

Física I

LEIC-T 2021-2022

Prof. Pedro Abreu
pedro.t.abreu@tecnico.ulisboa.pt
1ª Aula

Sistemas de medidas, análise dimensional, incertezas/erros
Cinemática do ponto material.
Movimento de um ponto material no espaço-tempo a 1D.
Movimento de um ponto material no espaço-tempo a 2D.

O facto mais incompreensível sobre o Universo é o de que parece ser compreensível!

Albert Einstein (1879 – 1955; Prémio Nobel 1921)

As forças fundamentais na natureza

- Forças **nucleares** (descobertas apenas no século XX – 1^{as} “teorias” em 1934):
 - **Fraca**, de alcance muitíssimo curto ($\approx 10^{-18}$ m), apenas entre partículas elementares
 - **Forte**, muitíssimo intensa quando a distância entre quarks é $>10^{-15}$ m, para **anular a “cor”** ao juntar quarks (r, g, b) e anti-quarks (anti- r , anti- g , anti- b) em partículas compostas (protão, neutrão,...), levando a um alcance limitado ao tamanho \approx protão
 - **Forte residual**, entre prótons e nêutrons, muito intensa, limitada aos núcleos
- Força **elétrica** provocada por cargas elétricas (Coulomb), bastante intensa ($\approx 10^{10} qQ/r^2$ [N]), atrativa entre cargas opostas e repulsiva entre cargas do mesmo sinal, **que se anula quando a carga total é nula**
- Força **elétrica residual** ($\approx 10^{10} qQd/r^3$ [N]) entre átomos neutros, para formar moléculas, **redes cristalinas, sólidos, líquidos, etc.** Anulam-se quando opostas.
- Força **magnética** [provocada por cargas elétricas em movimento (Ampère)] de intensidade \approx força elétrica residual, **que se anulam com correntes opostas.**
- Força **gravítica**, muito muito fraca ($\approx 10^{-11} mM/r^2$ [N]), mas as massas somam-se todas
- À escala do Universo, anulam-se TODAS as forças EXCEPTO a GRAVÍTICA
- À nossa escala, \approx **tudo** é dominado pelas **forças elétricas (eletromagnéticas)!**

Mecânica e Ondas

O Universo está escrito numa linguagem geométrica e só quem dominar essa linguagem poderá compreender a sua evolução! ()*

(*) Galileo Galilei, 1564-1642

Sistemas de medidas

- **S.I.:** m, kg, s, K, A, candela, mol (e N, J, W)
 - cgs: cm, g, s, ... (e dyn, erg, erg/s)
 - UK/US: inch, pound, s, °F, ... (e lb_F, BTU, ...)
 - Natural units (h=c=1): fm, GeV, s, ...
-
- **1 kg = (h / 6.626 070 15 x 10⁻³⁴) m⁻² s⁻¹**
 - **1 s = 9 192 631 770 T**(transição hiperfina ¹³³Cs)
 - **1 m = distância viajada**
pela luz no vazio em
1 s/299 792 458
(c ≡ 299 792 458 m/s ~3x10⁸ m/s)



Análise Dimensional:

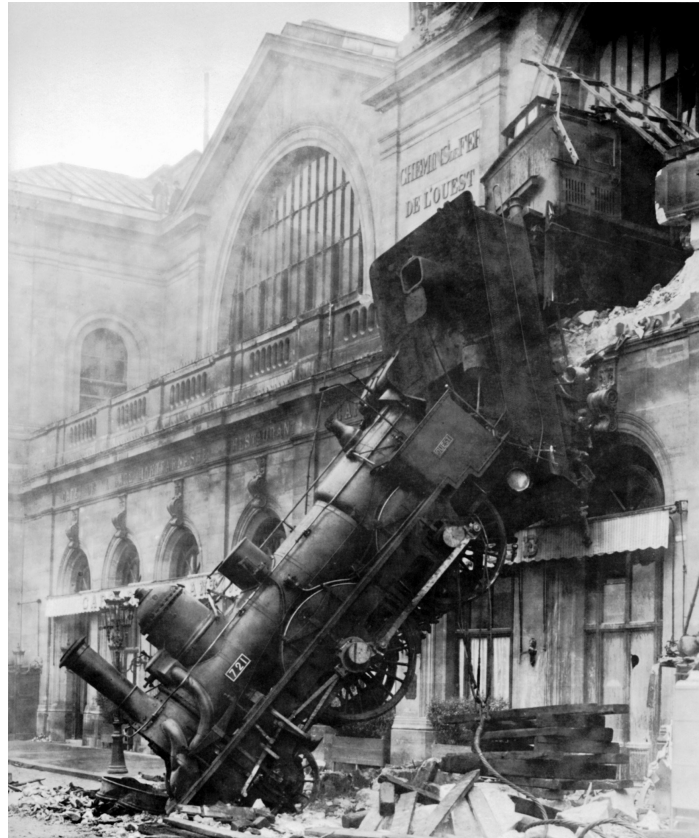
$$[1/2 mv^2] = ML^2T^{-2} = M.LT^{-2}.L =$$

$$[m.a.\Delta s] = [F.\Delta s] = N.m = \text{Joule} = [\text{Energia}]$$



**My goodness, it's
12:15:0936420175.
Time for lunch**

Incertezas de medida



Granville-Paris Express wreck on October 22, 1895.

Desvio Padrão (R.M.S.)

$$\delta M_{stat} \equiv \sigma \equiv \sqrt{\text{Var}(M)} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}$$

↑	Menor Erro Sistemático	Maior Erro Sistemático
Menor Erro Estatístico		
Maior Erro Estatístico		

Propagação de erros:

$$(\delta f)^2 = (\delta f_{stat})^2 + (\delta f_{syst})^2$$

$$(\delta f_s)^2 = \sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_k} \cdot \delta X_k \right)^2}$$

Média Ponderada: n medidas $M_i \pm \sigma_i \Rightarrow \bar{M} \pm \sigma$

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \left(\frac{\sum_{k=1}^n \frac{M_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}} \right) \quad \Bigg| \quad \sigma = \frac{1}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}}$$

$$\delta(a + b) = \sqrt{(\delta a)^2 + (\delta b)^2}$$

$$\frac{\delta(a \cdot b)}{a \cdot b} = \sqrt{\left(\frac{\delta a}{a} \right)^2 + \left(\frac{\delta b}{b} \right)^2}$$

Evolução das escalas de espaço e de tempo

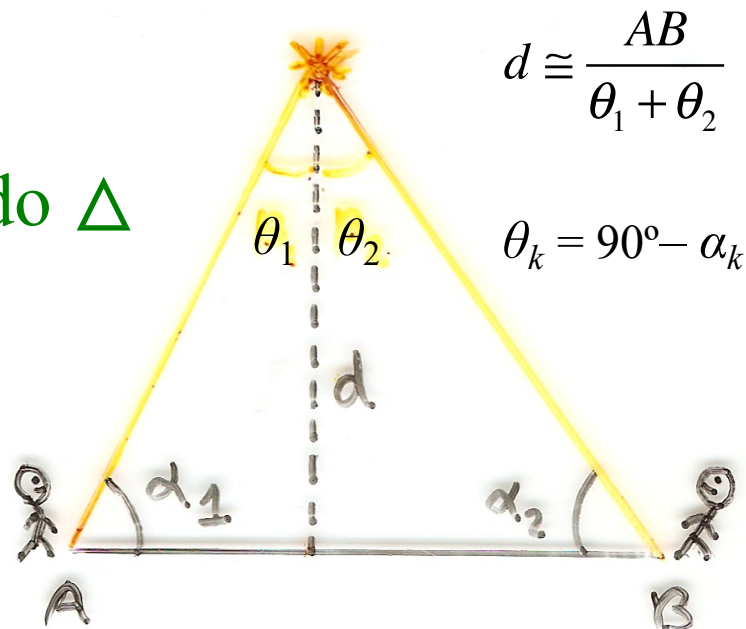
	Espaço		Tempo	
	Min	Max	Min	Max
Homem Primitivo	$\sim 10^{-5} \text{ m}$	$\sim 10^5 \text{ m}$	$\sim 1 \text{ s}$	$\sim 10^2 \text{ anos}$
Séc. II				
Séc. XIX				
Séc. XX				

Medir distâncias

Andando ...



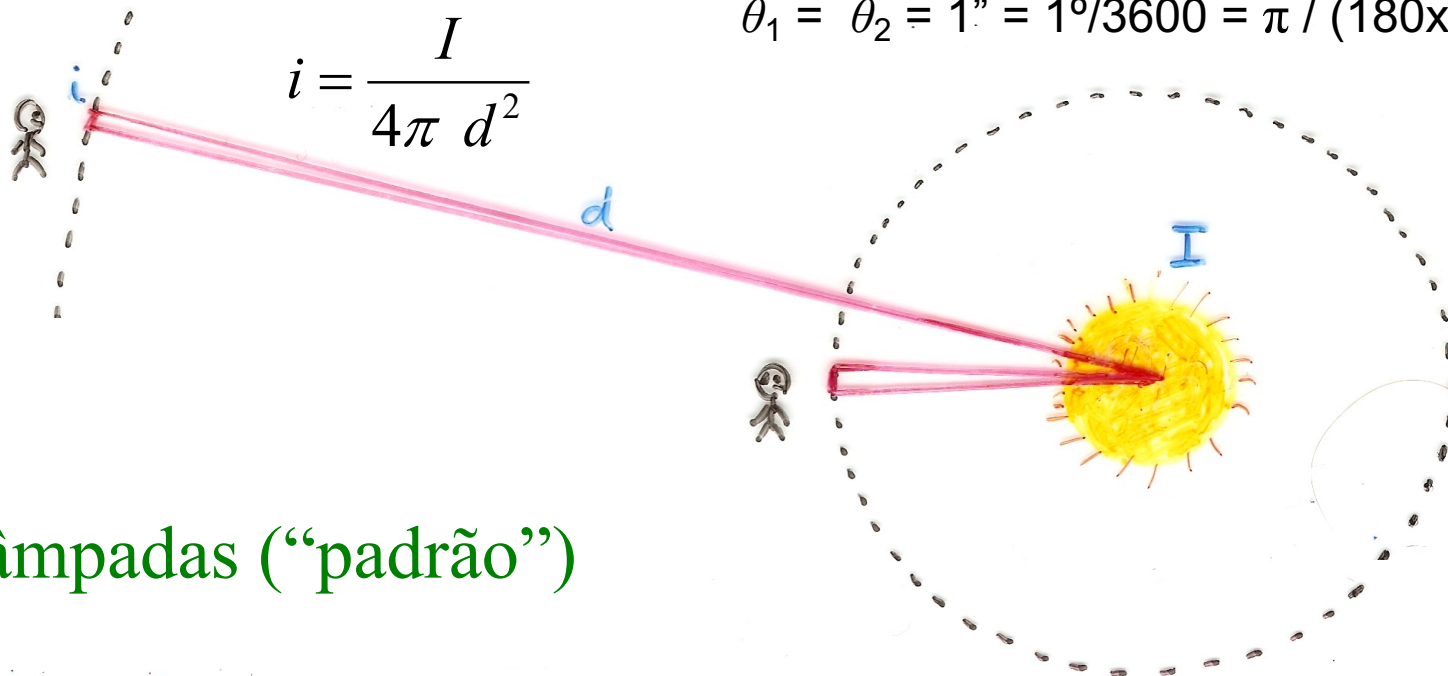
Fazendo Δ



$$d \cong \frac{AB}{\theta_1 + \theta_2}$$

$$\theta_k = 90^\circ - \alpha_k$$

$d = 1$ parsec quando $AB = 2d_{TS} = 3 \times 10^{11}$ m e $\theta_1 = \theta_2 = 1'' = 1^\circ/3600 = \pi / (180 \times 3600)$



$$i = \frac{I}{4\pi d^2}$$

Tendo lâmpadas (“padrão”)

Fazer triângulos ...

Grécia
(129 AC)



Lua
 3.8×10^5 km

base 700 km

Hipparchus

Hoje laser: ± 1 m

Sec. XVII



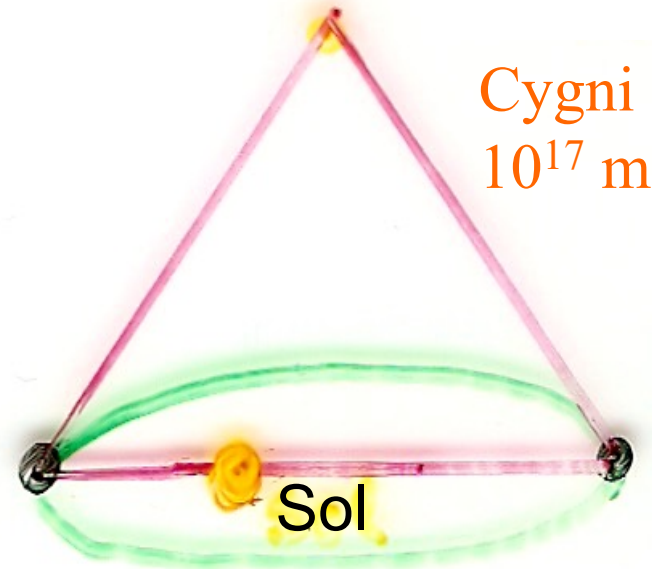
Marte
 7.8×10^9

base 10 000 km

Cassini e Richer

Hoje radar: ± 1 km

Sec. XIX



Cygni
 10^{17} m

base 3×10^{11} m

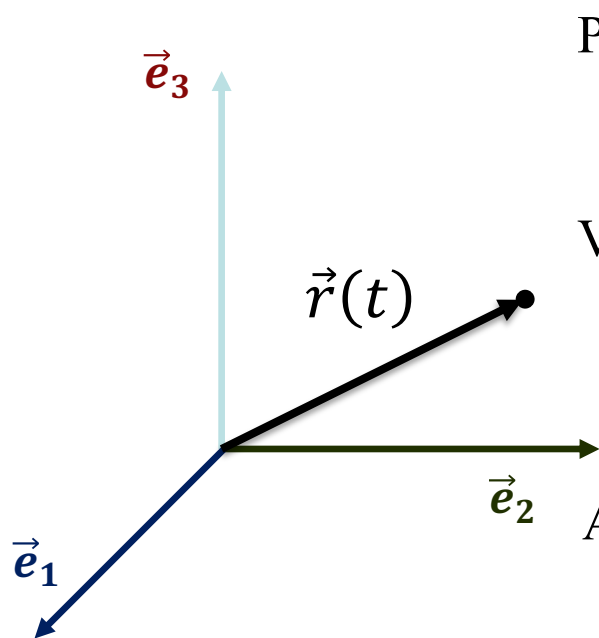
Bessel

Hoje : ± 0.5 %

1 ano-luz = $9,46 \times 10^{15}$ m 1 pc (parsec) = $3,086 \times 10^{16}$ m = 3,26 anos-luz

Cinemática

Descreve-se o movimento com Vetores e Sistemas de Coordenadas:



Posição: $\vec{r} \equiv \vec{r}(t) = q_1(t)\vec{e}_1(t) + q_2(t)\vec{e}_2(t) + q_3(t)\vec{e}_3(t)$

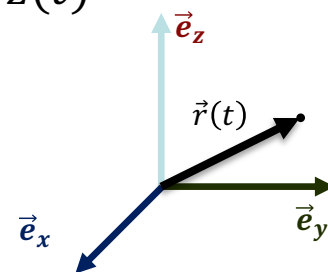
Velocidade: $\vec{v} \equiv \vec{v}(t) \equiv \frac{d\vec{r}}{dt} \equiv \dot{\vec{r}}$
 $= \vec{e}_1\dot{q}_1 + \vec{e}_2\dot{q}_2 + \vec{e}_3\dot{q}_3 + q_1\dot{\vec{e}}_1 + q_2\dot{\vec{e}}_2 + q_3\dot{\vec{e}}_3$

Aceleração: $\vec{a} \equiv \vec{a}(t) \equiv \frac{d\vec{v}}{dt} \equiv \dot{\vec{v}} \equiv \ddot{\vec{r}} = \vec{e}_1\ddot{q}_1 + \dots$

Coordenadas Cartesianas: $\vec{e}_1(t) = \vec{e}_x$ $\vec{e}_2(t) = \vec{e}_y$ $\vec{e}_3(t) = \vec{e}_z$ = constantes

$q_1(t) = x(t)$ $q_2(t) = y(t)$ $q_3(t) = z(t)$

Triedro direto: $\vec{e}_x \times \vec{e}_y = \vec{e}_z$ (regra da mão direita)



Leis do Movimento

Posições e Velocidades em função do tempo: $\vec{r}(t)$, $\vec{v}(t)$

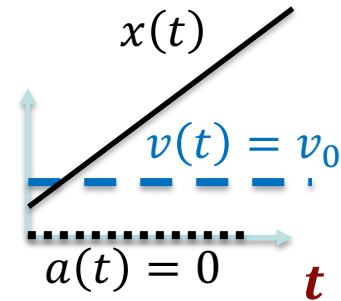
1D

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{e}_x \Rightarrow x(t) \quad \vec{v}(t) = \dot{x}(t)\vec{e}_x = v(t)\vec{e}_x \Rightarrow v(t)$$

$$\vec{a}(t) = \ddot{x}(t)\vec{e}_x = a(t)\vec{e}_x \Rightarrow a(t)$$

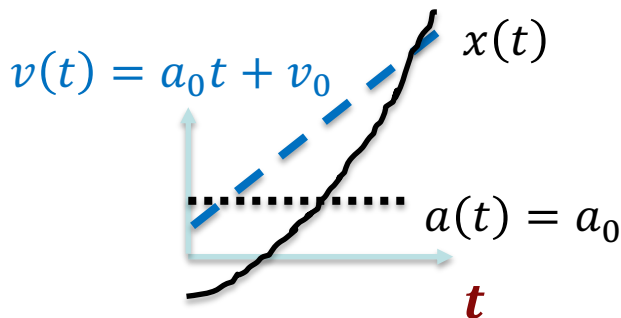
Movimento uniforme: velocidade constante (aceleração nula)

$$v(t) = v_0 \Leftrightarrow \dot{x} = v_0 \Leftrightarrow x(t) = v_0 t + x_0$$



Movimento uniformemente acelerado: **aceleração constante**

$$a(t) = a_0 \Leftrightarrow \dot{v} = a_0 \Leftrightarrow v(t) = a_0 t + v_0 \Leftrightarrow x(t) = \frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t + x_0$$



Movimento acelerado: aceleração diferente de zero: $a(t)$

$$v(t) = \int_0^t a(t') dt' + v_0 ;$$

Caso Geral

$$x(t) = \int_0^t \left(\int_0^{t'} a(t'') dt'' \right) dt' + v_0 t + x_0$$

Leis do Movimento

MAS SE Movimento uniformemente acelerado (aceleração constante):

$$a(t) = a_0 \Leftrightarrow \dot{v} = a_0 \Leftrightarrow v(t) = a_0 t + v_0 \Leftrightarrow x(t) = \frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t + x_0$$

$$\text{Com } t = \frac{v(t) - v_0}{a_0} \Leftrightarrow x(t) = \frac{1}{2} a_0 \left(\frac{v - v_0}{a_0} \right)^2 + v_0 \frac{v - v_0}{a_0} + x_0 \Leftrightarrow$$

$$x(t) - x_0 = \frac{1}{2a_0} (v^2 - 2vv_0 + v_0^2 + 2v_0v - 2v_0^2) \Leftrightarrow$$

$$a(t) = a_0 \Leftrightarrow v(t)^2 = v_0^2 + 2a(x(t) - x_0)$$

Exemplos:

