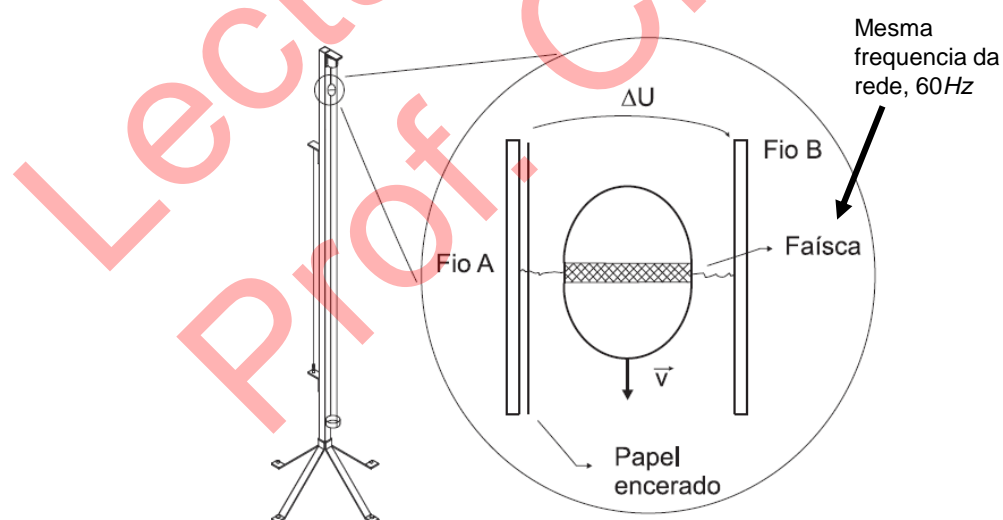


INTRODUÇÃO AS MEDIDAS EM FÍSICA

Aula VII - Setembro/2019

Exp. 4b – Corpos em Queda Livre

Prof. Cristiano L. P. Oliveira
Ed. Basilio Jafet, sala 202
crislpo@if.usp.br



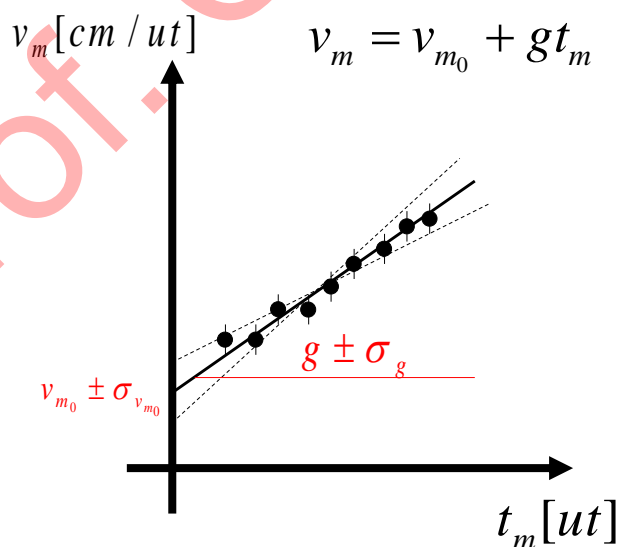
Equipamento utilizado para o estudo da queda do corpo. As faíscas provocadas pelos pulsos de alta tensão entre os dois fios marcam um papel encerado.

Análise de dados

- Como podemos verificar se o modelo da queda livre descreve o nosso experimento?
- Propostas:
 - Checar dependência linear entre velocidade ($v(t)$) e tempo (t)
 - Representação gráfica
 - Obter g a partir de ajustes de reta
 - Calcular valores esperados para g obtido
 - Compatibilidade entre x_0 e v_0 esperados

Fazer uma tabela e gráfico de v_m vs t_m

t_m (1/60)	v_m ()
0,5	
1	
2	
2,5	
4,5	
5	
6	
6,5	
8,5	
9	
10	
10,5	
...	



Hipótese sobre o movimento

- Um corpo em queda está sob a influência de uma força constante, a força da gravidade, portanto se movimenta com uma aceleração constante:

$$\vec{F} = m\vec{g} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Hipótese sobre o movimento

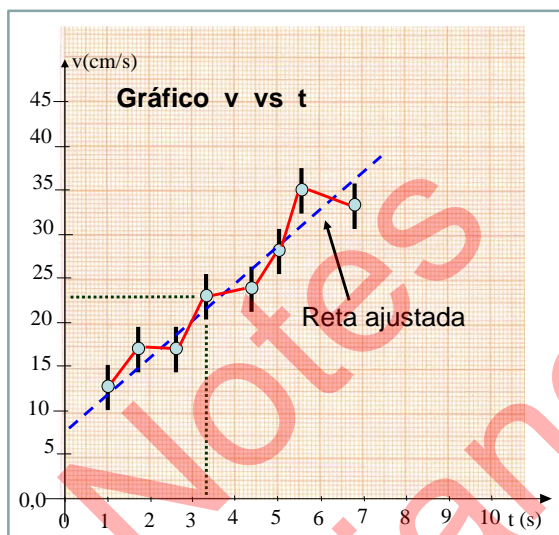
- Se essa hipótese estiver correta, o movimento de um corpo caindo livremente (sem outras forças agindo sobre ele além da gravidade) será dado por:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{g} \cdot t$$

$$\vec{x}(t) = \vec{x}_0 + \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{g}}{2} \cdot t^2$$

Representação gráfica

- Legendas
 - Variáveis + unidades
- Escalas
 - Múltiplos (x 10) de 1,2 ou 5
 - Marcar somente val de referência nos eixos
- Título
- Pontos experimentais
 - Valor + incerteza
 - Sem linhas de conexão
 - Sem linhas auxiliares
- Ajuste de curva
 - Normalmente reta



Extraindo parâmetros do ajuste

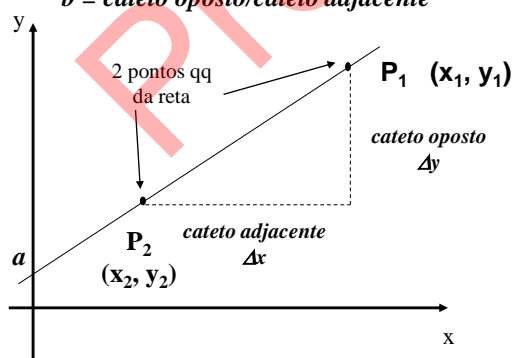
$$y = a + b x$$

Coef linear

Coef angular

$b = \text{cateto oposto} / \text{cateto adjacente}$

$$b = \frac{(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)}$$



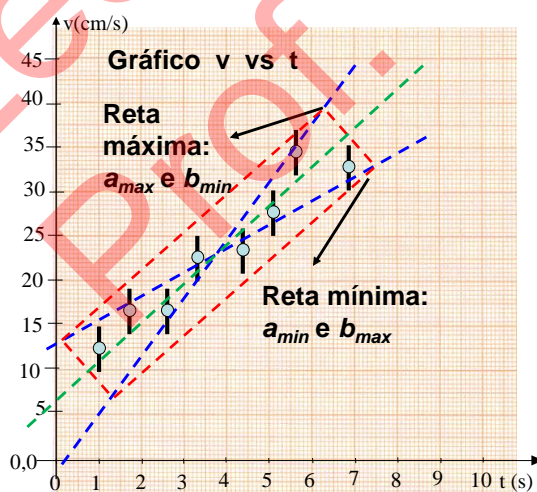
$$y = a + b \cdot x$$

$$v(t) = v_0 + g \cdot t$$

Análise Gráfica

- Qual é a incerteza de a (v_0) e b (g)? Como podemos estimá-la?
- Também o faremos graficamente:
 - tomando a reta de maior inclinação possível que ainda descrevem os pontos, o que determina os parâmetros máximo a_{max} e mínimo b_{min} ;
 - e a reta de menor inclinação possível que ainda descrevem os pontos, o que determina os parâmetros mínimo a_{min} e máximo b_{max} ;

Incerteza dos parâmetros



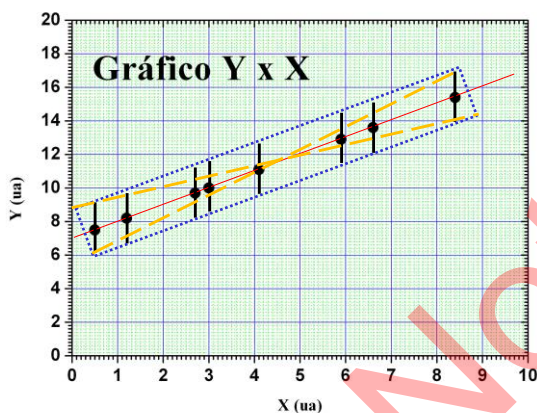
$$a = \frac{(a_{max} + a_{min})}{2}$$

$$b = \frac{(b_{max} + b_{min})}{2}$$

$$\Delta a = \frac{(a_{max} - a_{min})}{2}$$

$$\Delta b = \frac{(b_{max} - b_{min})}{2}$$

Incerteza dos parâmetros

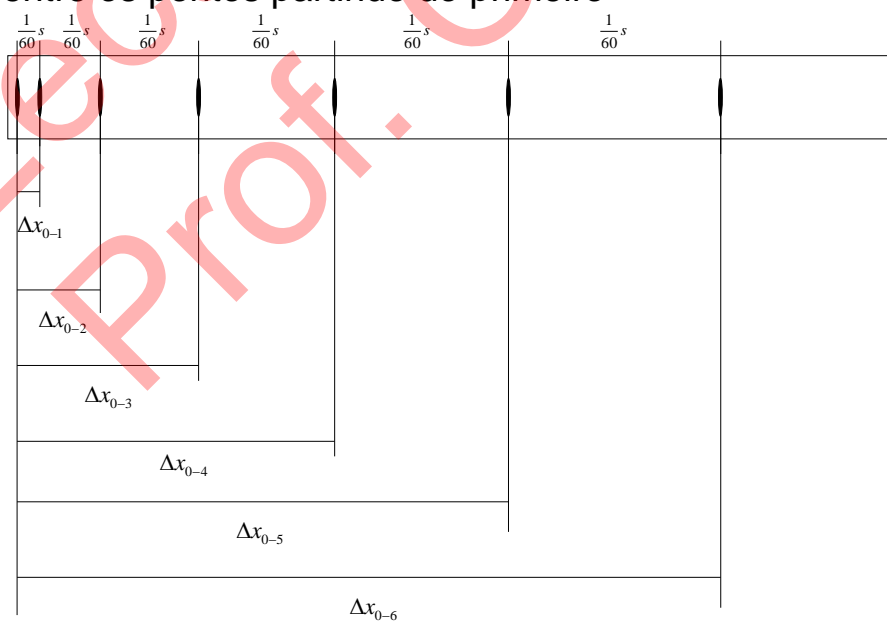


Usar precisão na leitura
Se não for possível traçar
um retângulo

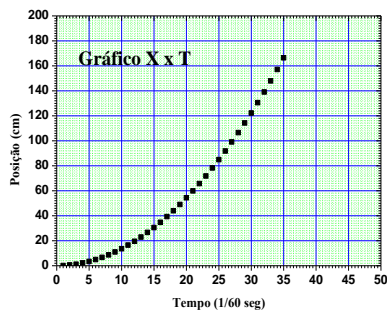
1/2 menor divisão da escala

Escala em x -
0,05
Escala em y -
0,1

Para poder construir $y(t) \times t$, meça as distâncias entre os pontos partindo do primeiro



Linearização de eixo



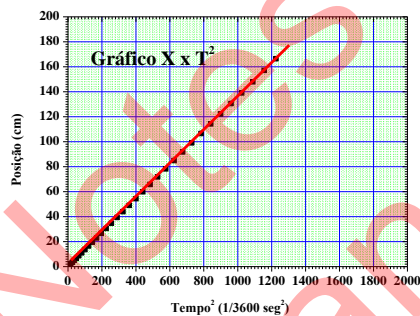
$$x = \frac{1}{2}gt^2 : \text{parábola}$$

redefinindo $q = t^2$

$$x = \frac{1}{2}gq : \text{reta}$$

Ajuste coeficiente angular

$$\frac{1}{2}g$$



Equação da Posição

$$y = y_0 - v_0 t_m + \frac{1}{2}gt_m^2$$

$$\text{Se } \begin{cases} y_0 = 0 \\ v_0 \approx 0 \end{cases}$$

$$y = \frac{1}{2}gt_m^2$$

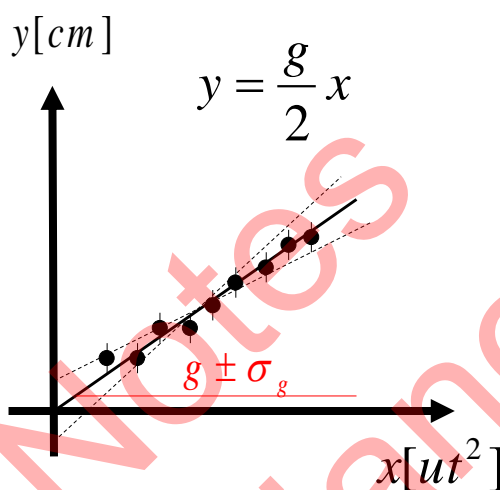
$$t_m^2 \rightarrow x$$

$$y = \frac{g}{2}x$$

Reta que deveria passar pela origem com inclinação igual a $g/2$

Fazer uma tabela e gráfico de y vs x

Intervalo de pontos	t_i (1/60)	$x=ti^2$	Δx_i ()
0-1	1	1	
0-2	2	4	
0-3	3	9	
0-4	4	16	
0-5	5	25	
0-6			
0-7			
0-8			
0-9			
0-10			
0-11			
0-12			
0-13			
0-14			
0-15			

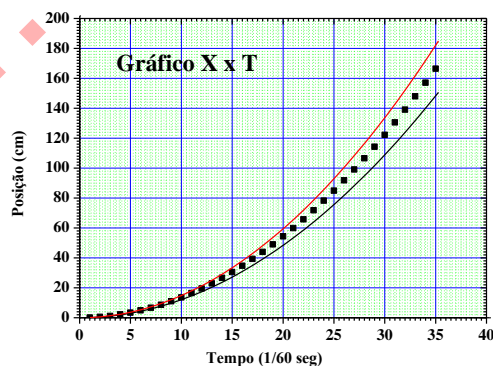


Simulação

Usar fórmula esperada

Estimar valores esperados para x de acordo com g obtido do ajuste

$$\begin{aligned} \text{Cálculos: } x_+ &= \frac{1}{2} (g + \sigma_g) t^2 \\ x_- &= \frac{1}{2} (g - \sigma_g) t^2 \end{aligned}$$



Análise de dados

- O parâmetro a (v_0) é coerente com um movimento que se iniciou no repouso? Quantas faíscas você desprezou para iniciar a escala de tempo ($t=0$)? Como avaliar se v_0 está dentro do esperado?
- E b é compatível com o valor da aceleração da gravidade? O IAG obteve o valor de $978,622 \text{ cm/s}^2$ para a aceleração da gravidade fazendo uma medida bastante precisa.

Queda livre sem resistência do ar

$$v(t) = v_0 + gt$$

$$y(t) = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} gt^2$$

v_0 é a velocidade inicial (m/s)

$v(t)$ é a velocidade vertical com respeito ao tempo (m/s)

y_0 é o ponto inicial (m)

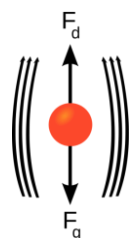
t é o intervalo de tempo (s)

g é a aceleração da gravidade local (m/s²)

Esta aproximação
vale em nosso
experimento?

Queda livre incluindo a resistência do ar

Velocidade Terminal



$$F_g = F_d$$

$$mg = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_D$$

$$v_\infty = \sqrt{\frac{2mg}{\rho A C_D}}$$

Dados para cálculo:

$$C_D = 0.48$$

$$\rho = 1.204 \text{ kg/m}^3 \text{ (T=20}^\circ\text{C)}$$

$$A = \pi R^2$$

Calcule a velocidade terminal para o corpo que utilizou no experimento. Para isso meça a massa do mesmo, o raio, e utiliza a fórmula acima

Utilize o resultado para justificar / criticar a aproximação feita no experimento

As conclusões se alterariam se utilizássemos um objeto oco, com massa 50 vezes menor? Discuta.

Atividade extra: para os corajosos e interessados...

Com os valores de g e v_∞ obtidos para o corpo sólido e oco, faça gráficos de $v(t)$ e $y(t)$, assumindo que o corpo parte do repouso ($v_0=0$) e da origem ($y_0=0$) em um intervalo de tempo de 0-1s. Trace no mesmo gráfico a aproximação sem resistência do ar e incluindo a resistência do ar.

Sem resistência do ar

$$v(t) = gt$$

$$y(t) = \frac{1}{2} gt^2$$

Incluindo a resistência do ar

$$v(t) = v_\infty \tanh\left(\frac{gt}{v_\infty}\right)$$

$$y = \frac{v_\infty^2}{g} \ln \cosh\left(\frac{gt}{v_\infty}\right)$$

O que se pode concluir da comparação destes dois gráficos? Discuta

Relatório / Entregar no dia da prova!

- Resumo de todo o experimento. Nesta parte você deve descrever em poucas linhas do que se tratou o experimento e uma prévia dos resultados obtidos.
- Introdução ao problema.
- Descrição do modelo teórico aplicado ao problema
- Descrição detalhada do aparato experimental e procedimento de medida. Descrever as formas de análise dos dados. Se realizou propagação de erros, apresentar a demonstração das fórmulas (dúvidas, me procure!!!).
- Tabelas dos dados primários para os dois dias / guia de aula.
- Tabela com os valores v vs. ut calculados + incertezas.
- Gráfico de v vs ut . Aproximação por uma reta e obtenção da melhor reta utilizando o método gráfico (dúvidas, veja apostila do curso pag 58-61)
- Escreva as equações de movimento para o seu corpo com os valores obtidos desta aproximação.
- Obtenha a média ponderada da aceleração da gravidade para os dados do grupo. Como esse valor se compara com o valor informado pelo IAG ($9.7864(1)\text{m/s}^2$)? São compatíveis em 3 sigmas?
- Faça o gráfico dos pontos obtidos em sala e trace a curva teórica de $y(t)$ vs. t .
- Calcular a velocidade terminal do objeto e de um objeto similar, mas oco, e com massa 50 vezes menor
- Apresente considerações sobre a velocidade terminal do objeto e como isso suporta/não suporta, a utilização do modelo proposto. Realizar considerações também para o caso o objeto ser oco, com massa 50 vezes menor. Se realizar a atividade extra, incluir os gráficos nesta análise.
- Conclua sobre os resultados experimentais, aplicação do modelo teórico utilizado, limitações deste modelo e da estimativa da aceleração da gravidade.

Preparação para a prova

- Reveja os exercícios e atividades realizadas nos experimentos
- Reveja os procedimentos de análise, interpretação e modelagem de dados nos experimentos realizados
- Veja os Relatórios!
- Aulas de revisão: Terça 17-18h, Quarta 17-18h, em uma das salas do laboratório didático, Profa. Amanda.
- **Sexta-Feira, 27/09/2019, entre 11h e 13h estarei em minha sala entregando os relatórios 2 e 3, exercícios corrigidos bem como tirando dúvidas para a prova. Fico no Edifício Basilio Jafet, sala 202.**

Local da prova

Auditório Novo 2

08h00-12h00

Mãos a obra!!!

