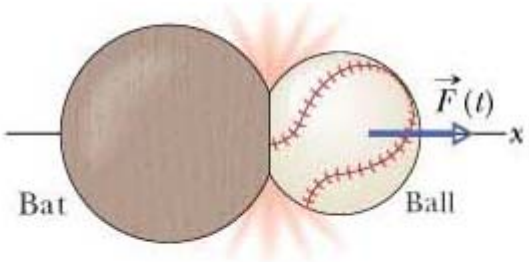
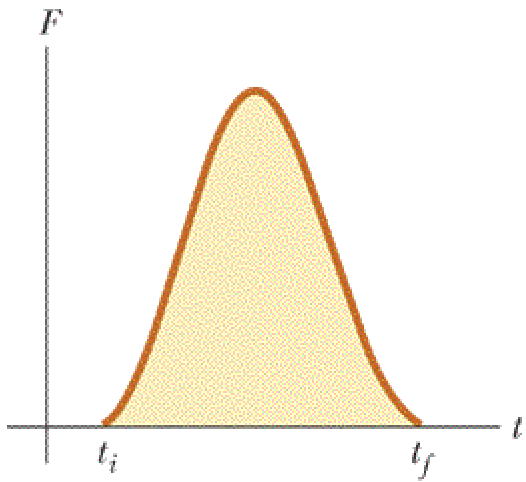
3ª Aula do cap. 09

IMPULSO





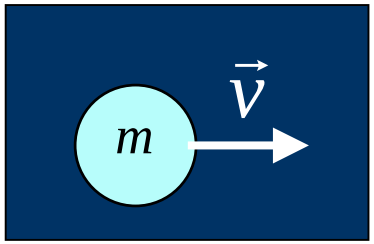
A FORÇA F(t) ATUA SOBRE UMA BOLA QUANDO A BOLA E O TACO COLIDEM.

- **Impulso de força constante.**
- **Impulso para força variável.**
- **Impulso para um sistema de partículas.**

Referência:
Halliday, David; Resnick, Robert & Walker, Jearl. Fundamentos de Física, Vol 1. Cap. 9 da 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC.
Tipler, Paul. Física, Vol 1 cap. 08. 4ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

Lembrando…..

I. Momento Linear (*p*): Definição



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

Kg.m/s

II. Relação com a Segunda Lei de Newton

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

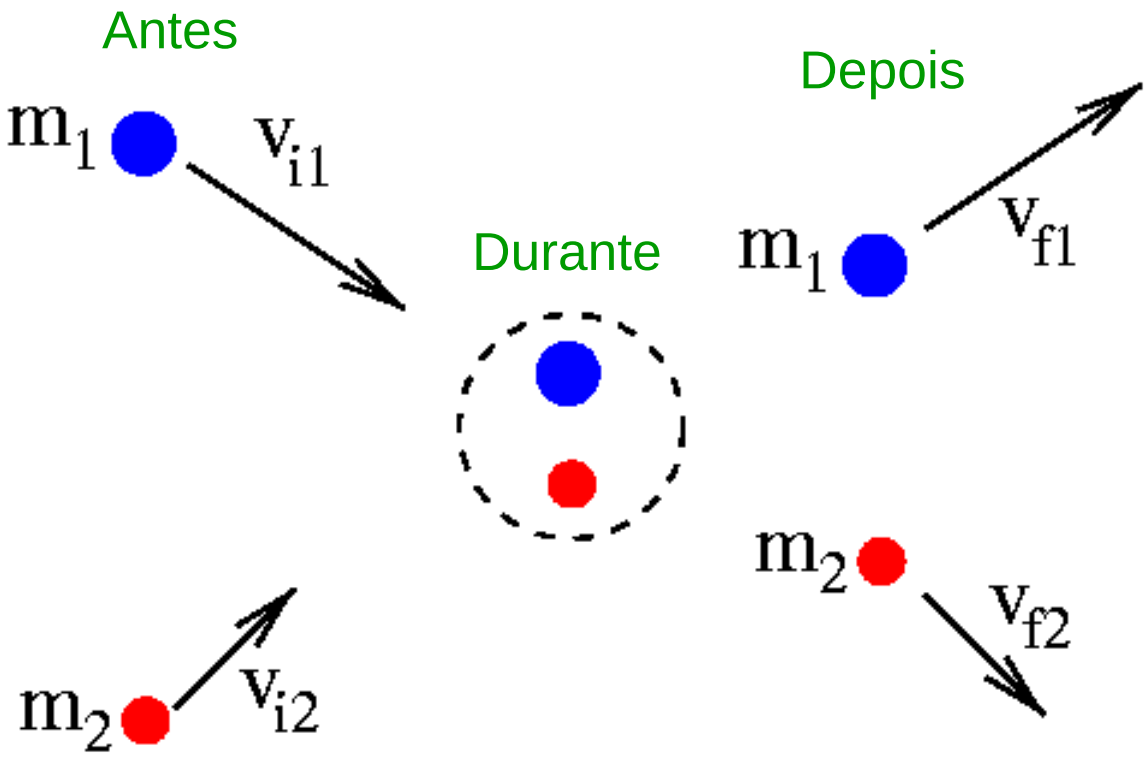
$$\mathbf{mv - mv_0 = F.t}$$

$$\text{Quando} \sum \vec{F}_{ext} = 0 \Rightarrow \text{p} = \text{constante.}$$

$$\vec{P} = \text{constante} \qquad P_i = P_F \qquad \text{(sistema isolado)}$$

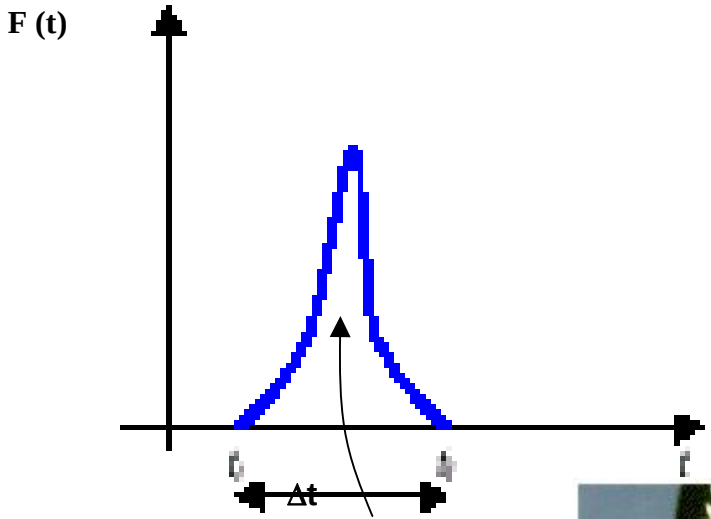
O que é uma colisão?

• Processo em que duas partículas são lançadas uma contra a outra e há troca de momento linear e energia. Queremos estudar as possíveis situações finais depois que as partículas se afastam da região de interação.

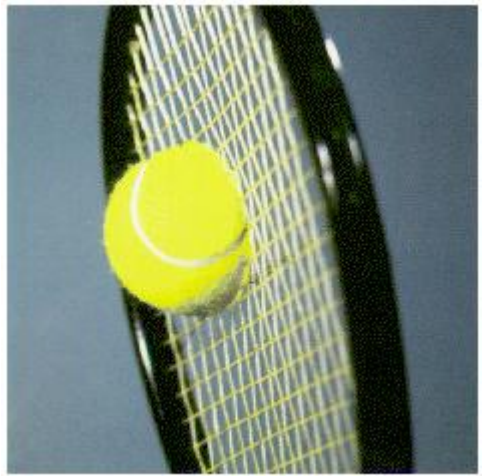


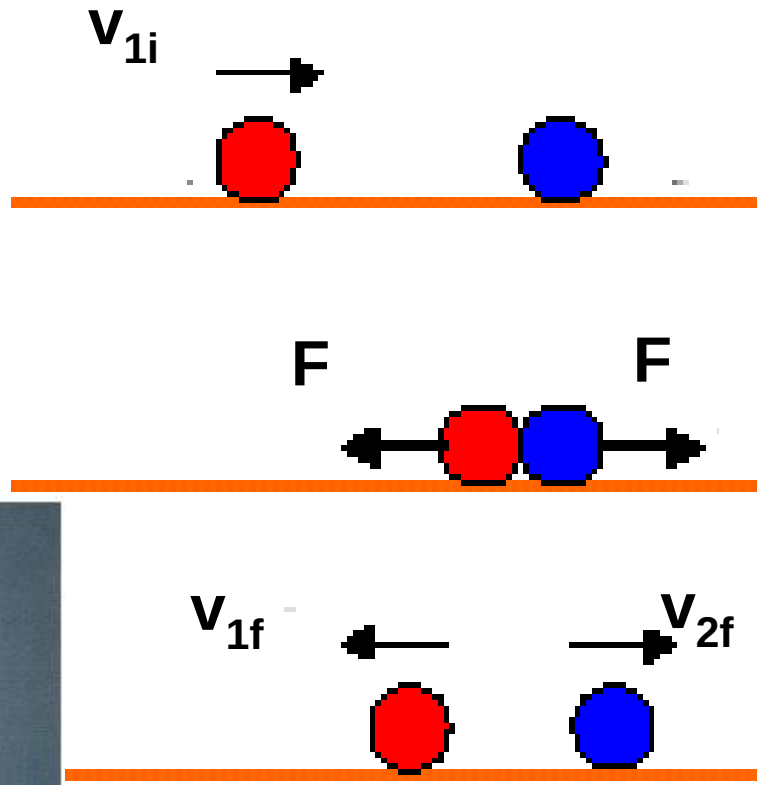
Colisões (choque mecânico)

Forças relativamente grandes, atuam em cada uma das partículas que colidem, durante um intervalo de tempo relativamente curto.



Impulso devido à força





Exemplos de colisões: Atmosfera

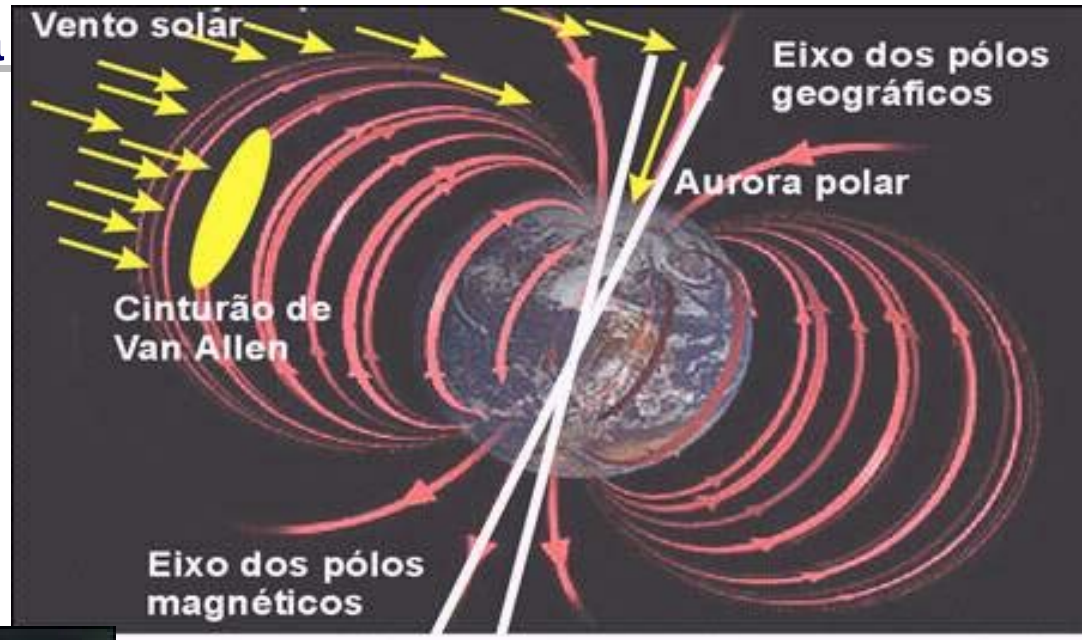
Partículas carregadas aceleradas pelas linhas de campo magnético terrestre criam a **Aurora** (Boreal ou Austral). A emissão é causada pela desexcitação de moléculas da atmosfera que foram ionizadas por **colisões** com as partículas aceleradas que se originam no vento solar.

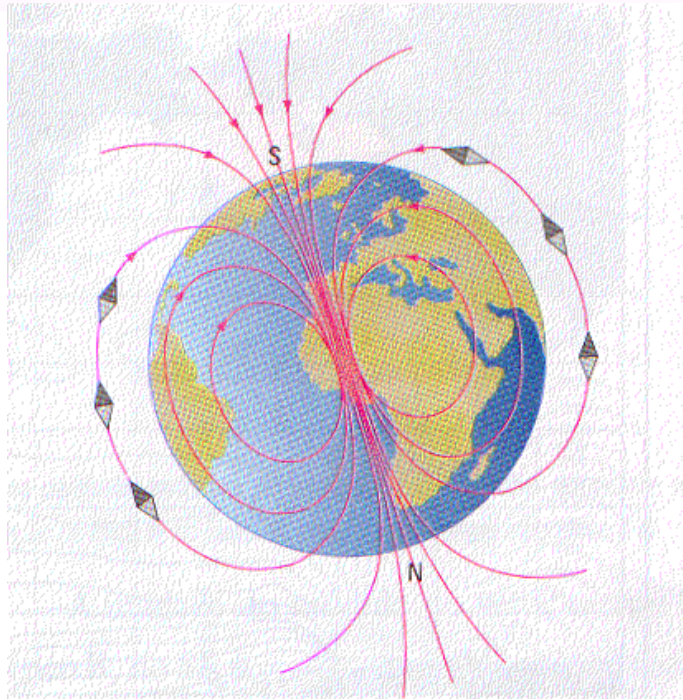
Austro: ... Sul

Boreal: ... Do lado norte, setentrional.

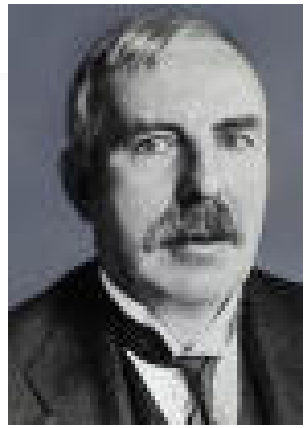
Exemplos: Atmosfera

MOVIMENTO CIRCULAR DE UMA CARGA ELÉTRICA EM UM CAMPO MAGNÉTICO.

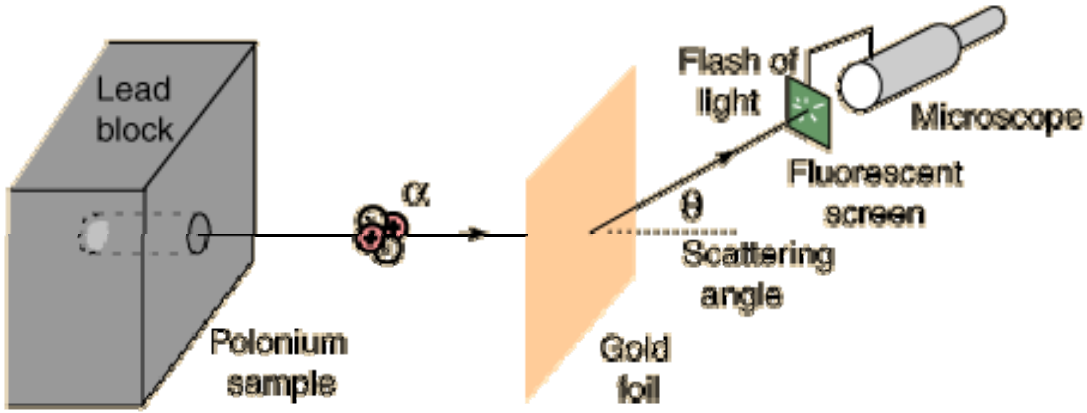




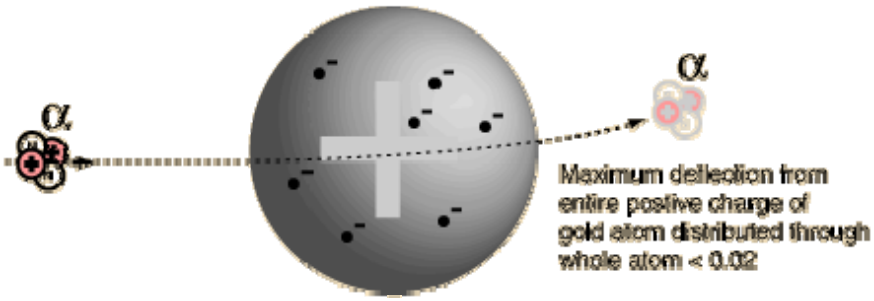
Exemplo histórico: estrutura do átomo



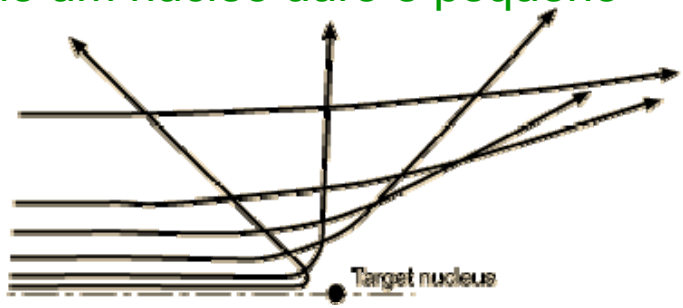
• Ernest Rutherford (1911): descobriu a estrutura nuclear do átomo. Primeiro experimento de colisão de partículas sub-atômicas.



Modelo de Thomson: previa deflexão pequena das partículas α

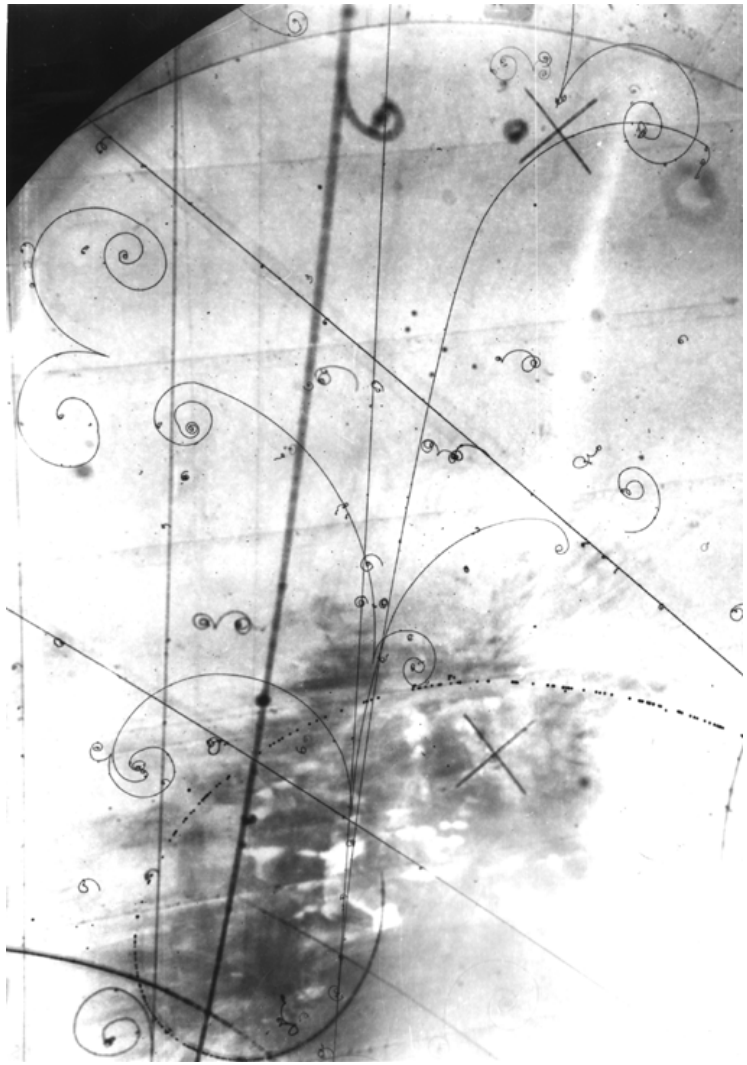


Rutherford observou grandes deflexões, sugerindo um núcleo duro e pequeno



Exemplos: Partículas elementares

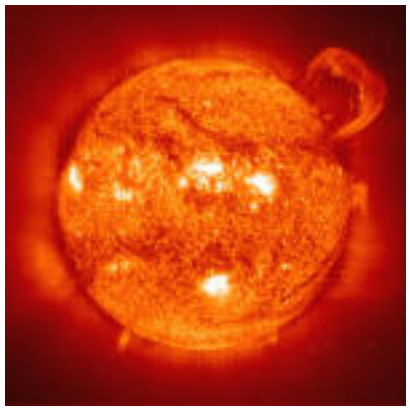
Criação de pares elétron-pósitron



- **Colisões entre partículas elementares (elétron-elétron, elétron-próton, etc.) são responsáveis por quase toda a informação que temos sobre as forças fundamentais da natureza (exceto a gravitacional).**
- **Essas colisões são geradas a partir da aceleração das partículas elementares em grandes aceleradores de partículas (FermiLab, SLAC, etc.**

Exemplos: Colisões entre núcleos; estrelas, reatores

Sol

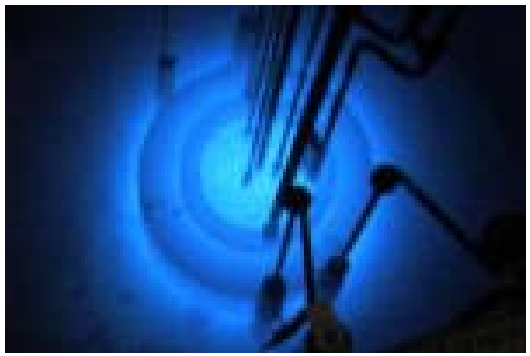


Reação nuclear principal no Sol:

$$4\ {}^{1}H + 2\ e^{-} \rightarrow {}^{4}He + 2 \text{ neutrinos} + 6 \text{ fótons}$$

Energia liberada = 26 MeV

Coração do reator nuclear



Uma das reações de fissão do ^{235}U:

$$^{235}U + n \rightarrow {}^{236}U^{*} \rightarrow {}^{140}Xe + {}^{94}Sr + 2n$$

Energia liberada $\approx$ 200 MeV

Um núcleo de ^{235}U absorve um nêutron, o que produz ^{236}U (excitado) que sofre processo de fissão. Gerando: Xenônio e Estrôncio + 2 nêutrons.

O que faremos:

- Pode-se estudar os produtos das colisões e suas configurações finais com o intuito de investigar **a natureza das forças.**

- Entretanto, existem características gerais que regem todas as colisões, que são consequências das **leis de conservação de energia e momento linear**. Vamos nos concentrar nessas características gerais.

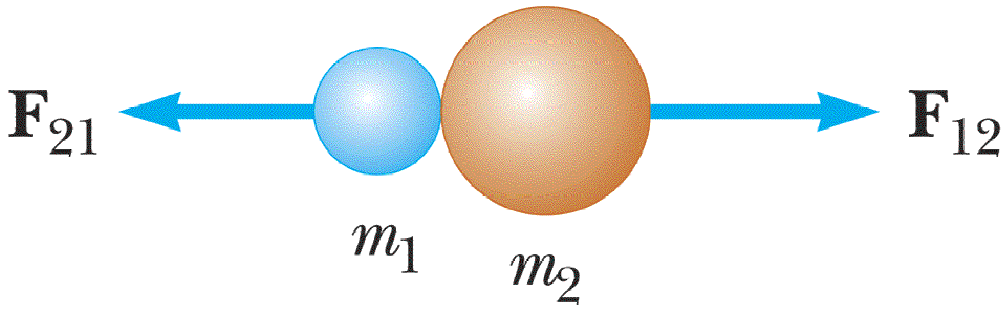
$$mv - mv_0 = F.t$$

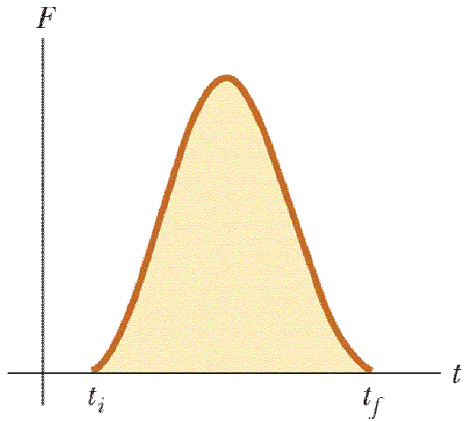
$$\vec{J} = \Delta\vec{P} = \vec{P}f - \vec{P}i = mv_f - mv_i$$

$$\vec{J} = \int_{ti}^{tf} \vec{F}(t)\ dt$$

Características gerais:

• Exemplo das colisões de bolas de bilhar: as forças de contato são muito grandes e agem por curtíssimos intervalos de tempo.





• Não estamos interessados dos detalhes da força como função do tempo. Queremos o resultado líquido de sua atuação, isto é: Integral da força em relação ao tempo.

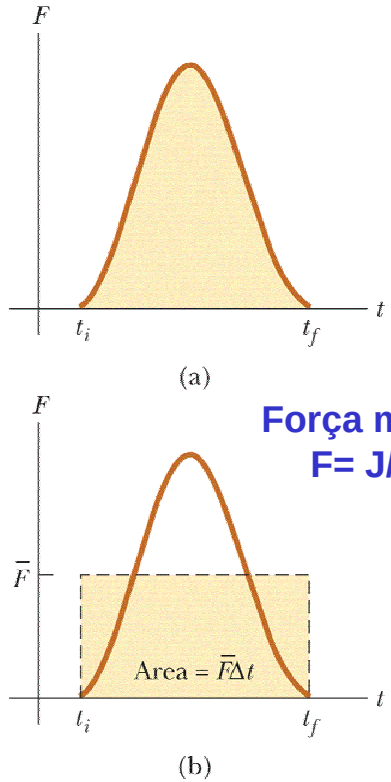
$$\int_{t_i}^{t_f} \vec{\boldsymbol{F}}\, dt = \int_{t_i}^{t_f} \frac{d\vec{\boldsymbol{p}}}{dt}\, dt = \int_{\vec{\boldsymbol{p}}_i}^{\vec{\boldsymbol{p}}_f} d\vec{\boldsymbol{p}} = \vec{\boldsymbol{p}}_f - \vec{\boldsymbol{p}}_i = \Delta\vec{\boldsymbol{p}}$$

Impulso:

Impulso=área debaixo da curva

• A integral temporal da força é chamada impulso da força.

$$\vec{J} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F} dt = \Delta \vec{p}$$



Força média
F= J/Δt

• O impulso da força total sobre um corpo durante um intervalo de tempo é igual à mudança do momento linear do corpo no intervalo.

$$F.\Delta t = \vec{J} = \Delta \vec{P} = \vec{P}_f - \vec{P}_i = mv_f - mv_i$$

•Compare com o teorema de trabalho-energia.

$$\int_{\vec{r}_i}^{\vec{r}_f} \vec{F} \cdot d\vec{r} = \Delta K$$

Exemplo: impulso numa colisão de bolas de bilhar:

$$\begin{cases} m \approx 0{,}3\ \text{kg} \\ \Delta v \approx 1\ \text{m/s} \end{cases}$$

Supomos que, ao ser atingida pela bola branca, uma bola de bilhar adquire a velocidade de 1 m/s.

A variação de seu momento linear é, em módulo:

$$\Delta p = m\Delta v = mv - \cancel{mv_0}^{\,0} \approx 0{,}3\ \text{kg m/s} = \text{J}$$

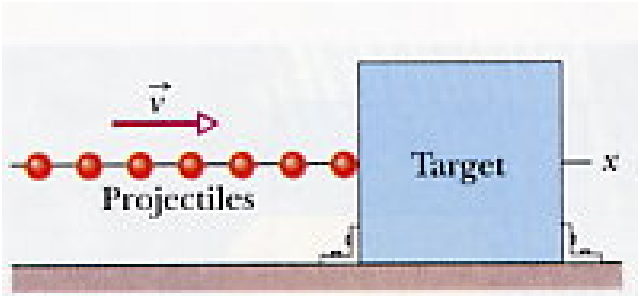
que dá o impulso transmitido pela bola branca na colisão.

Se o contato dura $\Delta t \approx 10^{-3}$ s, a força média exercida é

$$\overline{F} = \frac{J}{\Delta t} = 300N$$

Compare isso com a força peso $P=3N$

Força média de um jato de areia: Colisões em série



Cada colisão transfere -Δp para a parede, onde Δp é a variação de momento linear de uma partícula em uma colisão. Se há Δn colisões num intervalo Δt, o impulso total transferido à parede é:

$$\Delta J = -\Delta n \Delta p$$

A força média correspondente é:

$$\overline{F} = \frac{\Delta J}{\Delta t} = -\frac{\Delta n}{\Delta t}\Delta p$$

Se a colisão é tal que as partículas são absorvidas:

$$\Delta p = -mv_{inc} \Rightarrow \overline{F} = \frac{\Delta n}{\Delta t} mv_{inc}$$

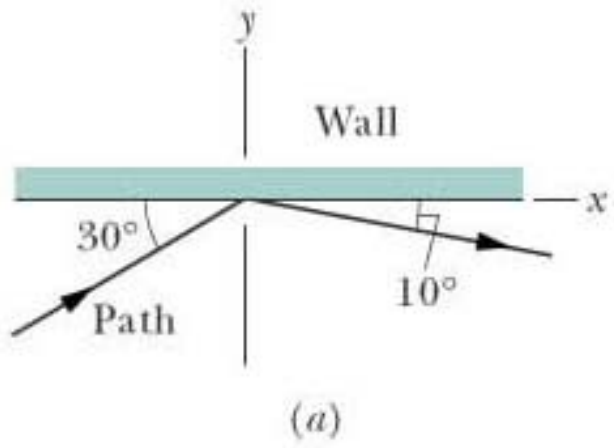
A figura abaixo é uma vista superior de da trajetória seguida por um piloto de corrida de automóveis quando seu carro colide com o muro de proteção da pista. Imediatamente antes da colisão, ele está dirigindo com uma velocidade com uma velocidade $\boldsymbol{v}_i$ = 70 m/s ao longo de uma linha reta que faz um ângulo de 30º com a parede. Imediatamente após a colisão, ele se desloca com uma velocidade de módulo $\mathbf{v}_f$ = 50 m/s ao longo de uma linha reta que faz um ângulo de 10º com a parede. Sua massa é de 80 kg.

a) Qual é o impulso J sobre o piloto devido à colisão?

b) A colisão dura 14 ms.

Qual é a intensidade da força média

sobre o piloto na colisão?



Impulso e conservação de momento linear:

Se há apenas forças internas, elas obedecem à 3ª lei de Newton

$$\vec{F}_{1\leftarrow 2} = -\vec{F}_{2\leftarrow 1} \Rightarrow \vec{J}_{1\leftarrow 2} = -\vec{J}_{2\leftarrow 1}$$

$$\Rightarrow \Delta\vec{p}_1 = -\Delta\vec{p}_2$$

O momento linear ganho por uma partícula é perdido pela outra.
Momento linear é apenas transferido de uma partícula à outra.

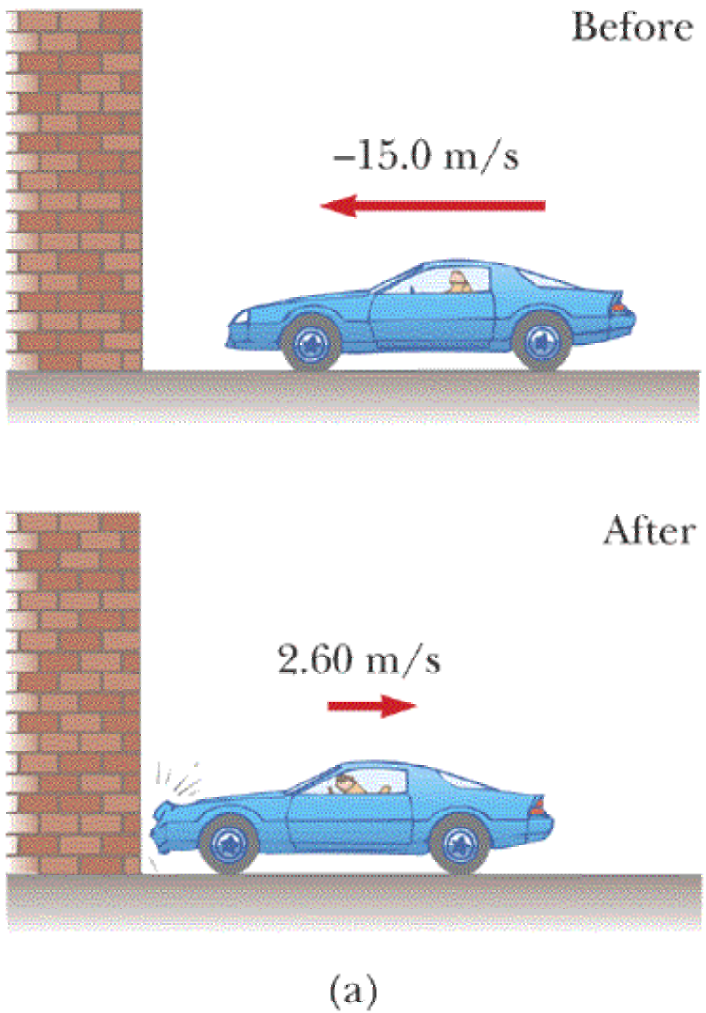
$$\vec{p}_{1f} - \vec{p}_{1i} = -\left(\vec{p}_{2f} - \vec{p}_{2i}\right) = \vec{p}_{2i} - \vec{p}_{2f}$$

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f} \Rightarrow \vec{P}_i = \vec{P}_f$$

Obviamente, recuperamos a **lei de conservação de momento linear**.

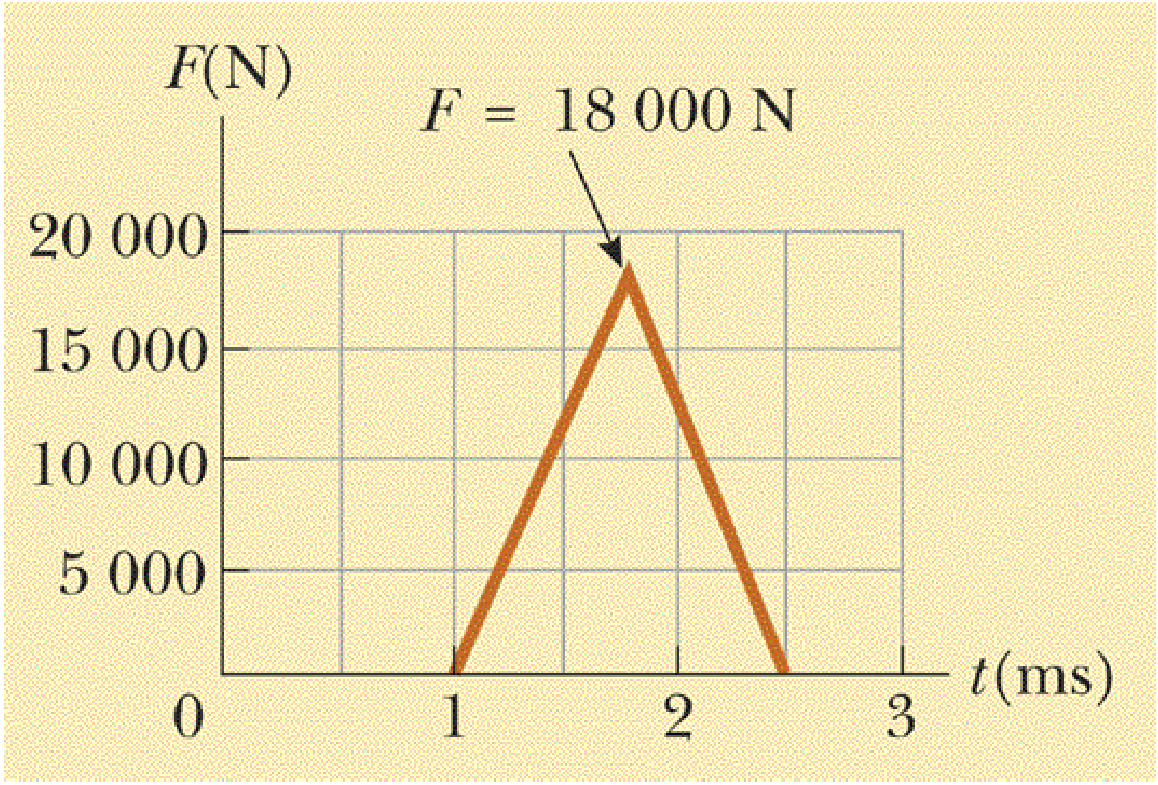
Exemplo: impulso numa colisão

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 8.5a



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

Uma curva da força estimada contra o tempo para uma bola de beisebol que foi atingida por um bastão é mostrada na figura abaixo. Determine a partir desta curva (a) o impulso fornecido a bola, (b) a força média exercida sobre a bola, c) a força máxima exercida sobre a bola.



Um carro de 1400 kg que se move a 5,3 m/s está se deslocando inicialmente para o norte no sentido positivo da direção "y". A pós completar uma curva de 90º para a direita passando para o sentido positivo da direção "x" em 4,6 s, o motorista desatento bate em uma árvore, que pára o carro em 350 ms. Usando vetores unitários, determine:

a) A impulsão sobre o carro devido à curva ? b) A impulsão sobre o carro devido à colisão ? c) Qual a força média que atua sobre o carro durante a curva e durante a colisão ? e d) qual o ângulo entre a força média na curva e o eixo x + ?