nula;
- 3) existem ações externas, mas tão pouco intensas, em relação às ações internas, que podem ser desprezadas.

CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

A quantidade de movimento de um sistema de corpos isolado de forças externas é constante:

$$\vec{I} = \vec{0} \Rightarrow \Delta\vec{Q} = \vec{0} \Rightarrow \vec{Q} = \vec{Q}_0$$

Durante um **choque** ou **colisão** de dois corpos, as forças de interação entre eles (forças internas) são tão intensas que o sistema pode ser considerado isolado de forças externas.

Tipos de choque

- *Perfeitamente elástico*: há conservação da energia cinética; após o choque, os corpos retomam sua forma inicial.
- *Perfeitamente inelástico*: a perda de energia cinética é máxima; os corpos mantêm-se deformados após o choque e não se separam.
- *Parcialmente elástico*: há perda de energia cinética; após o choque, os corpos mantêm parte da deformação sofrida e se separam.

Observação

Qualquer que seja o tipo de choque, sempre há conservação da quantidade de movimento.

Coefficiente de restituição

$$e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento (depois)}}{\text{velocidade relativa de aproximação (antes)}}$$

- Choque perfeitamente elástico: $e = 1$
- Choque perfeitamente inelástico: $e = 0$
- Choque parcialmente elástico: $0 < e < 1$

Choque frontal e perfeitamente elástico entre corpos de massas iguais

Corpos de massas iguais em colisões perfeitamente elásticas e frontais trocam de velocidade.

