

# **Aula 2**

## **Movimento de queda de corpos**



**Física Experimental II**  
**Segundo semestre 2012**



# 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

- No final 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 cinemática do movimento e, conseqüentemente 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 qual 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



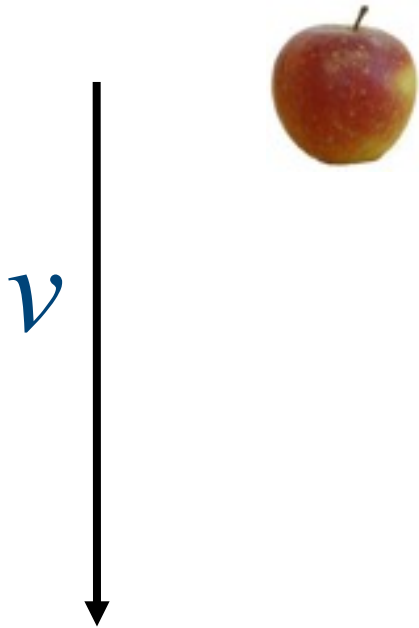


# Corpo em queda livre

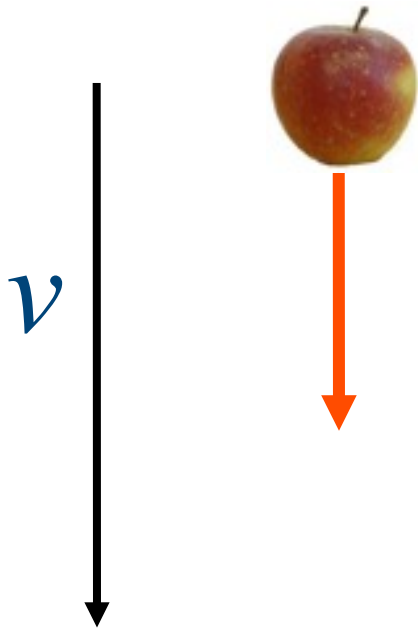


# Corpo em queda livre

- Que forças podem estar atuando sobre um corpo em queda livre?

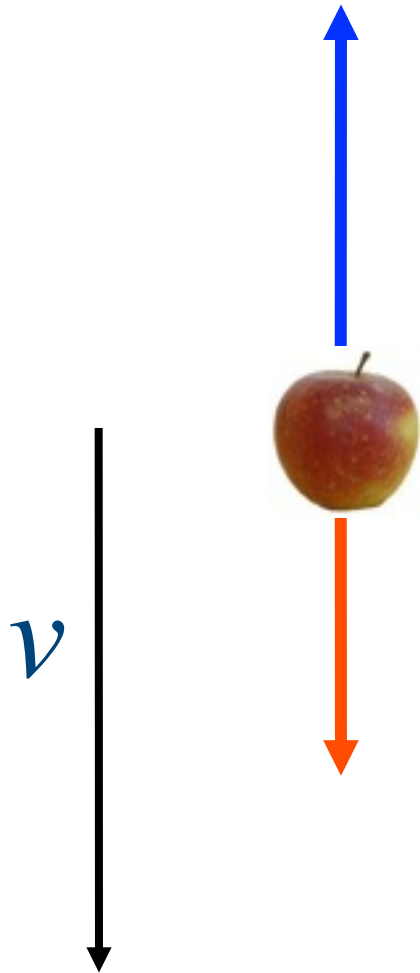


# Corpo em queda livre



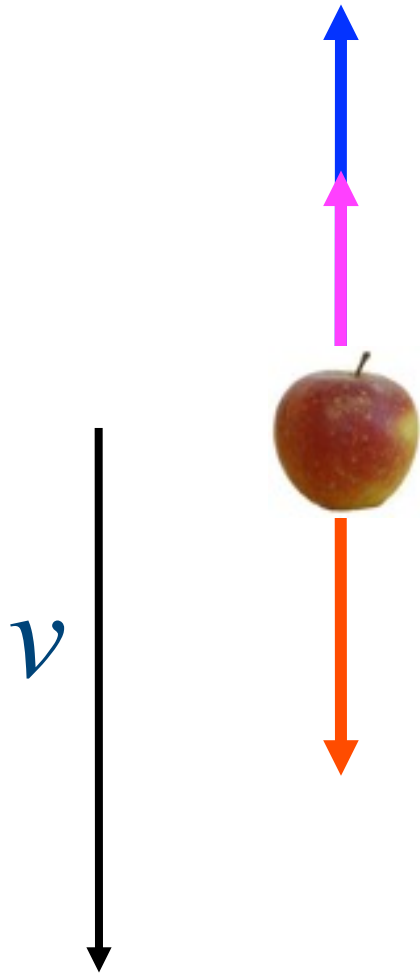
- Que forças podem estar atuando sobre um corpo em queda livre?
  - Peso (gravidade)

# Corpo em queda livre



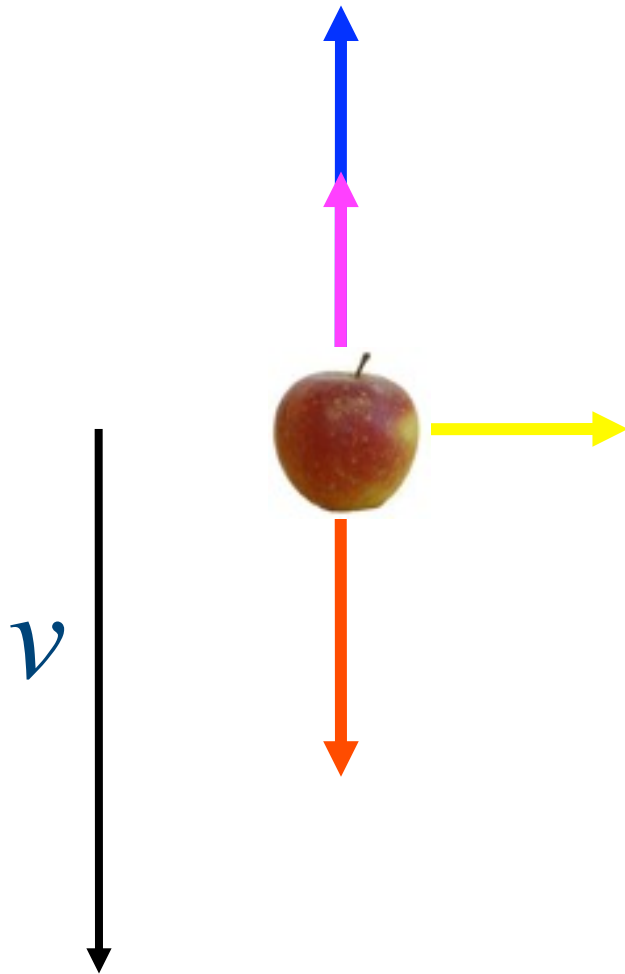
- Que forças podem estar atuando sobre um corpo em queda livre?
  - Peso (gravidade)
  - Empuxo (sustentação do ar sobre o corpo)

# Corpo em queda livre



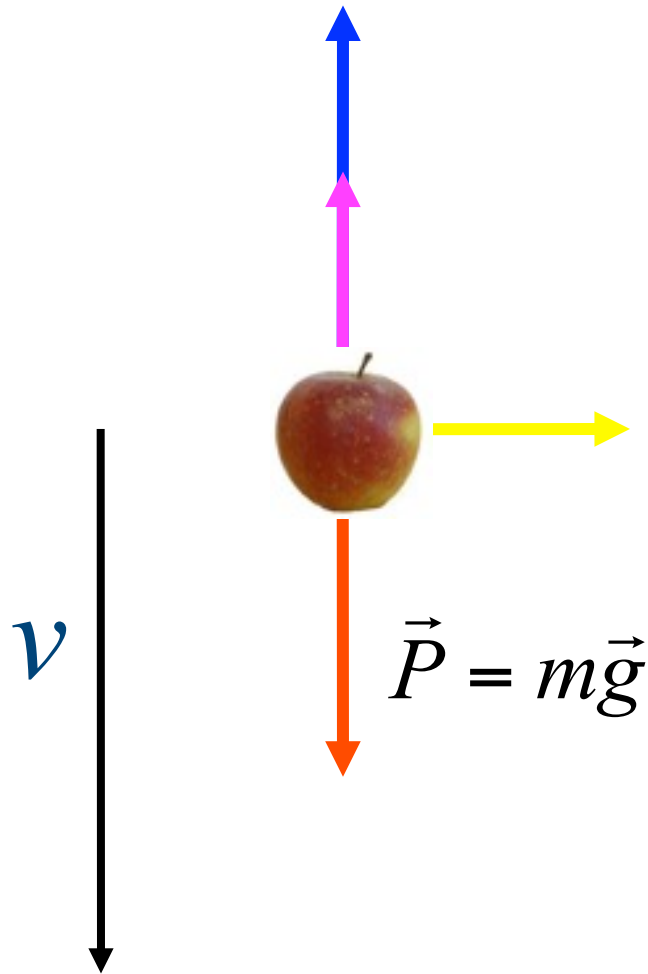
- Que forças podem estar atuando sobre um corpo em queda livre?
  - Peso (gravidade)
  - Empuxo (sustentação do ar sobre o corpo)
  - Atrito com o ar (somente se houver movimento)
  - Outras forças?

# Corpo em queda livre



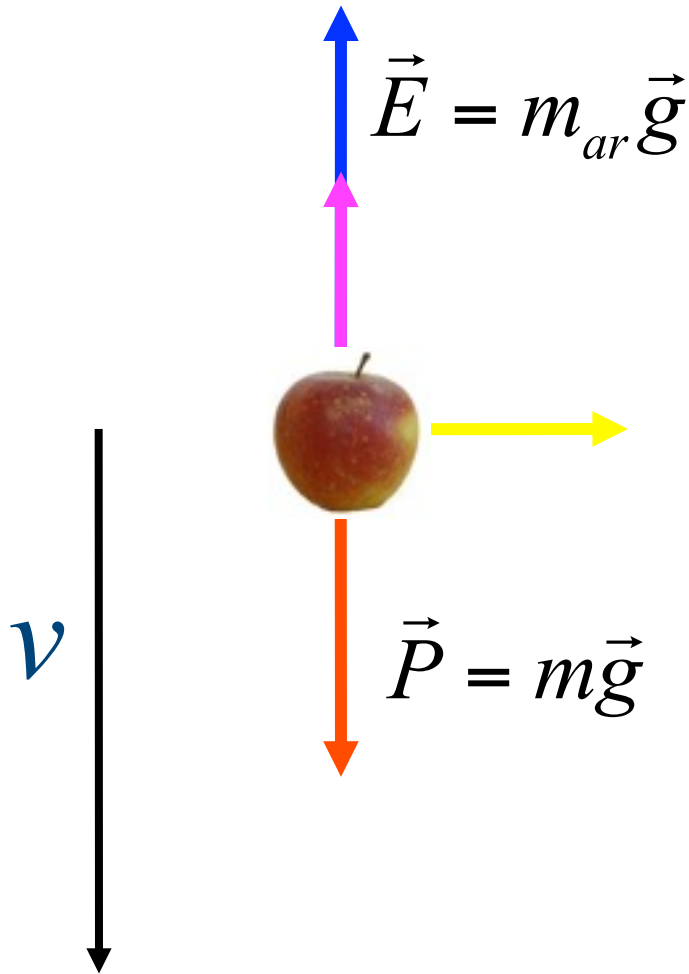
- Que forças podem estar atuando sobre um corpo em queda livre?
  - Peso (gravidade)
  - Empuxo (sustentação do ar sobre o corpo)
  - Atrito com o ar (somente se houver movimento)
  - Outras forças?
    - Forças laterais, etc...

# Corpo em queda livre



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

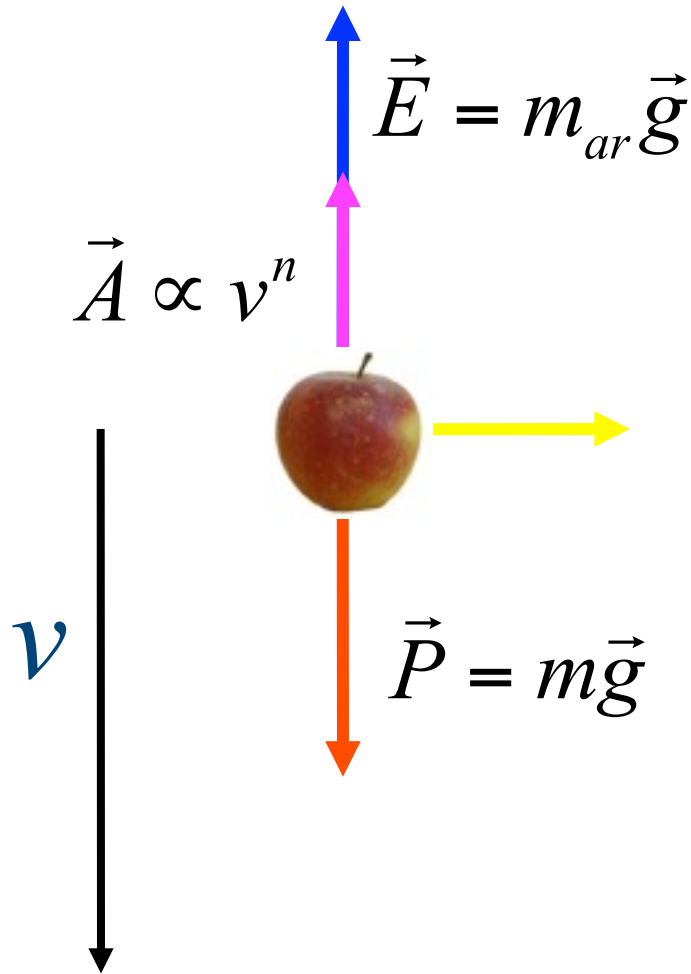
# Corpo em queda livre



- Empuxo ( $E$ )
  - Força de sustentação do meio sobre o corpo.
  - Tem módulo igual ao peso do meio cujo volume foi ocupado pelo corpo e sentido oposto à força peso.

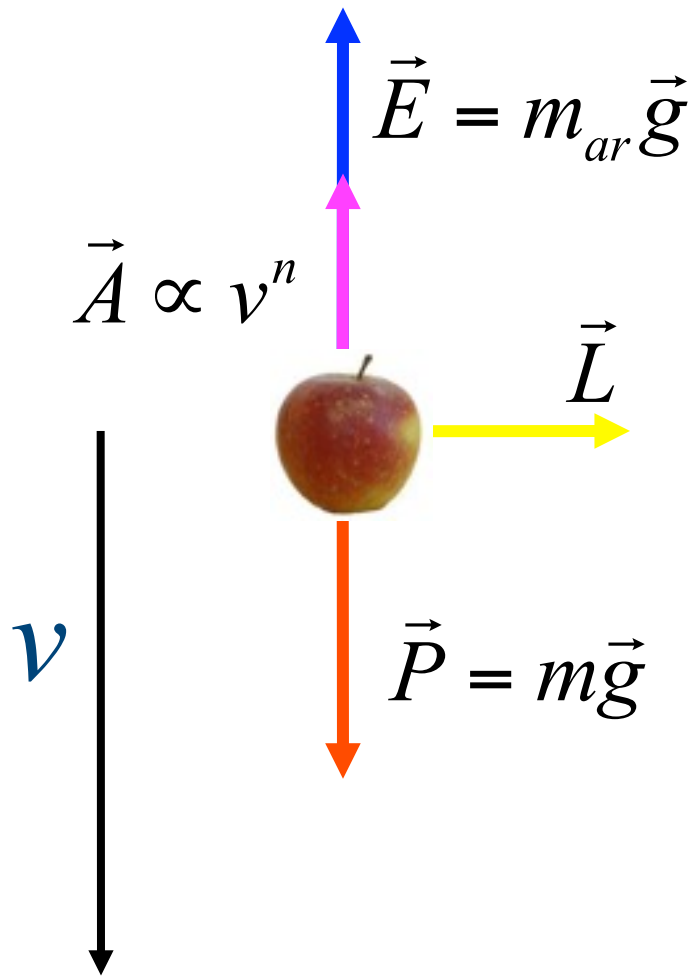


# Corpo em queda livre

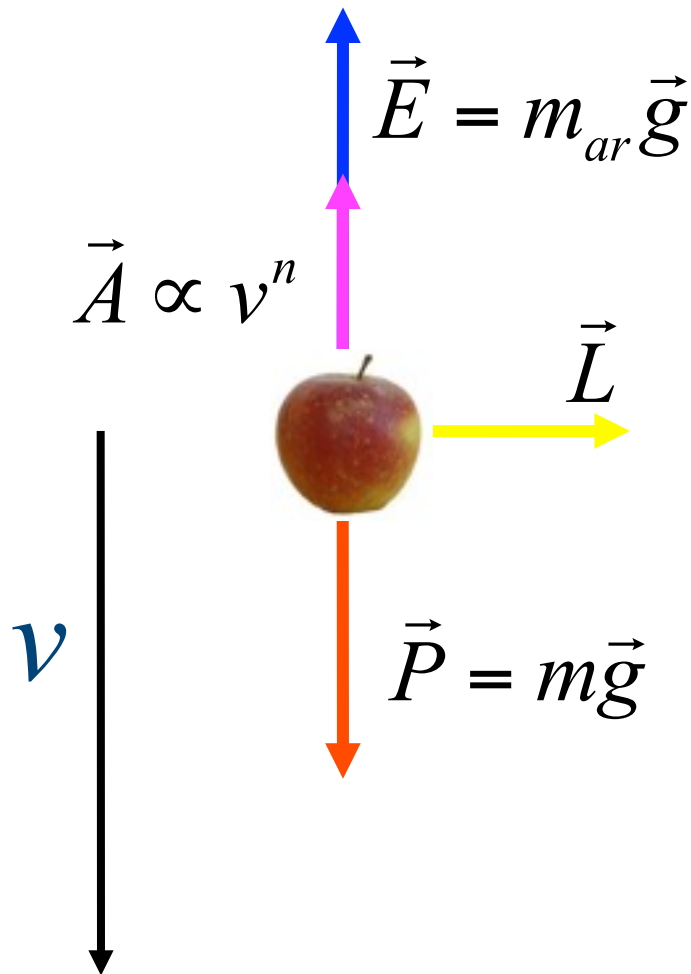


- Atrito ( $A$ )
  - Forças de atrito devido à viscosidade do ar.
  - Em geral, são muito dependentes da geometria do corpo.
  - Depende fortemente de como o meio escoar em torno do corpo.
  - Depende da velocidade.

# Corpo em queda livre

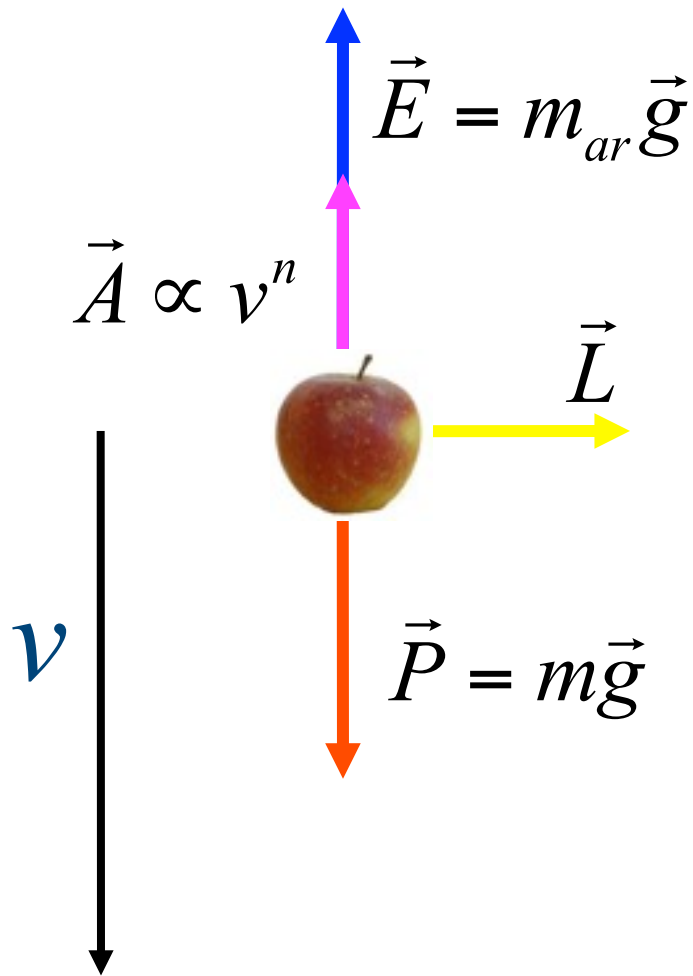


- Forças laterais ( $L$ )
  - Pode ter várias origens e depende que quão bem controlado é o ambiente
  - Dependendo do sistema, uma pequena perturbação pode alterar totalmente o movimento lateral do corpo



## Corpo em queda livre

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



## Corpo em queda livre

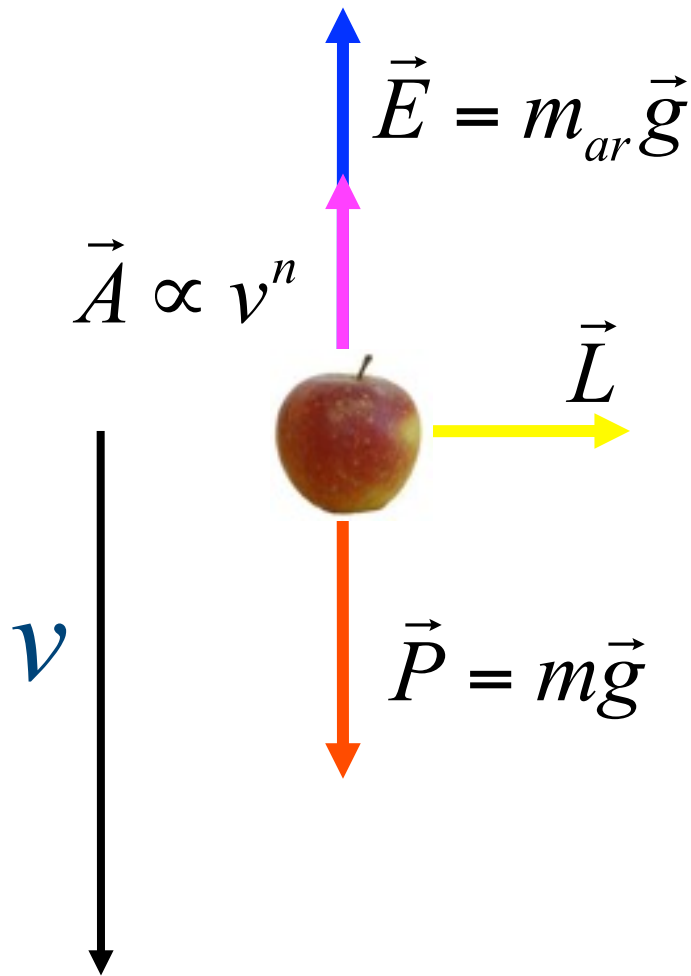
- Hipótese de um corpo em queda livre em uma situação “quase ideal”

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

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

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

# Corpo em queda livre



- Resolvendo o movimento

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

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

$$v = v_0 + gt$$

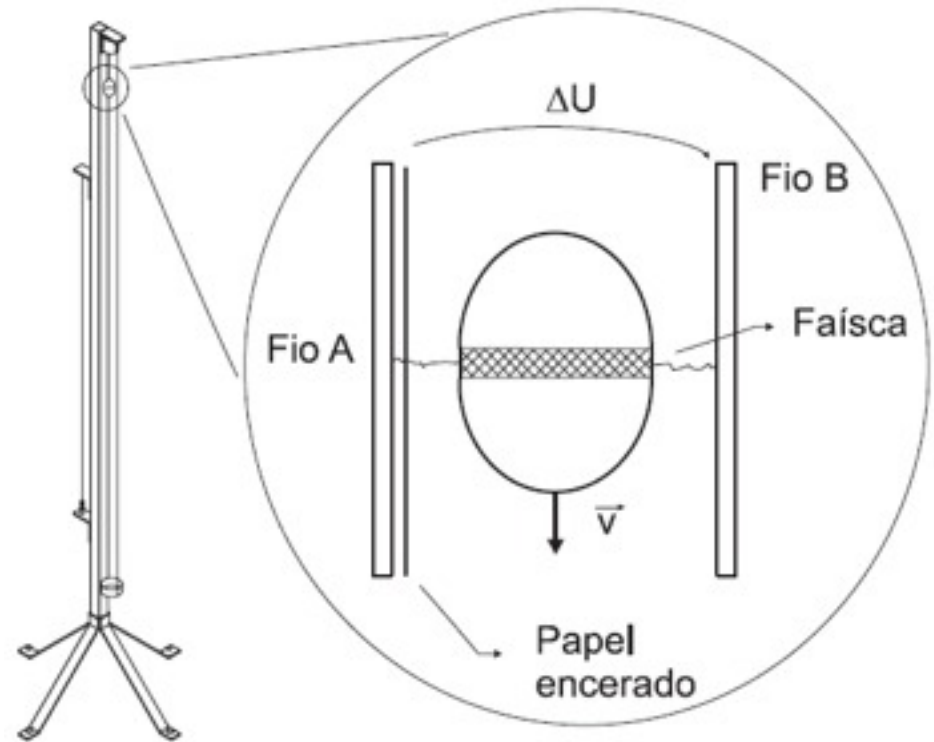
$$v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow x = x_0 + v_0 t + \frac{g}{2} t^2$$

# 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, 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 frequência 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.



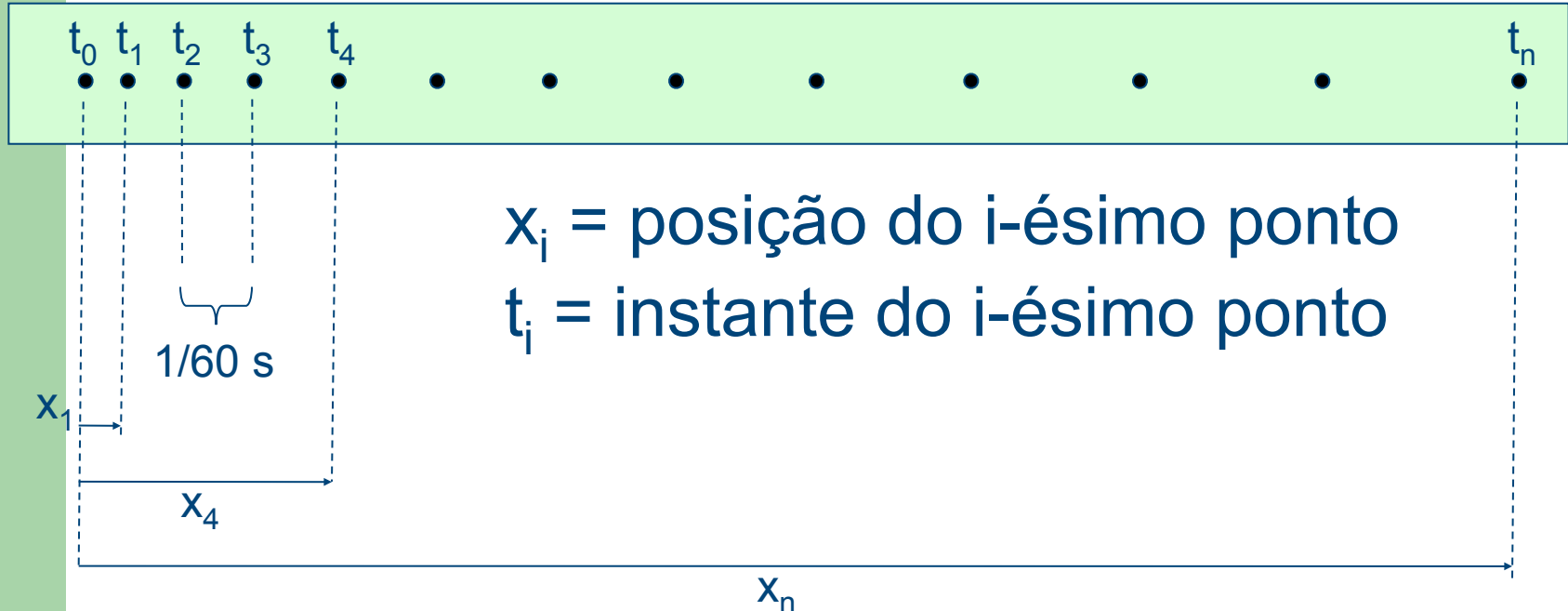
# Atividades

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



# Dados adquiridos

- Fita encerada
  - Posição do ovo a cada 1/60 segundos
  - Ponto inicial arbitrário (escolha de cada grupo)



$x_i$  = posição do  $i$ -ésimo ponto  
 $t_i$  = instante do  $i$ -ésimo ponto

# Análise dos dados: obtenção da velocidade instantânea



$t_0$   $t_1$   $t_2$   $t_3$   $t_4$  . . . . .  $t_n$

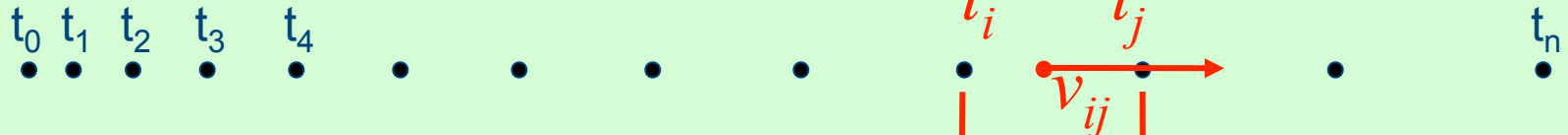
# Análise dos dados: obtenção da velocidade instantânea



- Velocidade instantânea

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

# Análise dos dados: obtenção da velocidade instantânea



- Velocidade instantânea

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

- Quem é  $\Delta x$  e  $\Delta t$ ?

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

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

# Atividades de análise de dados

- Fazer uma tabela de posição (com incerteza) do objeto como função do tempo
- Calcular os deslocamentos e **calcular a velocidade (e incerteza)**
  - em intervalos consecutivos  $(i,j)_{t=k} = (1,2)_{t=1.5}; (3,4)_{t=3.5}; (5,6)_{t=5.5};$  etc.
  - em intervalos alternados  $(i,j)_{t=k} = (1,3)_{t=2}; (2,4)_{t=3}; (3,5)_{t=4};$  etc.
  - Não usar o mesmo ponto duas vezes no mesmo conjunto.
- Fazer gráfico de velocidade em função do tempo para as duas análises
  - É uma reta? Ajustar a reta e obter coeficientes (com incertezas)
- Com base nesses dados e ajustes, ***há uma série de questões no roteiro de aula*** que servem como guia para análise e interpretação dos resultados.

# Para saber mais

- Estudar o texto: ***o que é uma medida?***
  - O. Helene, S. P. Tsat e R. R. P. Teixeira, Rev. Bras. Ensino de Física, vol. 13, 12 (1991)
  - Na aba EXTRAS do site da disciplina
- Estudar o texto: ***propagação de incertezas***
  - Na aba EXTRAS do site da disciplina
  - Ver também capítulo 8 do livro “Fundamentos da Teoria de Erros” - J. H. Vuolo
  - Lista de exercícios no final do texto