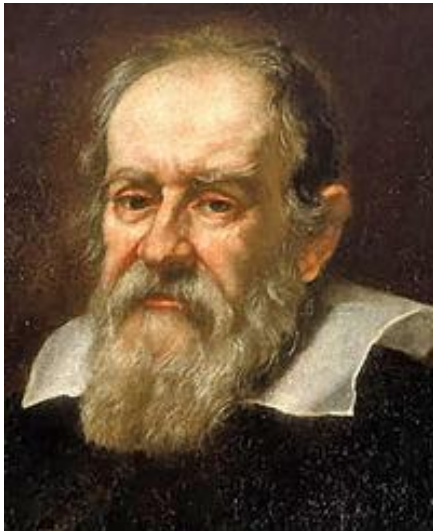


Módulo 2 – As Leis do Movimento

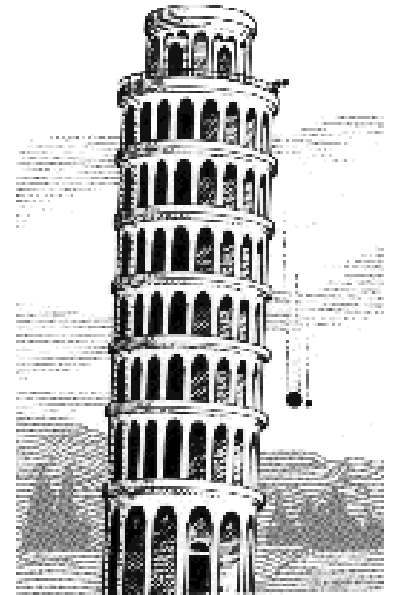
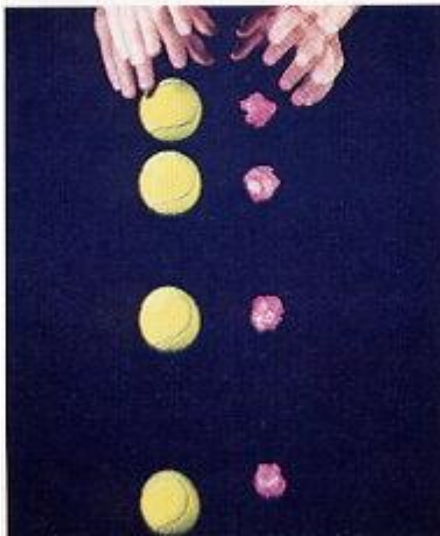
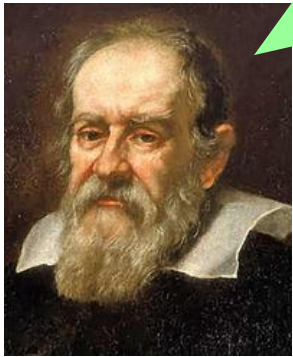
Objetivo: Medir a aceleração da gravidade g

Aristóteles (séc. IV a.C.): “Quatro Elementos” (Água, Ar, Terra e Fogo), cada um com seu “lugar natural”. Corpos mais pesados deveriam cair mais rapidamente

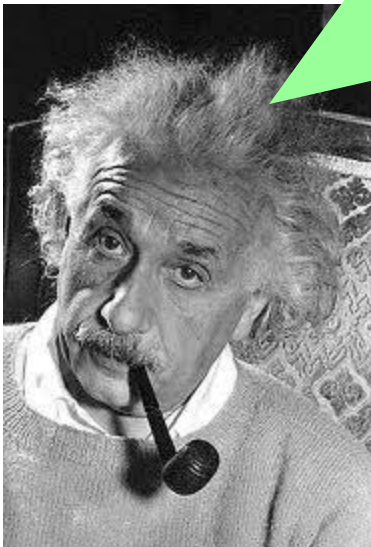
Galileu: “Discursos e Demonstrações Matemáticas sobre Duas Novas Ciências” (1638), escrito em forma de diálogos



Salviati (Galileu): "Aristóteles diz que uma bola de ferro de 100 libras, caindo de 100 cúbitos, atinge o solo antes que uma bala de uma libra tenha caído de um só cúbito. Eu digo que chegam ao mesmo tempo. Fazendo a experiência, você verifica que a maior precede a menor por 2 dedos; você não pode querer esconder nesses 2 dedos os 99 cúbitos de Aristóteles..."



Resultados obtidos apenas através de argumentações lógicas são completamente vazios de realidade. Porque Galileu enxergou isso, e particularmente porque ele propagou repetidamente esta idéia pelo mundo científico, ele é o pai da física moderna – de fato, de toda a ciência moderna.



Einstein

Filme: queda livre na Lua (Apolo 15, NASA)
http://www.youtube.com/watch?v=5C5_dOEyAfk



Massa e peso

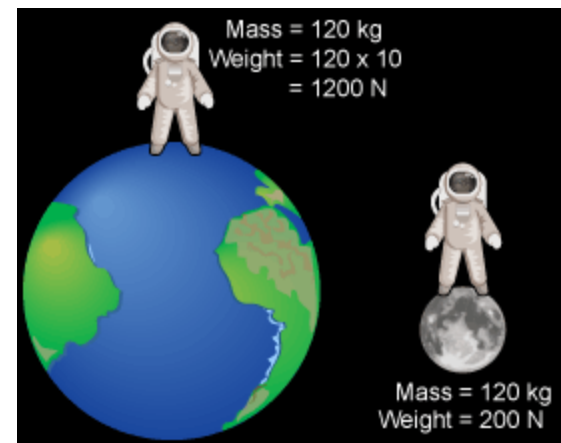
$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

- Massa como medida da **inércia** (capacidade de resistir a tentativas de variações de velocidade): **massa inercial**
- Mede a **quantidade de matéria** de um objeto

Peso: força de atração gravitacional exercida pela Terra sobre um corpo

$$\vec{P} = m\vec{g} : \text{define a massa gravitacional}$$

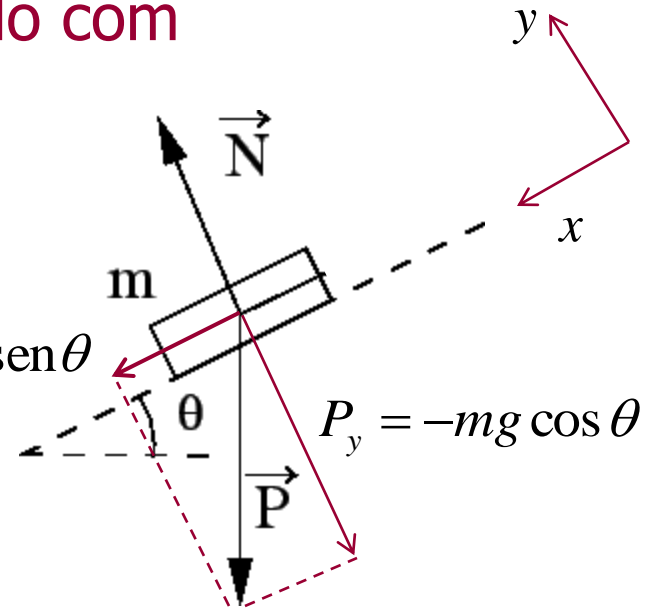
Experiências mostram a equivalência entre massa inercial e massa gravitacional com precisão maior que uma parte em 10^{12}



Experimentos em um plano inclinado com ângulo variável

Modelo teórico: eliminando o atrito, as únicas forças que atuam sobre o bloco são a normal e o peso

$$P_x = mg \operatorname{sen} \theta$$



Decompondo-se as forças:

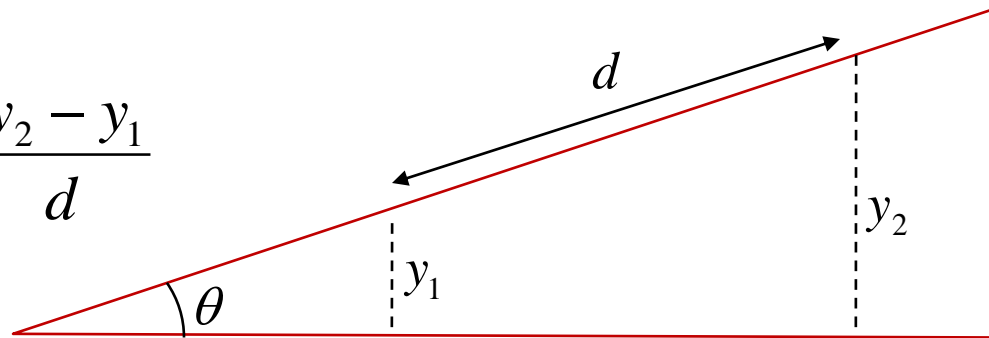
$$\begin{cases} \sum F_x = mg \operatorname{sen} \theta \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \quad mg \operatorname{sen} \theta = ma \quad \Rightarrow \quad a = g \operatorname{sen} \theta$$

Estratégia: medir a aceleração para diferentes valores do ângulo e, a partir daí, obter o valor de g

Repetir o procedimento para 4 valores do ângulo

1. Medir o seno do ângulo:

$$\text{sen } \theta = \frac{y_2 - y_1}{d}$$



2. Deixar o carrinho descer o trilho e medir $x(t)$. Desta vez, usamos o centelhador na frequência de 60 Hz.

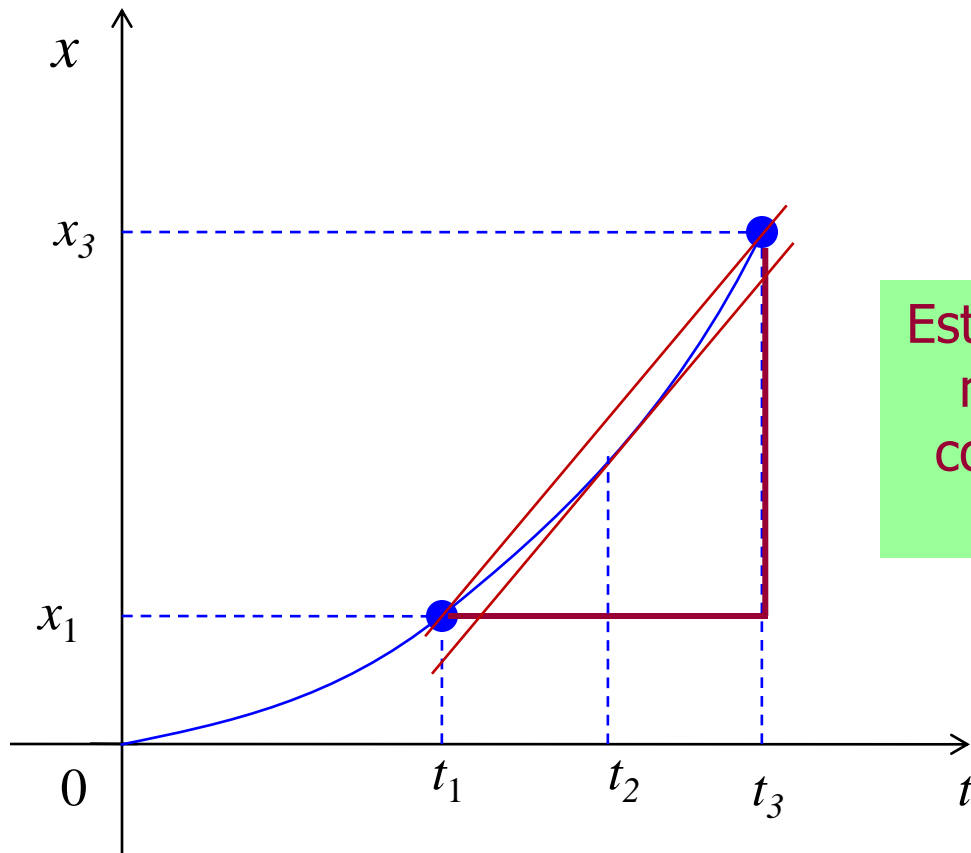
3. Construir a seguinte tabela:

t(s)	x(cm)	δx (cm)	v (cm/s)	δv (cm/s)
0,00
0,05
0,10

Como obter a velocidade a partir da posição?

Velocidade média entre t_1 e t_3 é aproximadamente igual à velocidade instantânea em t_2 :

$$v_{media}^{1 \rightarrow 3} = \frac{x_3 - x_1}{t_3 - t_1} \approx v_2$$



Esta relação é exata no caso do movimento com aceleração constante (tente mostrar isso no seu relatório!)

Como obter a incerteza na velocidade?

$$v_2 = \frac{x_3 - x_1}{t_3 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Sabemos que a incerteza em x_1 e x_3 vale $\delta x = 0,1$ cm. Podemos desprezar a incerteza na medida do tempo. Quanto vale a incerteza na velocidade?

Fórmulas para propagação de incerteza:

$$f = x \pm y \Rightarrow \delta f = \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}$$

$$f = cx \Rightarrow \delta f = c \delta x$$

No nosso caso específico: $\delta v = \frac{\delta(\Delta x)}{\Delta t} = \frac{\delta(\Delta x)}{(0,1\text{s})}$

$$\delta(\Delta x) = \sqrt{\delta x_i^2 + \delta x_{i+2}^2} = \sqrt{(0,1 \text{ cm})^2 + (0,1 \text{ cm})^2} = \sqrt{2} \times 0,1 \text{ cm} \approx 0,14 \text{ cm}$$

$$\delta v = 1 \text{ cm/s}$$

Podemos agora fazer os 4 gráficos $v(t)$ (fim da primeira aula)

Obtendo a aceleração para cada valor do ângulo

A partir do gráfico $v(t)$, podemos obter a aceleração do carrinho em cada caso (coeficiente angular). Desta vez, em vez de utilizarmos o ajuste visual, faremos o ajuste por um programa de computador. O programa nos fornece a aceleração e sua incerteza em cada caso.

Arredondamento e algarismos significativos

Vamos supor que o programa de ajuste nos forneceu os seguintes valores para a aceleração e sua incerteza:

$$a = 14,857142 \text{ cm/s}^2 \quad \text{e} \quad \delta a = 2,67332 \text{ cm/s}^2$$

Notamos que temos muito mais algarismos significativos do que podemos ter, considerando a incerteza em nossa medida. O procedimento para encontrar a maneira correta de expressar esse resultado envolve duas etapas:

1. Arredondamos o valor da incerteza para que tenha apenas 1 algarismo significativo: $\delta a = 3 \text{ cm/s}^2$
2. No valor da aceleração, mantemos algarismos significativos até aquele correspondente ao valor da incerteza: $a = 15 \text{ cm/s}^2$

Assim, a maneira correta de escrever nosso resultado é: $a = (15 \pm 3) \text{ cm/s}^2$

Utilizaremos esse procedimento não apenas para a aceleração, mas para todas as grandezas físicas que analisaremos durante o curso.

Vamos agora construir a seguinte tabela:

sen θ	$\delta(\text{sen } \theta)$	a (cm/s ²)	δa (cm/s ²)	g=a/sen θ (cm/s ²)	δg (cm/s ²)
...
...
...
...

Para isso, precisamos saber como calcular a incerteza em sen θ e g...

Mais uma fórmula para propagação de incertezas:

$$f = \frac{x}{y} \Rightarrow \delta f = |f| \sqrt{\left(\frac{\delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\delta y}{y}\right)^2}$$

No nosso caso específico:

$$\text{sen } \theta = \frac{y_2 - y_1}{d} = \frac{\Delta y}{d} \Rightarrow \delta(\text{sen } \theta) = \text{sen } \theta \sqrt{\left(\frac{\delta(\Delta y)}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2}$$

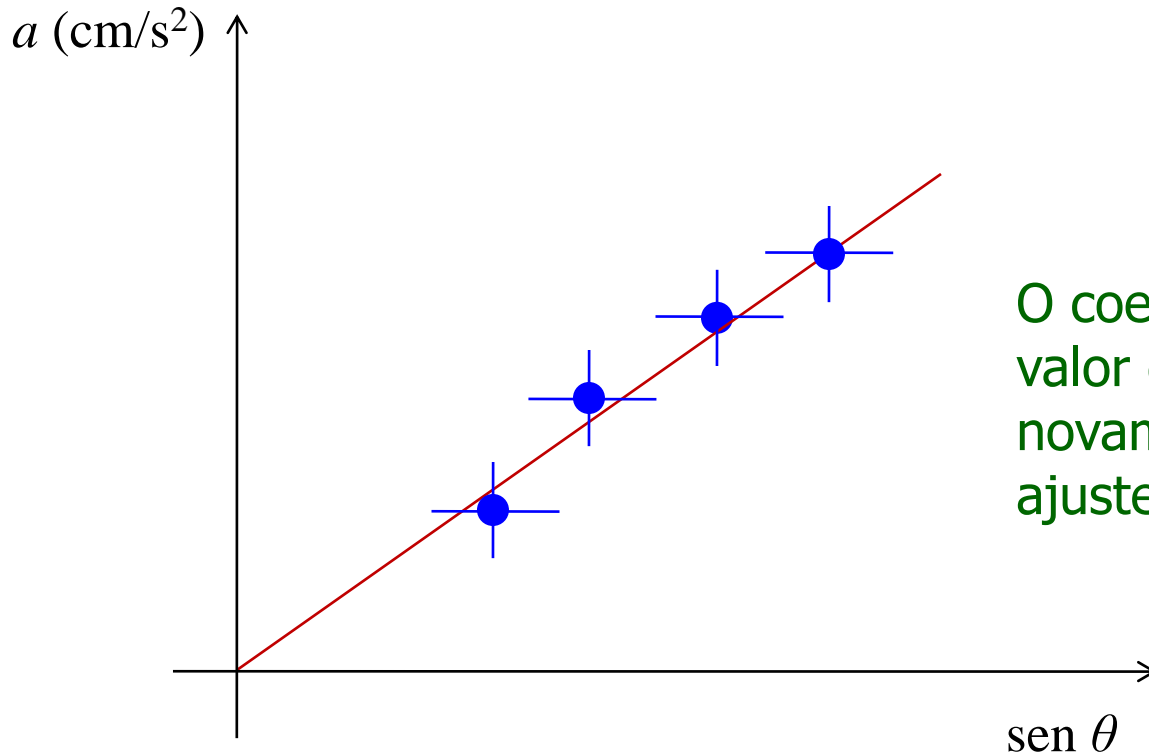
Como $\Delta y = y_2 - y_1$, então $\delta(\Delta y) = \sqrt{\delta y_2^2 + \delta y_1^2}$

É razoável estimar: $\delta y_1 = \delta y_2 = 0,2 \text{ cm}$ e $\delta d = 0,1 \text{ cm}$

Finalmente, a incerteza em g:

$$g = \frac{a}{\text{sen } \theta} \Rightarrow \delta g = g \sqrt{\left(\frac{\delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\delta(\text{sen } \theta)}{\text{sen } \theta}\right)^2}$$

Podemos ainda obter o valor de g pelo gráfico a vs. $\text{sen } \theta$:



O coeficiente angular será o valor de g . Vamos usar novamente o programa de ajuste.

Isto termina a nossa experiência, e estamos finalmente prontos para responder a pergunta: qual o valor da aceleração da gravidade nos laboratórios de Física Experimental I da UFRJ???

(Trazer o relatório pronto na próxima aula)