

Momento linear (Quantidade de Movimento)

1

Vamos agora definir uma nova grandeza, o momento linear:

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

O momento linear é um conceito ~~com~~ que facilita a compreensão e descrição de uma série de fenômenos, entre os quais o de colisão de dois corpos. Newton já havia percebido a importância do conceito de momento. Na verdade, a sua 2ª lei foi definida em termos do momento, o que a torna ~~uma~~ muito mais geral:

2ª lei de Newton: A taxa de variação do momento linear de um corpo é igual à ~~variação~~ resultante das forças aplicadas sobre ele:

$$\vec{F}_{rs} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

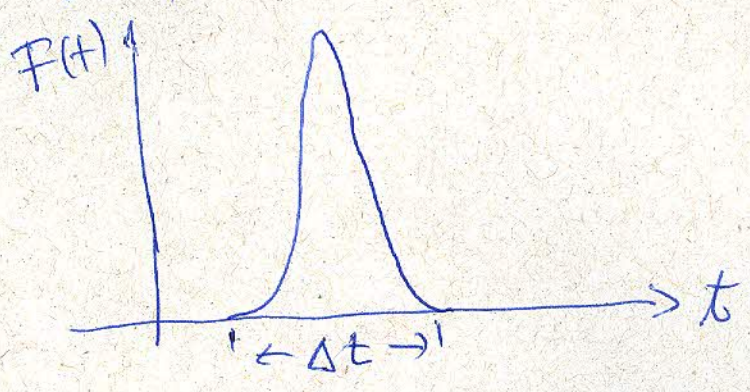
A forma que conhecemos anteriormente ($\vec{F}_{rs} = m\vec{a}$) é um caso particular desta nova definição, no caso em que a massa é constante.

$$\vec{F}_{rs} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{dm}{dt}\vec{v} + m\frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\text{se } \frac{dm}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{rs} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

Tanto na descrição das colisões, quanto em uma série de outros problemas, ocorre uma interação entre 2 objetos (partículas) durante um intervalo de tempo muito curto. A força atuando nessa caso são chamadas forças impulsivas e em geral tem um valor que varia rapidamente no pequeno intervalo de tempo em que atuam, de modo que só se conhece seu valor médio nesse intervalo de tempo, ou às vezes nem mesmo isso.

A fig abaixo mostra a intensidade da força entre duas bolas de bilhar, durante o intervalo de tempo em que se tocam (a direção da força é sempre perpendicular à superfície dos 'bols', no ponto de contato).



Supondo que essa seja a única força agindo em uma das bolas, podemos escrever; para essa bola:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}(t) \rightarrow \vec{\Delta p} = \int \vec{F}(t) dt$$

ou,

$$\int_{\vec{p}_i}^{\vec{p}_f} d\vec{p} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}(t) dt$$

(3)

por definição, $\Delta \vec{p} = \int_{\vec{p}_i}^{\vec{p}_f} d\vec{p}$ a integral à direita é conhecida como impulso de força $\vec{F}(t)$

$$\vec{I} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}(t) dt$$

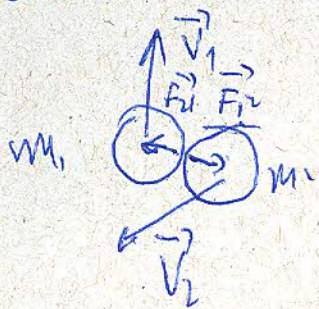
portanto, podemos afirmar $\boxed{\vec{I}_{res} = \Delta \vec{p}}$ esta expressão é conhecida como "Teorema do Impulso". Como $F(t)$ em geral é desconhecida, muitas vezes o teorema do impulso é escrito em termos da força média no intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$

$$\boxed{\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t) dt = \vec{F}_{med} \cdot \Delta t} \quad \text{e} \quad \boxed{\Delta \vec{p} = \vec{F}_{med} \Delta t}$$

Conservação do Momento Linear

Consideremos um sistema formado por dois pontos, m_1 e m_2 em velocidades \vec{v}_1 e \vec{v}_2 que não sofrem ação de qualquer força,

exceto num pequeno intervalo Δt , quando colidem entre si.



O momento total desse sistema

$$\vec{P} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

Note-se que em qualquer instante

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

- antes e depois da colisão

$$\left. \begin{array}{l} \vec{F}_{\text{res } 1} = 0 \Rightarrow \vec{p}_1 = cte \Rightarrow \vec{P} = cte \\ \vec{F}_{\text{res } 2} = 0 \Rightarrow \vec{p}_2 = cte \end{array} \right\}$$

durante a colisão: $\frac{d\vec{p}_1}{dt} = \vec{F}_{21}$ e $\frac{d\vec{p}_2}{dt} = \vec{F}_{12}$

$$\text{Como } \vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow \frac{d\vec{p}_1}{dt} = -\frac{d\vec{p}_2}{dt} \Rightarrow \frac{d\vec{P}}{dt} = 0$$

Forças devidas à interação entre os dois partículas são chamadas forças internas ao sistema e ocorrem (3ª lei de Newton) sempre em pares. Portanto podem ser anuladas:

" Se a resultante das forças externas sobre um sistema for nula, o momento total do sistema permanece constante "

Sistemas onde não atuam forças externas são chamados sistemas isolados.

Note: Essas forças podem ser conservativas ou não conservativas!!

Exemplos de forças impulsivas

(5)

Forças chamadas "impulsivas" são as que têm duração muito pequena (fração de segundo) e normalmente têm intensidade muito grande.

P.ex. a força entre o martelo e o prego, entre o taco e a bola de golfe ou de beisebol. Na resolução de problemas envolvendo forças impulsivas, em geral podemos desprezar outras forças agindo sobre o sistema (como a força peso) por serem muito menores.

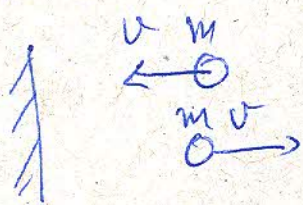
Considere uma bola de tênis e uma de golfe, as duas com mesma massa (0,1 kg) e mesma velocidade (10 m/s). O módulo do momento linear é portanto o mesmo:

$$p = mv = 0,1 \times 10 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Uma dessas bolas acerta a cabeça de uma pessoa. O que dói mais: a bolada e/ou a bola de tênis ou com a de golfe?

Vamos considerar a colisão de uma bola com uma parede rígida. A bola ~~sendo~~

durante a colisão sobre a ação de força impulsiva exercida pela parede e volta com mesma velocidade (choque elástico)



$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = m\vec{v} - (-m\vec{v}) = 2m\vec{v}$$

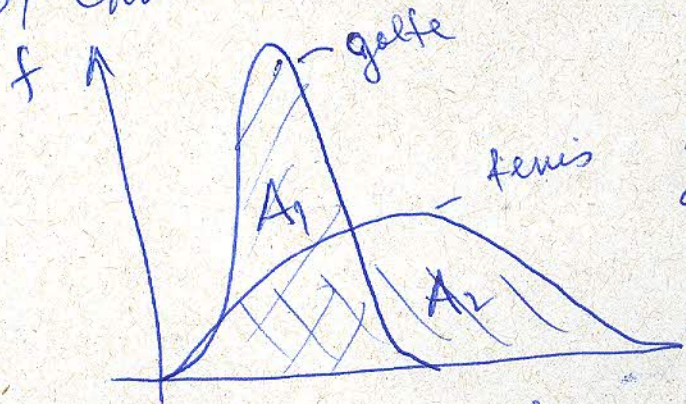
$$\Rightarrow \Delta p = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \text{ (p/qualquer um dos bolas)}$$

$$\vec{I} = \Delta \vec{p} \Rightarrow I = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

~~$$\vec{I} = \Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t$$~~

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t) dt$$

Se fizermos agora um gráfico de $\vec{F}(t)$ p/ cada uma ds bolas, vemos que:



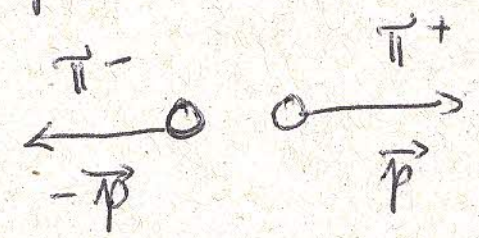
A bola de tênis, sendo mais deformável que a de golfe, faz com que o tempo de contato entre ele

e a parede seja bem maior que no caso da bola de golfe. Embora $A_1 = A_2$ no gráfico acima, a força entre a bola de golfe e a parede (ou o acabete) é muito maior, causando mais danos.

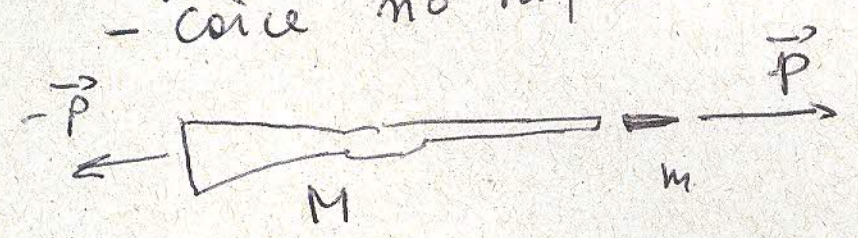
Exemplos de conservação do momento em um sistema isolado. (7)

- Deaimento do meson K^0 (kaon).

O meson neutro K^0 decai em um par de pions (π) com cargas opostas. Se o K^0 está em repouso, os π devem então ser emitidos em direções opostas e com mesmo momento:



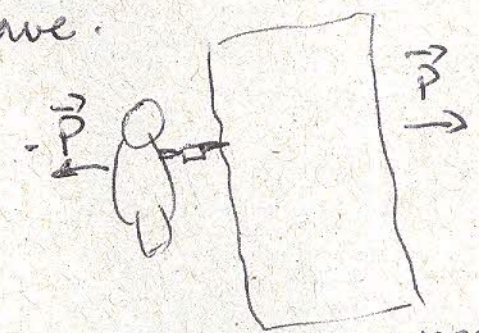
- "Coice" no rifle.



$M \sim 5 \text{ kg}$
 $m \sim 10 \text{ g}$
 $v = 500 \text{ m/s}$

$$MV = mv \quad V = \frac{m}{M} v = \frac{0,01}{5} \times 500 = \underline{1 \text{ m/s}}$$

- Astronauta no espaço: Se faz força em chave de fenda ao apertar parafuso, é jogado para longe da espaçonave.



- Metalkadorna dentro de um pequeno barco.



(Será visto mais tarde.)

Este caso é um pouco + complicado, já que a cada tiro a massa do barco (e seu conteúdo) diminui.