Capítulo 8 – Momento linear, impulso e colisões

8.1 – Momento linear e impulso

Momento linear (quantidade de movimento) de uma partícula: $\vec{p} = m\vec{v}$

- Grandeza vetorial
- Unidades S.I. : kg.m/s

Momento linear e 2ª Lei de Newton:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \sum \vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$$

Se a massa é constante:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\left(m\vec{v}\right)}{dt} \quad \Rightarrow \boxed{\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}}$$

Formulação original de Newton da sua 2ª Lei (vale apenas em referenciais inerciais)

Impulso de uma força entre instantes de tempo t_1 e t_2:

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{F}\, dt$$

Teorema do impulso-momento linear:

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{F}\, dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\vec{p}}{dt} dt = \int_{\vec{p}_1}^{\vec{p}_2} d\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

$$\boxed{\vec{J} = \Delta\vec{p}}$$

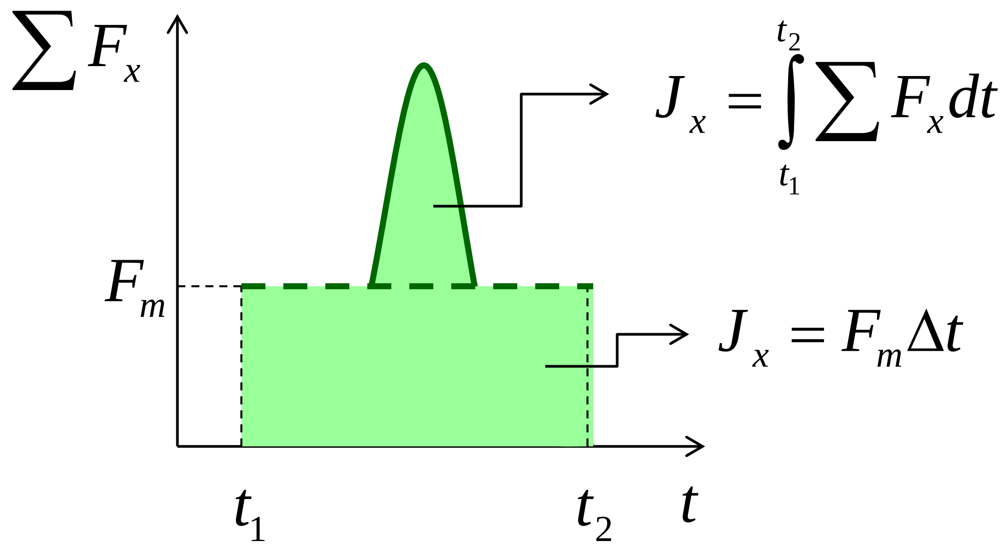
Impulso é igual à variação de momento linear

Caso particular: força resultante constante

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{F}\, dt = \sum \vec{F} \int_{t_1}^{t_2} dt = \sum \vec{F} \left(t_2 - t_1\right) = \sum \vec{F}\, \Delta t$$

O conceito de impulso é útil para analisar situações onde a força resultante varia muito rapidamente no tempo **(forças impulsivas)**:

(Caso 1D)



Força média: magnitude de uma hipotética força constante que, atuando no mesmo intervalo de tempo, produziria o mesmo impulso

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{F} dt = \vec{F}_m \Delta t \quad \Rightarrow \vec{F}_m = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{F} dt$$

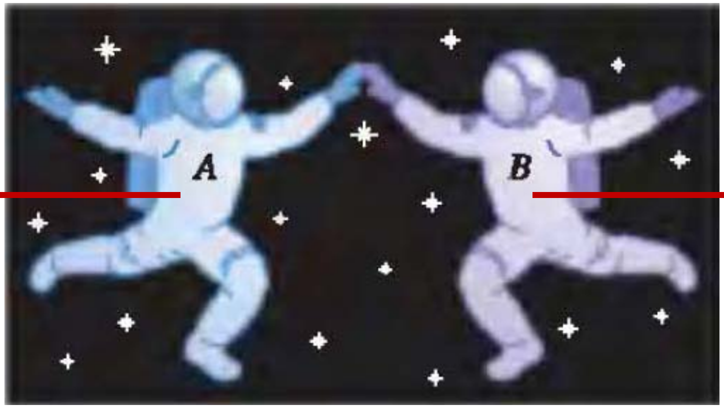
Exemplo: Y&F 8.3

Vídeo: Physics Demonstrations in Mechanics: Part V, No. 7

8.2 – Conservação do momento linear

Considere um **sistema isolado**: Ausência de **forças externas**

Exemplo: Par de astronautas, onde há apenas **forças internas**



$\vec{F}_{B\,\text{sobre}\,A}$

$\vec{F}_{A\,\text{sobre}\,B}$

Par ação-reação: $\vec{F}_{A\,\text{sobre}\,B} = -\vec{F}_{B\,\text{sobre}\,A}$

Pela 2ª Lei: $\begin{cases} \vec{F}_{A\,\text{sobre}\,B} = \dfrac{d\vec{p}_B}{dt} \\ \vec{F}_{B\,\text{sobre}\,A} = \dfrac{d\vec{p}_A}{dt} \end{cases}$

Assim: $$\vec{F}_{A\,\text{sobre}\,B} + \vec{F}_{B\,\text{sobre}\,A} = \frac{d\vec{p}_B}{dt} + \frac{d\vec{p}_A}{dt} = \frac{d\left(\vec{p}_A + \vec{p}_B\right)}{dt} = 0$$

Definindo o **momento linear total**: $\vec{P} = \vec{p}_A + \vec{p}_B$

Temos: $$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0$$

Na ausência de forças externas (sistema isolado), **ou se a resultante das forças externas for nula**, o momento linear total se conserva

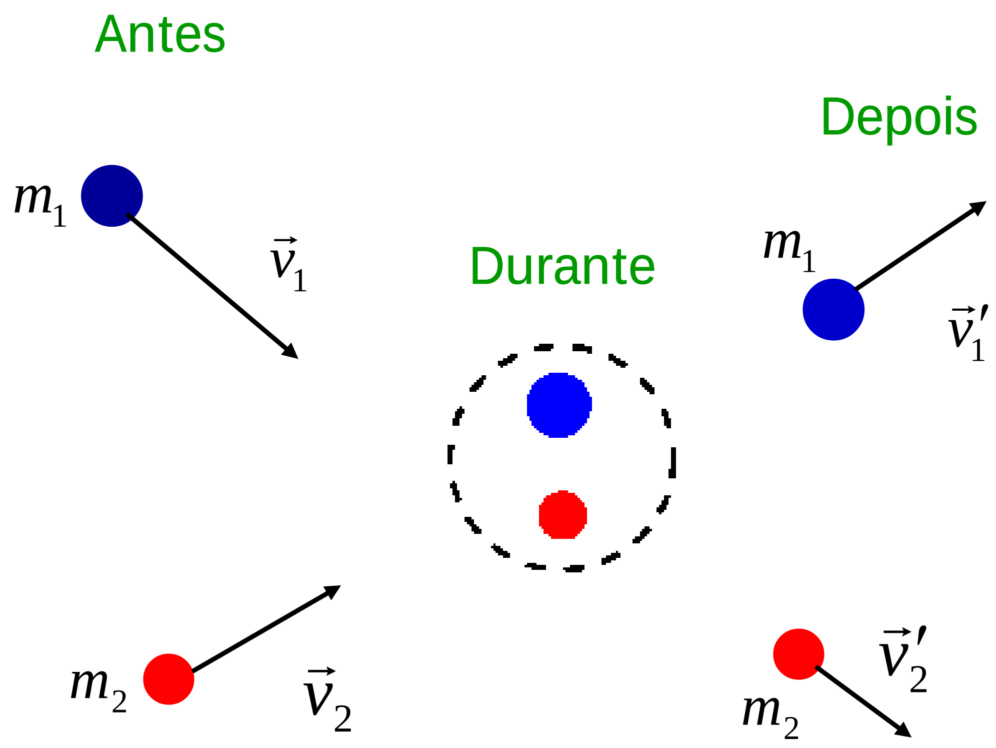
Lei de Conservação do Momento Linear:

- Pode ser facilmente generalizada para um número qualquer de partículas

- É consequência da 3ª Lei de Newton

Exemplo: Y&F 8.6

8.3 – Colisões

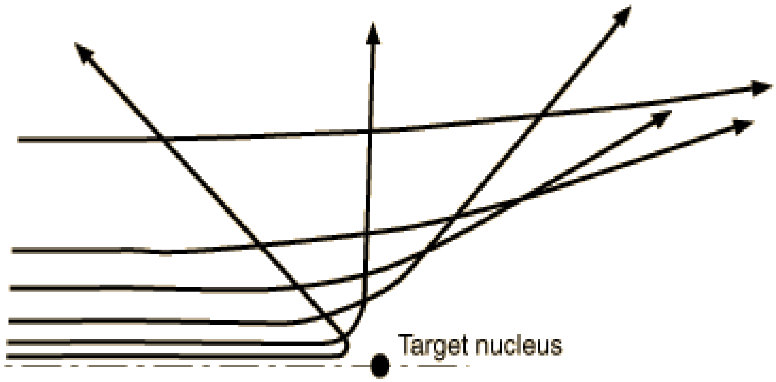


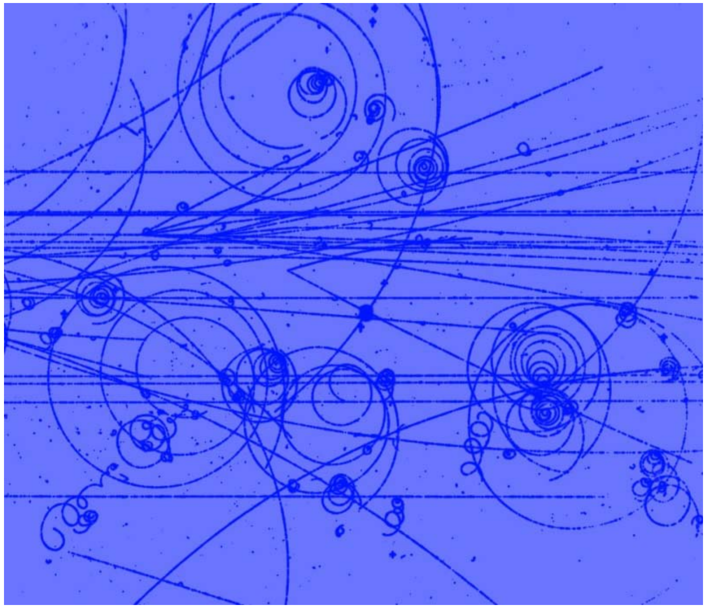
Interação entre pares de partículas com duração extremamente curta. Muitas vezes não conhecemos os detalhes da interação, temos acesso apenas às velocidades logo antes e logo depois da colisão.

Aplicações

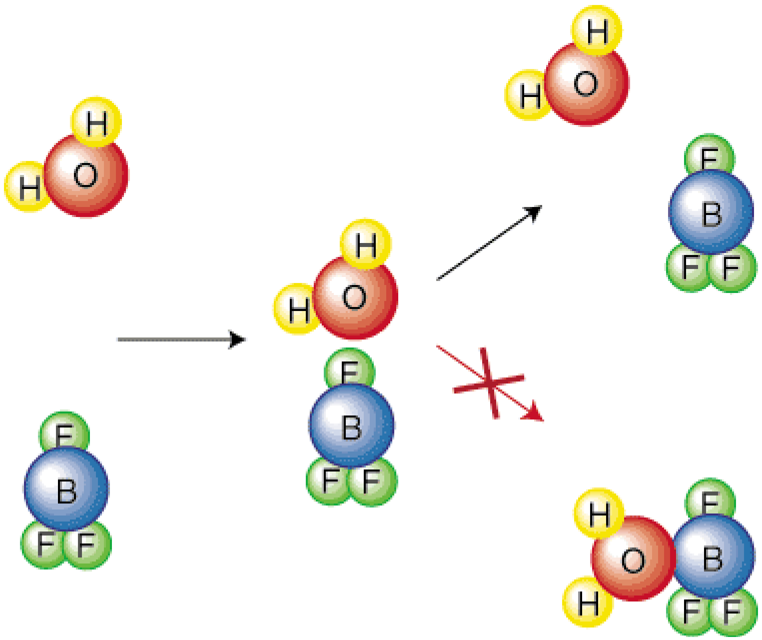
Rutherford (descoberta do núcleo)

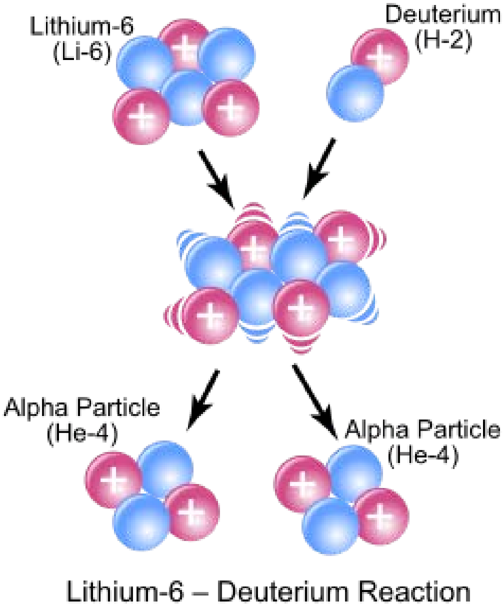
Física de partículas elementares





Reações químicas:
Algumas orientações relativas não favorecem a reação





Reações nucleares

Na maioria das colisões, podemos supor um **sistema isolado**: Forças internas têm tipicamente duração muito mais curta e intensidade muito maior que as forças externas – podemos usar a conservação do momento linear

No entanto, a energia cinética não se conserva necessariamente:

- **Colisão elástica:** energia se conserva

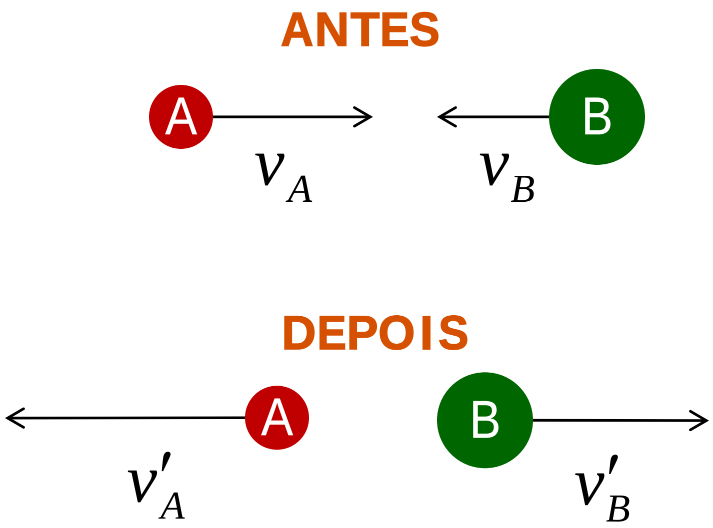
- **Colisão inelástica:** energia não se conserva

- **Colisão totalmente inelástica:** perda de energia cinética é máxima (partículas ficam grudadas depois da colisão)

Vídeo: Physics Demonstrations in Mechanics: Part VI, No. 1
Vídeo: Physics Demonstrations in Mechanics: Part II, No. 8

Exemplos: Y&F 8.8 (pêndulo balístico) e 8.9

8.4 – Colisões elásticas



1. Caso geral em 1D

Conservação do momento linear:

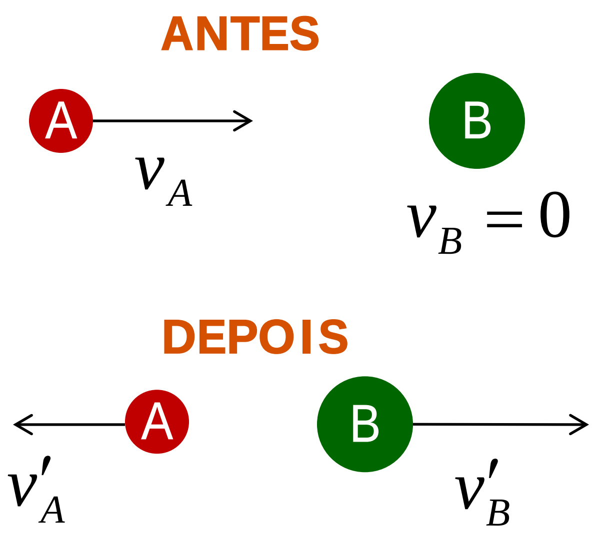
$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B$$

Conservação da energia:

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = \frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2$$

Conhecendo-se as massas e as velocidades iniciais, podemos obter as velocidades finais (2 equações e 2 incógnitas)

2. Caso particular em 1D: uma das massas inicialmente parada



Conservação do momento linear:

$$m_A v_A = m_A v'_A + m_B v'_B$$

Conservação da energia:

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 = \frac{1}{2} m_A v'^2_A + \frac{1}{2} m_B v'^2_B$$

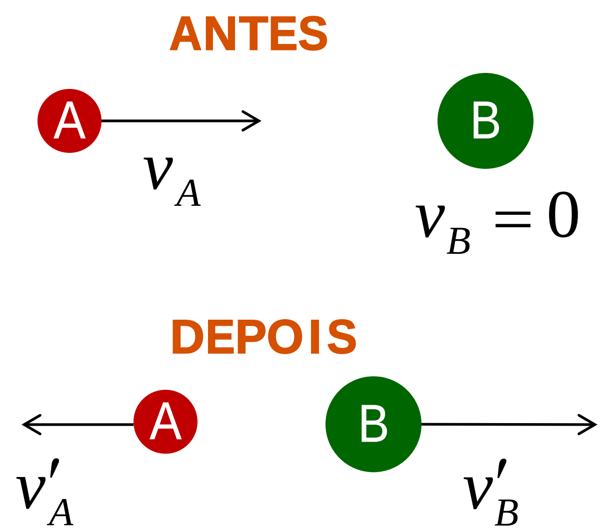
Depois de alguma álgebra (quadro-negro):

$$\begin{cases} v'_A = \dfrac{m_A - m_B}{m_A + m_B} v_A \\ v'_B = \dfrac{2m_A}{m_A + m_B} v_A \end{cases}$$

2.1 - Caso ainda mais particular (1):

$$m_B >> m_A$$

$$\begin{cases} v'_A \approx -v_A \\ v'_B \approx 0 \end{cases}$$



2.2 - Caso ainda mais particular (2):

$$m_A >> m_B$$

$$\begin{cases} v'_A \approx v_A \\ v'_B \approx 2v_A \end{cases}$$

2.3 - Caso ainda mais particular (3):

$$m_A = m_B$$

$$\begin{cases} v'_A = 0 \\ v'_B = v_A \end{cases}$$

Demonstração: Bola de tênis e de basquete

Exemplo: Y&F 8.12 (caso 2D)

Colisão elástica e velocidade relativa

Conservação do momento linear:

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B$$

Conservação da energia:

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = \frac{1}{2} m_A v'^2_A + \frac{1}{2} m_B v'^2_B$$

Depois de alguma álgebra (quadro-negro): $(v_A - v_B) = -(v'_A - v'_B)$

Definindo a velocidade relativa de A em relação a B: $v_{rel} = v_A - v_B$

Assim: $\boxed{v_{rel} = -v'_{rel}}$

Uma colisão elástica apenas inverte
o sentido da velocidade relativa

Exercícios propostos
Física I – Mecânica
Sears-Zemansky & Young-Freedman
12a. Edição - Pearson - Addison-Wesley

Cap8:
1, 3, 6, 8, 13, 17, 18, 20, 21, 24, 29, 41, 43

Próximas aulas:

4a. Feira 19/10: Vista da P1 (A-J: 12-12:30h, L-Z:12:30h-13h),

e Aula de Exercícios (sala A-327)

6a. Feira 21/10: Aula de Magna (sala A-343)