

## Parte 1 - Medição e sistemas de medida

### 1- Introdução

A física começa com a observação. Para entender o que é a física é preciso observar a natureza, os fenômenos naturais que essa ciência visa explicar e compreender. A Física investiga os fenômenos e as estruturas mais fundamentais da natureza, possibilitado que a humanidade compreenda aspectos cada vez mais complexos. Desta forma, o homem pode criar sistemas, dispositivos e materiais artificiais que tem contribuído para o progresso tecnológico.

### 2 – Medindo grandezas

Medimos cada grandeza física em unidades apropriadas por comparação com um padrão. Por exemplo, o padrão de comprimento, que corresponde a exatamente 1 m, é a distância percorrida pela luz, no vácuo, durante uma certa fração de segundo. Em princípio, podemos definir uma unidade e seu padrão de qualquer forma, mas é importante que cientistas em diferentes partes do mundo concordem que nossas definições são ao mesmo tempo razoáveis e práticas.

### 3 – O Sistema Internacional de Unidades (SI) e a Notação Científica

Existem sete grandezas fundamentais, as quais constituem a base do Sistema Internacional de Unidades. Elas são mostradas na tabela abaixo. No nosso curso, utilizaremos apenas as três primeiras grandezas: **Comprimento, Massa e Tempo**.

Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Corrente elétrica	ampère	A
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de matéria	mol	mol <sup>[2]</sup>
Intensidade luminosa	candela	cd

Muitas outras unidades derivadas do SI são definidas em termos destas unidades acima.

Para expressarmos grandezas muito grandes ou muito pequenas frequentemente encontradas na física usamos a notação científica, que emprega potência de 10. Nesta notação temos por exemplo:

$$3\,560\,000\,000\text{ m} = 3,56 \times 10^9\text{ m e}$$
$$0,000\,000\,492\text{ s} = 4,92 \times 10^{-7}\text{ s.}$$

#### Prefixos das Unidades do SI

Fator	Prefixo <sup>a</sup>	Símbolo
10 <sup>24</sup>	iota-	Y
10 <sup>21</sup>	zeta-	Z
10 <sup>18</sup>	exa-	E
10 <sup>15</sup>	peta-	P
10 <sup>12</sup>	tera-	T
<b>10<sup>9</sup></b>	<b>giga-</b>	<b>G</b>
<b>10<sup>6</sup></b>	<b>mega-</b>	<b>M</b>
<b>10<sup>3</sup></b>	<b>quilo-</b>	<b>k</b>
10 <sup>2</sup>	hecto-	h
10 <sup>1</sup>	deca-	da
10 <sup>-1</sup>	deci-	d
<b>10<sup>-2</sup></b>	<b>centi-</b>	<b>c</b>
<b>10<sup>-3</sup></b>	<b>mili-</b>	<b>m</b>
<b>10<sup>-6</sup></b>	<b>micro-</b>	<b>μ</b>
<b>10<sup>-9</sup></b>	<b>nano-</b>	<b>n</b>
<b>10<sup>-12</sup></b>	<b>pico-</b>	<b>p</b>
10 <sup>-15</sup>	femto-	f
10 <sup>-18</sup>	ato-	a
10 <sup>-21</sup>	zepto-	z
10 <sup>-24</sup>	iocto-	y

<sup>a</sup>Os prefixos mais usados aparecem em negrito.

Nos computadores a notação científica às vezes assume uma forma mais abreviada, como 3,56 E9 ou 4,92 E-7, onde E é usado para designar o “expoente de dez”. em algumas calculadoras a notação é ainda mais abreviada, com o E substituído por um espaço em branco. Também por conveniência, quando lidamos com grandezas muito grandes ou muito pequenas usamos prefixos. Os prefixos do SI permitem escrever quantidades sem o uso da notação científica, de maneira mais clara para quem trabalha em uma determinada faixa de valores. Assim, podemos expressar uma certa potência elétrica como  $1,27 \times 10^9 \text{ watts} = 1,27 \text{ gigawatt} = 1,27 \text{ GW}$  ou um certo intervalo de tempo como  $2,35 \times 10^{-9} \text{ s} = 2,35 \text{ nanosegundos} = 2,35 \text{ ns}$ .

### Exemplo

Quando, segundo a lenda, Feidípides correu de Maratona até Atenas, em 490 a.C., para levar a notícia da vitória dos gregos sobre os persas, ele provavelmente correu a uma velocidade de cerca de 23 rides por hora (rides/h). O ride é uma antiga unidade grega para comprimento, como o stadium e o plethron: 1 ride valia 4 stadia, 1 stadium valia 6 plethra e, em termos de uma unidade moderna, 1 plethron equivale a 30,8 m. Qual foi a velocidade de Feidípides em quilômetros por segundo (km/s)?

#### IDÉIA-CHAVE

No método de conversão em cadeia escrevemos os fatores de conversão como razões que eliminem as unidades indesejáveis.

**Cálculo:** Nesse caso, temos

$$\begin{aligned} 23 \text{ rides/h} &= \left( 23 \frac{\cancel{\text{rides}}}{\cancel{\text{h}}} \right) \left( \frac{4 \cancel{\text{stadia}}}{1 \cancel{\text{ride}}} \right) \left( \frac{6 \cancel{\text{plethra}}}{1 \cancel{\text{stadium}}} \right) \\ &\times \left( \frac{30,8 \cancel{\text{m}}}{1 \cancel{\text{plethron}}} \right) \left( \frac{1 \text{ km}}{1000 \cancel{\text{m}}} \right) \left( \frac{1 \cancel{\text{h}}}{3600 \text{ s}} \right) \\ &= 4,7227 \times 10^{-3} \text{ km/s} \approx 4,7 \times 10^{-3} \text{ km/s.} \end{aligned}$$

(Resposta)

## 4 – Comprimento

Em 1792, o metro foi definido como um décimo de milionésimo da distância entre o pólo norte e o equador. Mais tarde, por razões práticas, esse padrão foi abandonado e o metro veio a ser definido como a distância entre duas linhas finas gravadas perto das extremidades de uma barra de platina-irídio, a barra do metro padrão, mantida no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, nas vizinhanças de Paris. Réplicas precisas desta barra foram enviadas a laboratórios de padronização em várias partes do mundo.

Com o passar do tempo, um padrão mais preciso se tornou necessário. Em 1983, o metro foi definido como: ***O metro é a distância percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de 1/299 792 458 de segundo.*** Este intervalo de tempo foi escolhido para que a velocidade da luz  $c$  seja exatamente  $C = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ . Nesta ocasião, as medidas da velocidade da luz já haviam se tornado precisas.

### Exemplo

O maior novelo do mundo tem cerca de 2 m de raio. Qual é a ordem de grandeza do comprimento  $L$  do fio que forma o novelo?

#### IDÉIA-CHAVE

Poderíamos, evidentemente, desenrolar o novelo e medir o comprimento  $L$  do fio, mas isso daria muito trabalho, além de deixar o fabricante do novelo muito insatisfeito. Em vez disso, como estamos interessados apenas na ordem de grandeza, podemos estimar as grandezas necessárias para fazer o cálculo.

**Cálculos:** Vamos supor que o novelo seja uma esfera de raio  $R = 2 \text{ m}$ . O fio do novelo certamente não está apertado (existem espaços vazios entre trechos vizinhos do fio). Para levar em conta esses espaços vazios, vamos superestimar um pouco a área de seção transversal do fio, supondo que ela seja quadrada, com lado de comprimento  $d = 4 \text{ mm}$ .

Nesse caso, com uma área da seção transversal  $d^2$  e um comprimento  $L$ , o fio ocupa um volume total de

$$V = (\text{área da seção transversal})(\text{comprimento}) = d^2 L.$$

Este valor é aproximadamente igual ao volume do novelo, dado por  $4\pi R^3/3$ , que é quase igual a  $4R^3$ , já que  $\pi$  é quase igual a 3. Assim, temos:

$$\begin{aligned} d^2 L &= 4R^3, \\ \text{ou } L &= \frac{4R^3}{d^2} = \frac{4(2 \text{ m})^3}{(4 \times 10^{-3} \text{ m})^2} \\ &= 2 \times 10^6 \text{ m} \approx 10^6 \text{ m} = 10^3 \text{ km.} \end{aligned}$$

(Resposta)

(Note que você não precisa usar uma calculadora para realizar um cálculo simples como este.) A ordem de grandeza do comprimento do fio é, portanto, 1000 km!

## 5 - Tempo

O tempo tem dois aspectos. No dia-a-dia e para alguns fins científicos queremos saber a hora do dia para podermos ordenar eventos em seqüência. Em muitos trabalhos científico estamos interessados em conhecer a duração de um evento. Assim, qualquer padrão deve ser capaz de responder as duas perguntas: “*Quando isso aconteceu?*” e “*Quanto tempo isso durou?*”

Em 1967, a 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas adotou como padrão de tempo um segundo baseado no relógio de Césio: ***Um segundo é o intervalo de tempo que corresponde a 9 192 631 770 oscilações da luz (de uma transição atômica específica) emitida por um átomo de césio-133.***

Os relógios atômicos são tão estáveis que, em princípio, dois relógios de césio teriam de funcionar por 6000 anos para que a diferença entre suas leituras fosse maior do que 1 segundo. Relógios ainda mais precisos estão sendo desenvolvidos. Na tabela ao lado temos algumas escalas de tempo típicas:

Alguns Intervalos de Tempo Aproximados

Descrição	Intervalo de Tempo em Segundos
Tempo de vida do próton (teórico)	$3 \times 10^{40}$
Idade do universo	$5 \times 10^{17}$
Idade da pirâmide de Quéops	$1 \times 10^{11}$
Expectativa de vida de um ser humano	$2 \times 10^9$
Duração de um dia	$9 \times 10^4$
Intervalos entre duas batidas de um coração humano	$8 \times 10^{-1}$
Tempo de vida do múon	$2 \times 10^{-6}$
Pulso mais curto obtido em laboratório	$1 \times 10^{-16}$
Tempo de vida da partícula mais instável	$1 \times 10^{-23}$
Tempo de Planck <sup>a</sup>	$1 \times 10^{-43}$

<sup>a</sup>Tempo decorrido após o big bang, a partir do qual as leis de física que conhecemos passaram a ser válidas.

### Curiosidade!

Quando o sistema métrico foi proposto, em 1792, a hora foi redefinida para que um dia tivesse 10 horas. A idéia não vingou. O fabricante deste relógio de 10 horas sabiamente incluiu um pequeno mostrador convencional. Os dois mostradores indicam a mesma hora? (Pitkin Studio, Rockford, IL, USA)



## 6 – Massa

O padrão de massa do SI é um cilindro de platina-irídio mantido no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, ao qual foi atribuída, por acordo internacional, a massa de 1 quilograma. Cópias precisas foram enviadas a laboratórios de padronização de outros países, e as massas de outros corpos podem ser determinadas comparando-os com uma dessas cópias.

**Um segundo padrão de massa:** As massas dos átomos podem ser comparadas entre si mais precisamente do que com o quilograma-padrão. Por essa razão, temos um segundo padrão de massa, o átomo de carbono-12, ao qual de acordo por acordo internacional, foi atribuída uma massa de 12 unidades atômicas (u). A relação entre as duas unidades é:

$$1 \text{ u} = 1,66053886 \times 10^{-27} \text{ kg,}$$

Algumas Massas Aproximadas

Descrição	Massa em Quilogramas
Universo conhecido	$1 \times 10^{53}$
Nossa galáxia	$2 \times 10^{41}$
Sol	$2 \times 10^{30}$
Lua	$7 \times 10^{22}$
Asteróide Eros	$5 \times 10^{15}$
Montanha pequena	$1 \times 10^{12}$
Transatlântico	$7 \times 10^7$
Elefante	$5 \times 10^3$
Uva	$3 \times 10^{-3}$
Grão de poeira	$7 \times 10^{-10}$
Molécula de penicilina	$5 \times 10^{-17}$
Átomo de urânio	$4 \times 10^{-25}$
Próton	$2 \times 10^{-27}$
Elétron	$9 \times 10^{-31}$

Densidade ou massa específica: é a massa de um corpo por unidade de volume,  $\rho = \frac{m}{V}$

As massas específicas ou densidades são grandezas muito utilizadas na física, normalmente expressas em quilogramas por metro cúbico (SI) ou em gramas por centímetro cúbico. A densidade da água à pressão normal (1atm) e à temperatura de 25 °C, é de 1,00 g/cm<sup>3</sup>, e a 4 °C, onde se atinge sua densidade máxima, é de 1,03 g/cm<sup>3</sup>. O gelo ou, água no estado sólido, possui uma densidade inferior àquela apresentada pela água em seu estado líquido (0,97 g/cm<sup>3</sup>), propriedade rara nos líquidos, que se explica pela polaridade da molécula da água e pelo aumento da distância média entre partículas. A densidade da neve fresca é de 10% da densidade da água.

Uma vez que o volume dos corpos dependem da temperatura (termodinâmica) a densidade também é uma função da temperatura embora, para sólidos, essa dependência seja pequena.

### Densidade da água

Temperatura (°C)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
100	958.4
80	971.8
60	983.2
40	992.2
30	995.6502
25	997.0479
22	997.7735
20	998.2071
15	999.1026
10	999.7026
4	999.9720
0	999.8395

A densidade da água em quilogramas por metro cúbico (sistema SI) em várias temperaturas em graus Celsius. Os valores abaixo de 0 °C se referem a água em *sobrefusão*

### Densidade do ar

T em °C	ρ em kg/m <sup>3</sup> (a 1 atm)
-10	1.342
-5	1.316
0	1.293
5	1.269
10	1.247
15	1.225
20	1.204
25	1.184
30	1.165

## REVISÃO E RESUMO

**A Medição na Física** A física se baseia na medição de grandezas físicas. Algumas grandezas físicas, como comprimento, tempo e massa, foram escolhidas como **grandezas fundamentais**; cada uma foi definida através de um **padrão** e recebeu uma **unidade** de medida (como metro, segundo e quilograma). Outras grandezas físicas são definidas em termos das grandezas fundamentais e de seus padrões e unidades.

**Unidades do SI** O sistema de unidades adotado neste livro é o Sistema Internacional de Unidades (SI). As três grandezas físicas mostradas na Tabela 1-1 são usadas nos primeiros capítulos. Os padrões, que têm que ser acessíveis e invariáveis, foram estabelecidos para essas grandezas fundamentais por um acordo internacional. Esses padrões são usados em todas as medições físicas, tanto das grandezas fundamentais quanto das grandezas secundárias. A notação científica e os prefixos da Tabela 1-2 são usados para simplificar a notação das medições.

**Mudança de Unidades** A conversão de unidades pode ser feita usando o método de *conversão em cadeia*, no qual os dados originais são multiplicados sucessivamente por fatores de conversão unitários e as unidades são manipuladas como

quantidades algébricas até que apenas as unidades desejadas permaneçam.

**Comprimento** O metro é definido como a distância percorrida pela luz durante um intervalo de tempo especificado.

**Tempo** O segundo é definido em termos das oscilações da luz emitida por um isótopo de um certo elemento químico (césio-133). Sinais de tempo precisos são enviados a todo o mundo através de sinais de rádio sincronizados por relógios atômicos em laboratórios de padronização.

**Massa** O quilograma é definido em termos de um padrão de massa de platina-irídio mantido em um laboratório nas vizinhanças de Paris. Para medições em escala atômica é comumente usada a unidade de massa atômica, definida em termos do átomo de carbono-12.

**Massa específica** A massa específica  $\rho$  de uma substância é a massa por unidade de volume:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

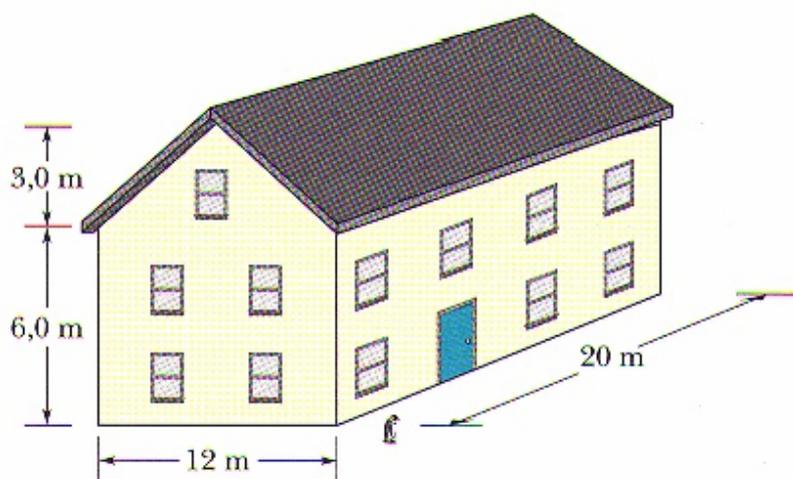
### ***Exercícios propostos de fixação.***

- 1) O micrometro ( $1 \mu\text{m}$ ) é também chamado de micron. (a) Quantos microns tem 1 km? (b) Que fração do centímetro é igual a  $1 \mu\text{m}$ ?
- 2) A distância entre as cidades Rio de Janeiro e São Paulo é de aproximadamente 430 km. Qual é a distância Rio-São Paulo em:
  - a) centímetros?
  - b) metros?
  - c) megametro?
  - d) milímetro?
- 3) A planta de crescimento mais rápido de que se tem notícia é uma *Hesperoyucca whipplei*, que cresceu 3,7 m em 14 dias. Qual foi a velocidade de crescimento da planta em:
  - a) metros por segundos?
  - b) metros por hora?
  - c) micrômetro por segundo?
- 4) Como a velocidade de rotação da Terra está diminuindo gradualmente, a duração dos dias está aumentando: o dia no final de 1,0 século é 1,0 ms mais longo que o dia no início do século. Qual é o aumento da duração do dia após 20 séculos em:
  - a) milisegundos?
  - b) minutos?
  - c) horas?
- 5) A Terra tem uma massa de  $5,98 \times 10^{24}$  kg. A massa média dos átomos que compõem a Terra é 40 u. Quantos átomos existem na Terra? ( $1\text{u}=1,66053886 \times 10^{-27}$  kg)
- 6) Em uma viagem a Malásia você não resiste à tentação e compra um touro que pesa 28,9 piculs no sistema local de unidade de peso: 1 picul = 100 gins, 1 gin = 16 tahlil, 1 tahlil = 10 chees e 1 chee = 100 hoons. O peso de 1 hoon corresponde a uma massa de 0,3779 g. Quando você despacha o boi para casa, que massa deve declarar na alfândega? (sugestão: Use conversões em cadeia).
- 7) Uma unidade astronômica (UA) é a distância média entre a Terra e o sol, aproximadamente  $1,50 \times 10^8$  km. A velocidade da luz é aproximadamente  $3,0 \times 10^8$  m/s. Expresse a velocidade da luz em unidades astronômicas por minuto.
- 8) Uma pessoa que esteja de dieta pode perder 2,3 kg por semana. Expresse a taxa de perda de massa em miligramas por segundo, como se a pessoa pudesse sentir a perda segundo a segundo.

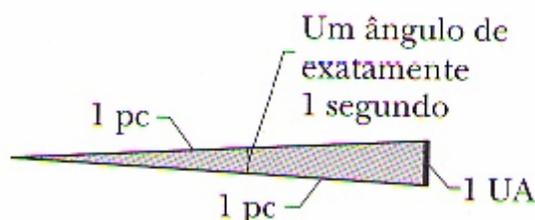
## Exercícios para casa

**1** O ouro, que tem uma massa específica de  $19,32 \text{ g/cm}^3$ , é um metal extremamente dúctil e maleável, isto é, pode ser transformado em fios ou folhas muito finas. (a) Se uma amostra de ouro, com uma massa de  $27,63 \text{ g}$ , é prensada até se tornar uma folha com  $1,000 \mu\text{m}$  de espessura, qual é a área dessa folha? (b) Se, em vez disso, o ouro é transformado em um fio cilíndrico com  $2,500 \mu\text{m}$  de raio, qual é o comprimento do fio?

**2** Nos Estados Unidos, uma casa de boneca tem uma escala de 1:12 em relação a uma casa de verdade (ou seja, cada comprimento na casa de boneca é  $1/12$  do comprimento correspondente na casa de verdade), e uma casa em miniatura (uma casa de boneca feita para caber em uma casa de boneca) tem uma escala de 1:144 em relação a uma casa de verdade. Suponha que uma casa de verdade (Fig. 1-7) tem  $20 \text{ m}$  de comprimento,  $12 \text{ m}$  de largura,  $6,0 \text{ m}$  de altura e um telhado inclinado padrão (com o perfil de um triângulo isósceles) de  $3,0 \text{ m}$  de altura. Qual é o volume, em metros cúbicos, (a) da casa de 2 as e (b) da casa em miniatura correspondente?



**3** A *unidade astronômica* (UA) é a distância média entre a Terra e o Sol, cerca de  $92,9 \times 10^6$  milhas. O *parsec* (pc) é a distância para a qual uma distância de 1 UA subtende um ângulo de exatamente 1 segundo de arco (Fig. 1-8). O



*ano-luz* é a distância que a luz, viajando no vácuo com uma velocidade de  $186\,000$  milhas por segundo, percorre em  $1,0$  ano. Expresse a distância entre a Terra e o Sol (a) em parsecs e (b) em anos-luz.