Introdução às Medidas em Física
7ª Aula
http://www.dfn.if.usp.br/~suaide/

Alexandre Suaide

Ed. Oscar Sala

sala 246

ramal 7072

Estudo de um corpo em movimento

- Como estudar o movimento de um corpo?
- O que caracteriza um movimento?
- Como obter essas informações e como analisá-las?

Estudo de um corpo em movimento

- Em última instância queremos entender as interações (forças) de um corpo no meio.
- Como, observando o movimento de um corpo, podemos entender as forças que atuam sobre um corpo?

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a} \text{ (massa constante)}$$

Estudo de um corpo em movimento

- Se eu sei a posição de um corpo em função do instante de tempo, eu determino a cinematica do movimento e, consequentemente a força resultante sobre o corpo

$$\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt} \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Estudo de um corpo em movimento

- Mas quem é a força que eu estou determinando?

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

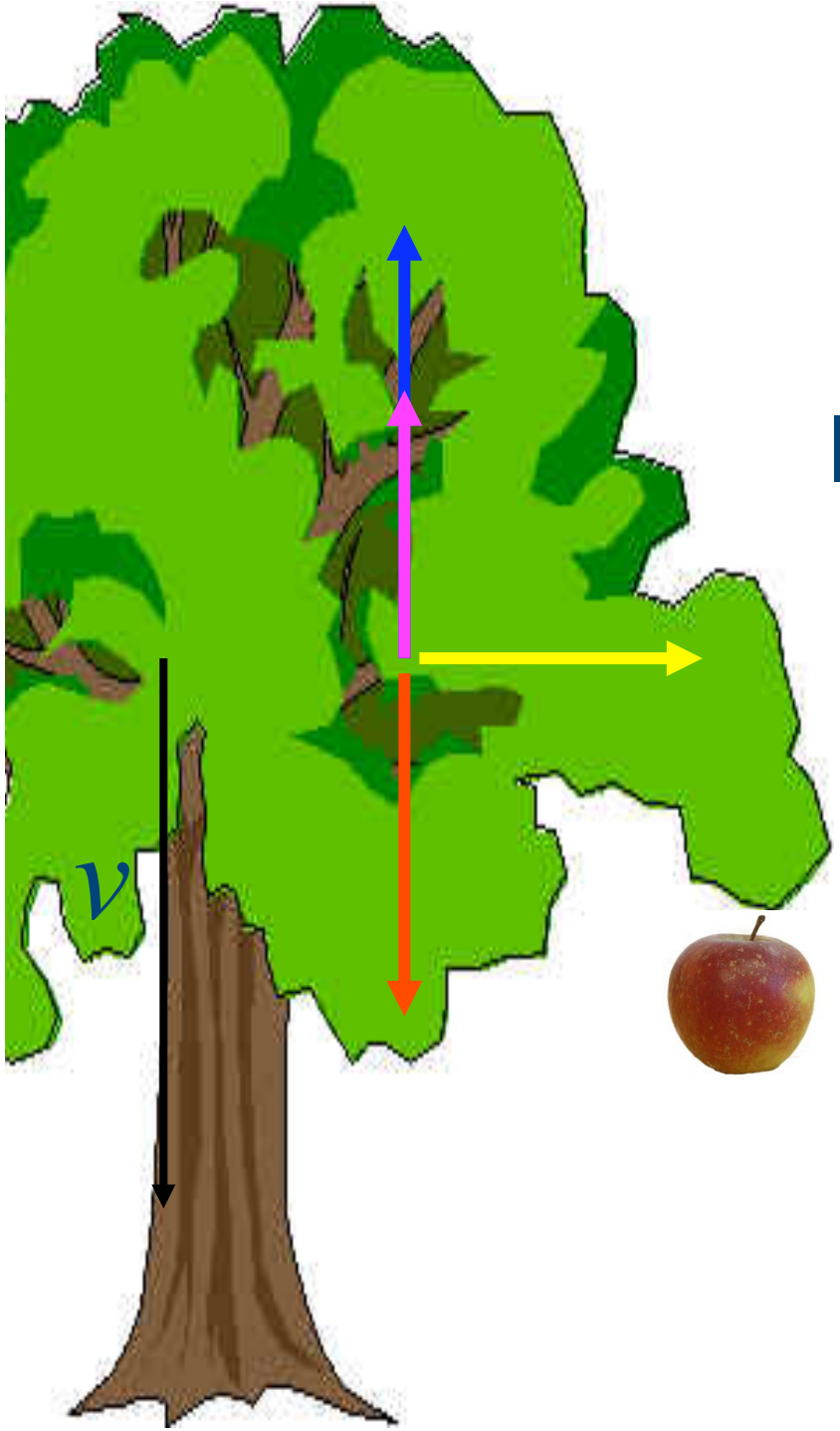
- Essa análise cinemática me permite determinar a força resultante que está agindo sobre um corpo, como saber quais são as forças individuais?

Estudo de um corpo em movimento

- Para tentar entender as forças individuais que agem sobre um corpo deve-se:
  - Estudar o movimento sobre vários aspectos (variar condições iniciais, método de medida, etc).
  - Ter precisão suficiente para distinguir os diferentes cenários.

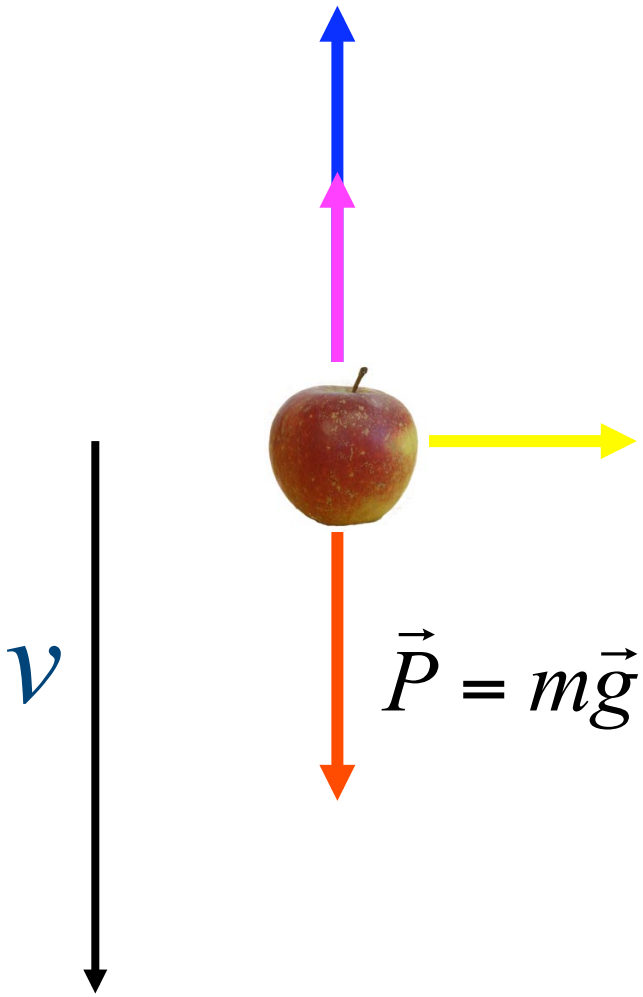
Corpo em queda livre

- Vamos estudar o movimento de um corpo em queda livre
  - Medida da cinemática completa desse corpo, ou seja, medir a posição em função do tempo
    - Velocidade, aceleração
- Nós entendemos o movimento desse corpo? Quais são as forças atuantes? Somos sensíveis a essas forças?
  - Testar hipóteses



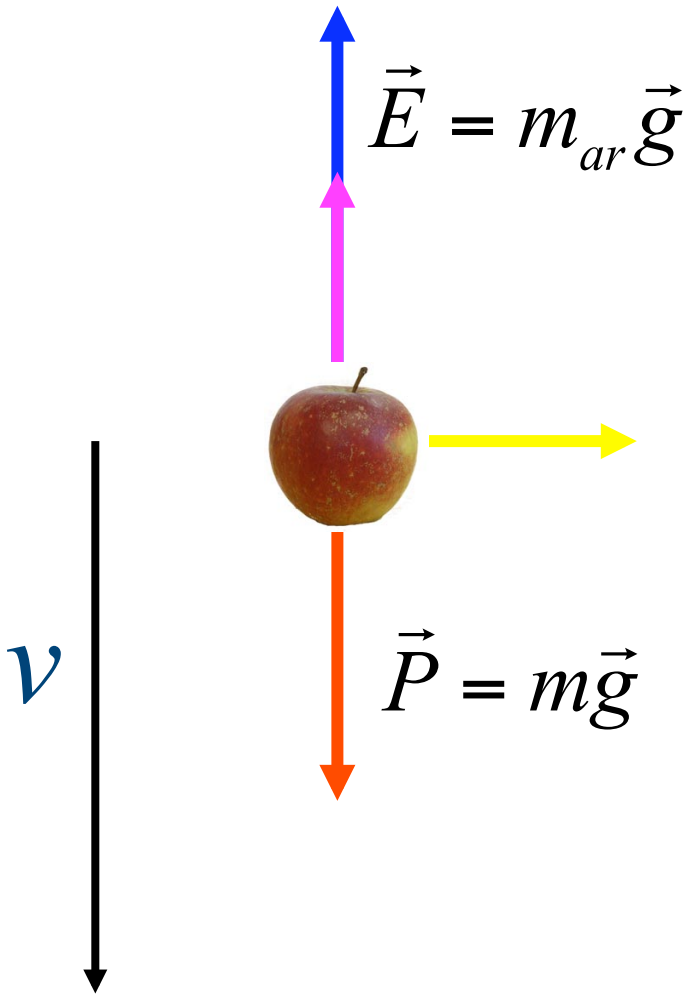
Corpo em queda livre

- Que forças podem estar atuando sobre um corpo em queda livre?
  - Peso (gravidade)
  - Empuxo (o ar tentando ocupar de volta o espaço do corpo)
  - Atrito com o ar (somente se houver movimento)
  - Outras forças?
    - Forças laterais, etc…



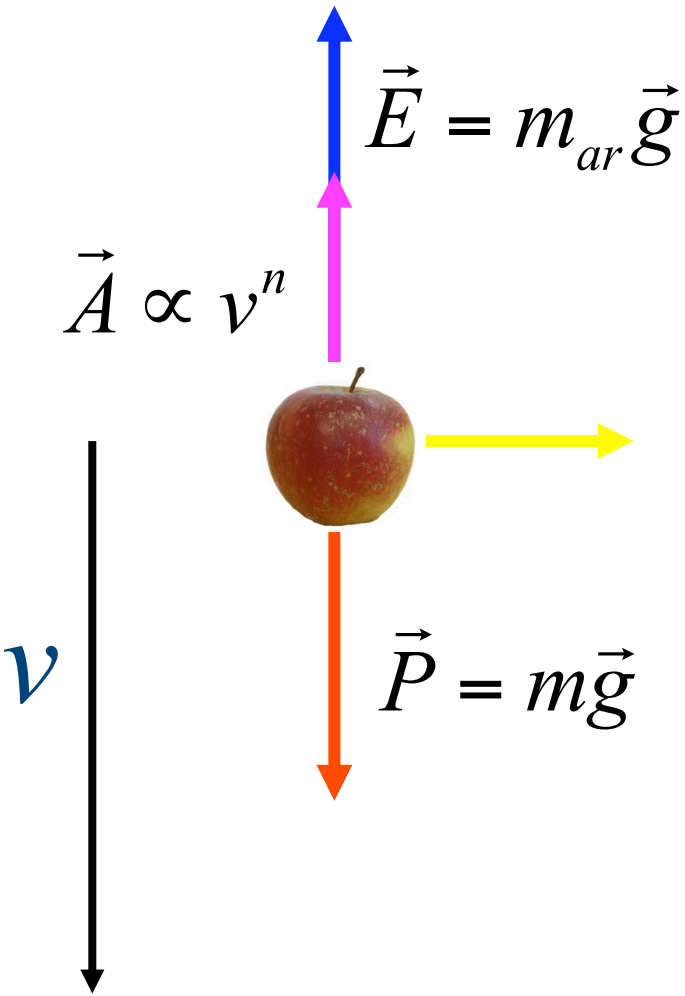
Corpo em queda livre

- Peso (P)
  - Atração gravitacional entre a terra e o corpo. Por simplicidade, assume-se a gravidade como uma constante



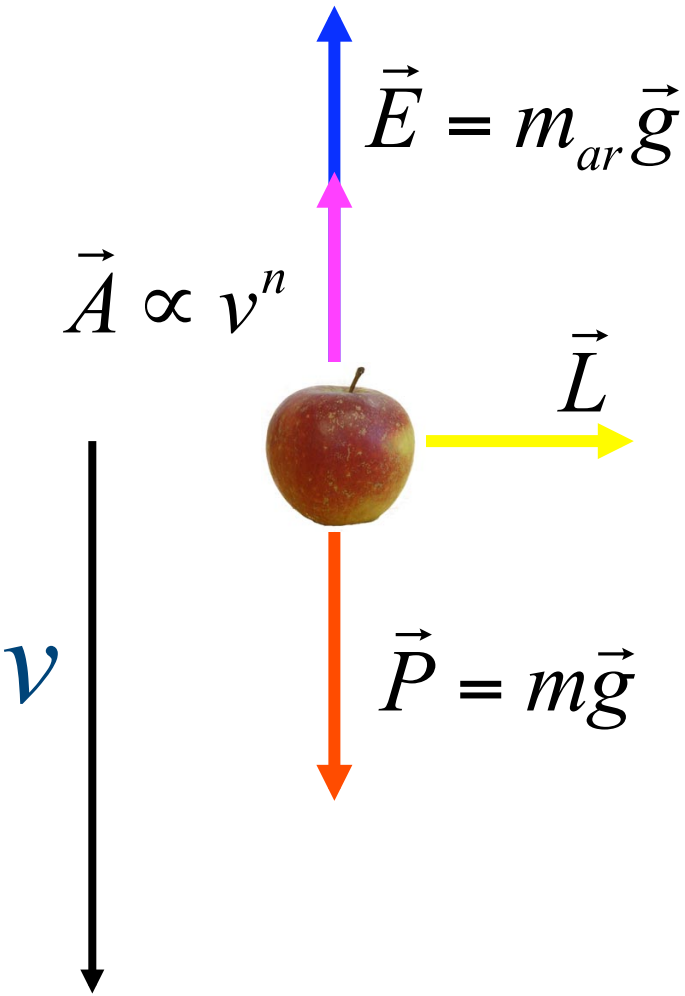
Corpo em queda livre

- Empuxo (E)
  - Atração gravitacional da massa de ar deslocada, que "tenta" ocupar novamente o espaço do corpo. Tem o sentido oposto ao peso.



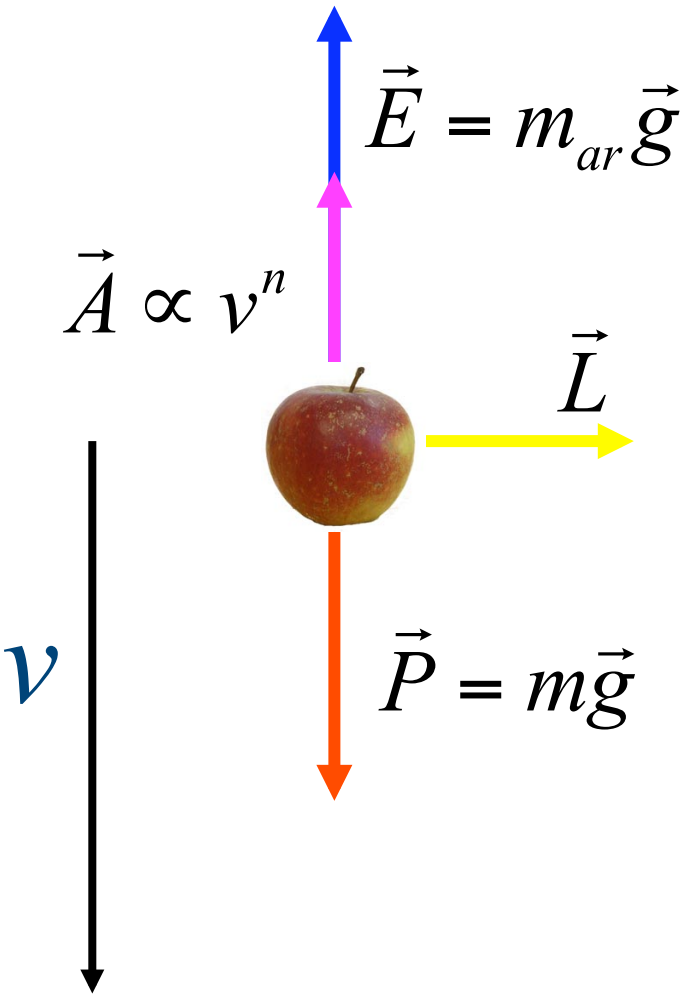
Corpo em queda livre

- Atrito (A)
  - Forças de atrito devido à viscosidade do ar
  - Em geral, são muito dependentes da geometria do corpo
  - Depende fortemente de como o meio escoa em torno do corpo
  - Depende da velocidade



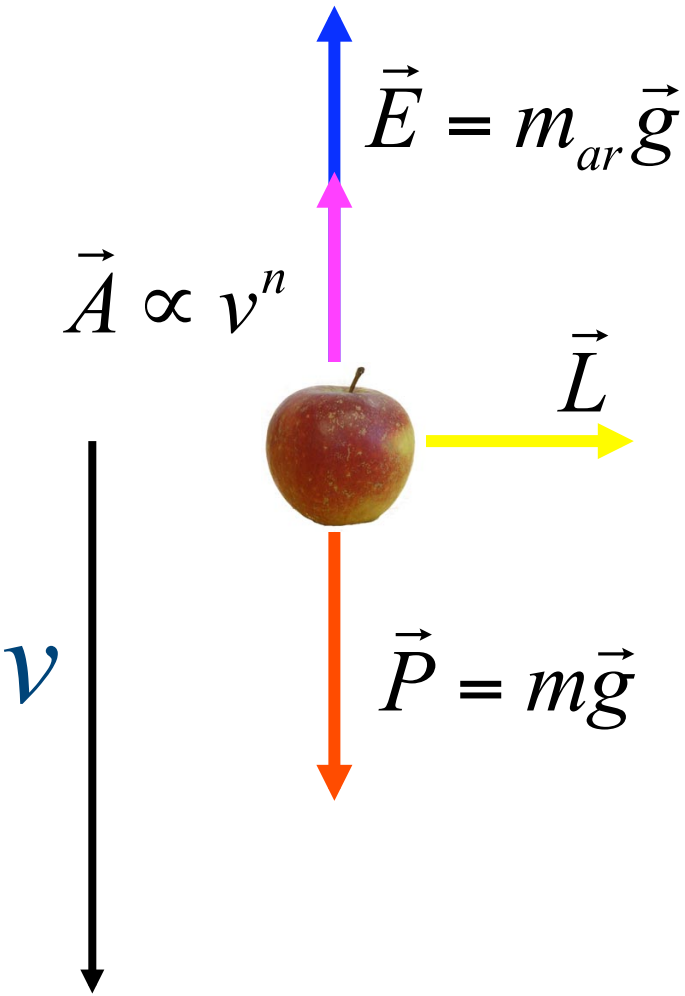
Corpo em queda livre

- Forças laterais ($\boldsymbol{L}$)
  - Pode ter várias orígens e depende que quão bem controlado é o ambiente
  - Dependendo do sistema, uma pequena pertubação pode alterar totalmente o movimento lateral do corpo



Corpo em queda livre

- Como testar estas hipóteses? O nosso arranjo experimental é sensível o suficiente para perceber essas variações?
- O que acontesse se uma das forças for muito mais intensa que as restantes?



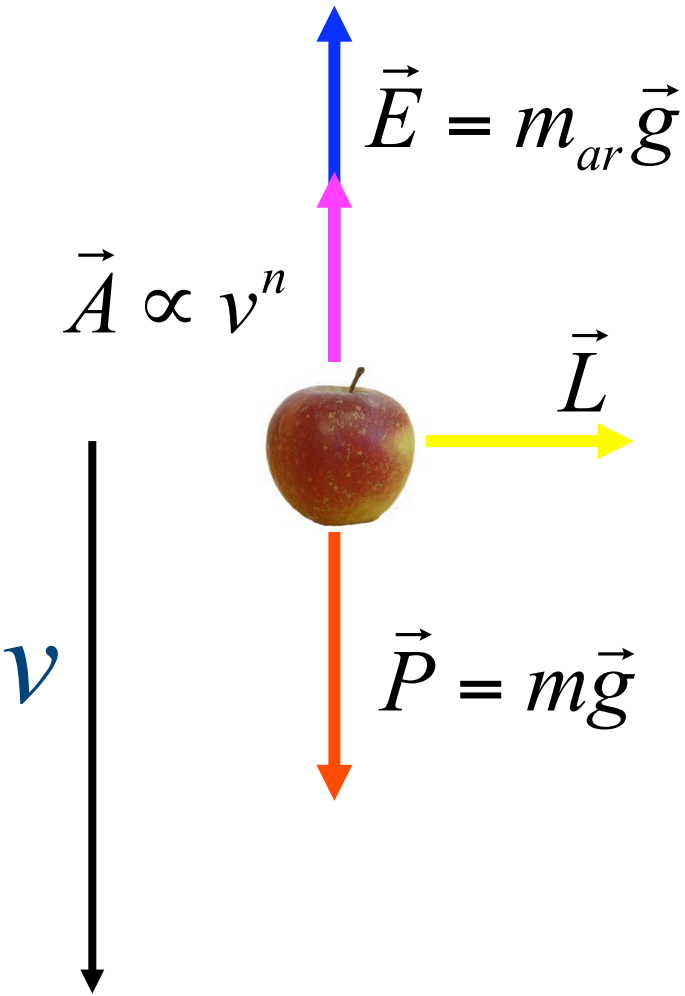
Corpo em queda livre

- Hipótese de um corpo em queda livre em uma situação "quase ideal"

$$\vec{P} >> \vec{E} + \vec{A} + \vec{L}$$

$$\vec{F} = m\vec{a} \approx \vec{P} = m\vec{g}$$

$$\vec{a} \approx \vec{g} \approx \text{constante}$$



Corpo em queda livre

- Resolvendo o movimento

$$\vec{a} \approx \vec{g} \approx \text{constante}$$

$$\vec{g} = \frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow g = \frac{dv}{dt} \quad (1\text{D})$$

$$\boxed{v = v_0 + gt}$$

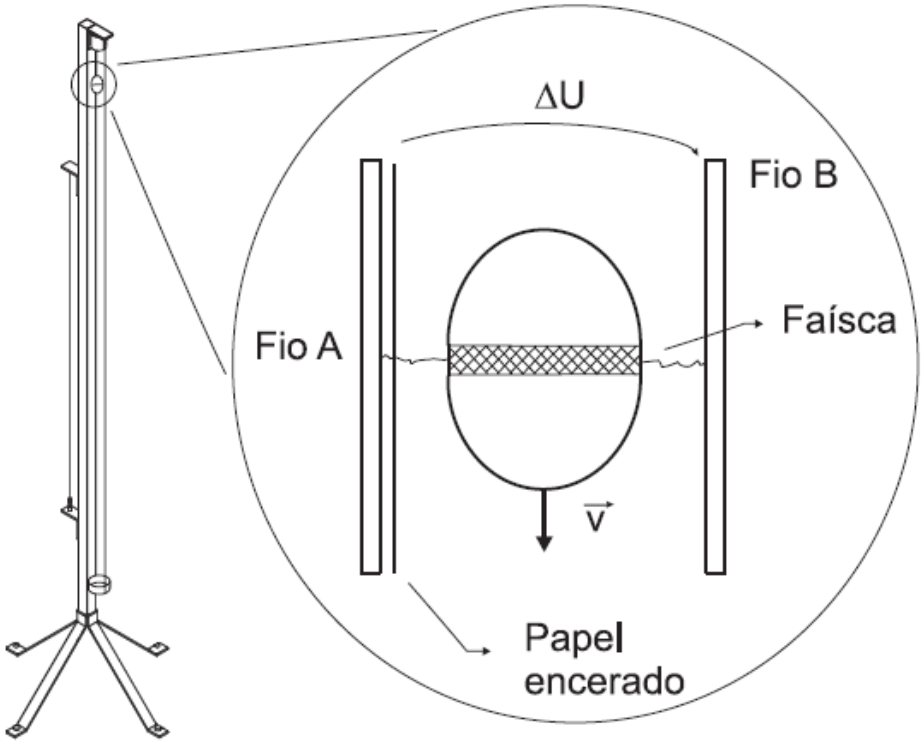
$$v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow \boxed{x = x_0 + v_0 t + \frac{g}{2}t^2}$$

Movimento de um corpo em queda livre

- Como medir a posição de um corpo em instantes de tempo bem determinados?
  - Muitos métodos diferentes
    - Radar, laser, fotos em instantes consecutivos (filme)
- Experiência de queda livre
  - Usar a rede elétrica como referência em tempo e um dispositivo elétrico para marcar a posição do corpo em cada instante

Arranjo experimental

- Corpo utilizado: um ovo plástico
  - A geometria do ovo plástico minimiza efeitos de atrito com o ar.
- Medida das posições
  - Um faiscador gera um pulso de alta voltagem (cuidado) com freqüência igual a da rede elétrica (60,00 Hz). Esse pulso gera uma faísca que marca a posição do ovo em uma tira de papel encerado
    - A cada 1/60,00 segundos uma faísca é gerada no papel.

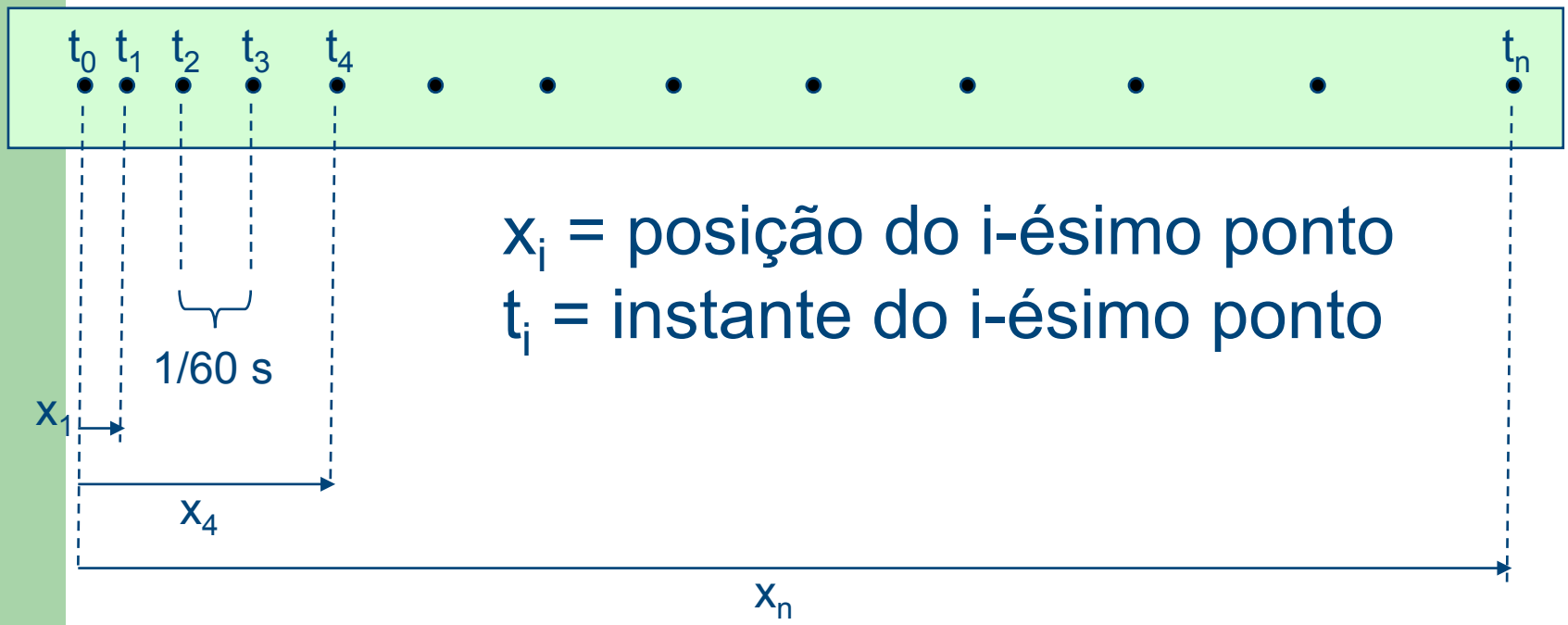


Atividades

- Realizar a medida de queda livre do ovo utilizando o arranjo experimental disponível.
- Cuidados experimentais
  - Ver apostila
  - Cuidado com choques elétricos. Estamos utilizando altas tensões elétricas

Dados adquiridos

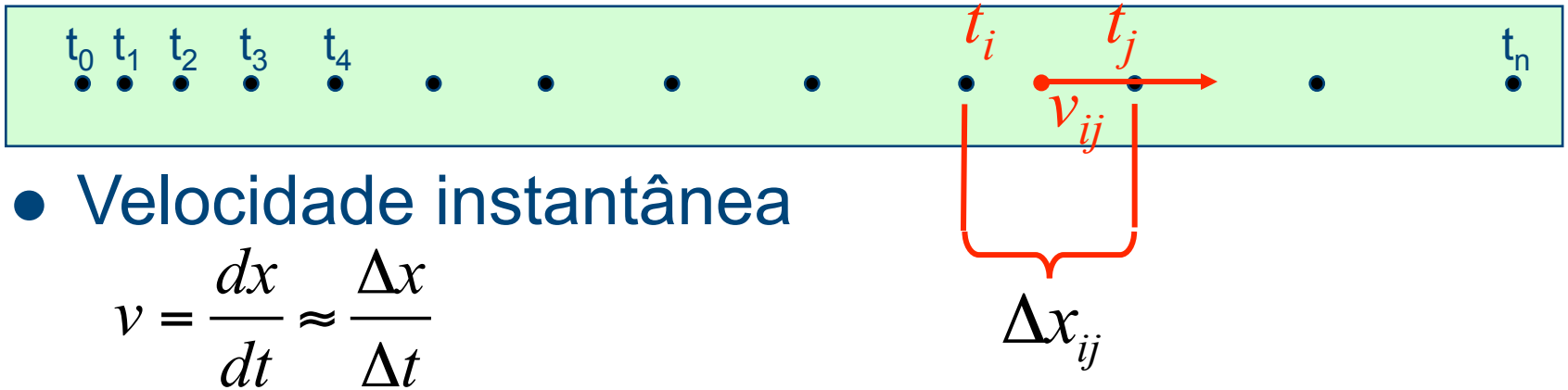
- Fita encerada
  - Posição do ovo a cada 1/60 segundos



x_i = posição do i-ésimo ponto

t_i = instante do i-ésimo ponto

Análise dos dados: obtenção da velocidade instantânea



- Velocidade instantânea

$$v = \frac{dx}{dt} \approx \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

- Quem é Δx e Δt?

$$v(t_{ij}) \approx \frac{\Delta x_{ij}}{\Delta t_{ij}}, \text{ sendo } i, j \text{ o índice de dois pontos}$$

$$t_{ij} = \frac{t_i + t_j}{2} \quad \text{e} \quad \Delta t_{ij} = t_j - t_i$$

Análise dos dados

- Obtenção da velocidade instantânea

$$v(t_{ij}) = v_{ij} \approx \frac{\Delta x_{ij}}{\Delta t_{ij}}$$

- Qual é a incerteza na velocidade
  - Propagação de incertezas

$$\sigma_{v_{ij}} = v_{ij}\sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Delta x_{ij}}}{\Delta x_{ij}}\right)^2 + \cancelto{0}{\left(\frac{\sigma_{\Delta t_{ij}}}{\Delta t_{ij}}\right)^2}}$$

- A incerteza de Δx_{ij} é a própria incerteza da medida do deslocamento
- Quem é a incerteza do tempo?

A rede elétrica é altamente estável, caso contrário não seria possível conduzir a energia por milhares de km

Atividades de análise de dados

- Fazer uma tabela de posição do objeto como função do tempo

- Calcular os deslocamentos e **calcular a velocidade**
  - Medir deslocamentos em intervalos consecutivos
    $(i,j)_{t=k} = (1,3)_{t=2}; (2,4)_{t=3}; (3,5)_{t=4};$ etc.

- Organizar os dados em uma tabela