

Física 1

1 – Unidades, Grandezas Físicas e Vetores

Física clássica e física moderna

Física clássica corresponde ao conjunto de fenômenos e teorias que eram objeto de estudo até o final do século XIX. Compreende:

- Mecânica
- Luz
- Calor
- Som
- Elettricidade
- Magnetismo

Física moderna é a denominação dada ao conjunto de teorias surgidas no começo do século XX, principiando com a **mecânica quântica** e a **teoria da relatividade**.

Grandezas físicas, padrões e unidades

Sistemas métricos: CGS e SI



Carl Friedrich Gauss
(1777–1855)



Sistema Gaussiano (1832)



Sistema CGS



Giovanni Giorgi
(1871–1950)



Sistema MKS (1901)



Sistema Internacional (1960)

O Sistema Internacional de unidades

Unidades de base do SI

Grandeza	Unidade SI	
	Nome	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Quantidade de substância	mol	mol
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Corrente elétrica	ampère	A
Intensidade luminosa	candela	cd

Grandezas físicas, padrões e unidades

Padronização das unidades de base do SI

Em qualquer sistema de unidades, as unidades de base devem ser rigorosamente definidas por meio de **padrões**.

Os padrões das medidas físicas são decididos pela Conferência Geral de Pesos e Medidas, que ocorre em Paris a cada quatro ou seis anos na Agência Internacional de Pesos e Medidas (BIPM).



<http://www.bipm.org/>



Bureau International des Poids et Mesures, Paris

O padrão de tempo



O segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133.

NIST F-1: Relógio atômico de césio capaz de trabalhar 20 milhões de anos sem adiantar ou atrasar um segundo sequer.

<http://tf.nist.gov/cesium/fountain.htm>

O padrão de comprimento

Antigo padrão do metro



Barra metálica de platina-irídio

O metro é distância percorrida pela luz no vácuo, durante o intervalo de tempo de $1/299.792.458$ do segundo.

Padrão moderno do metro



Laser de hélio-neon estabilizado por vapor de iodo

O padrão de massa



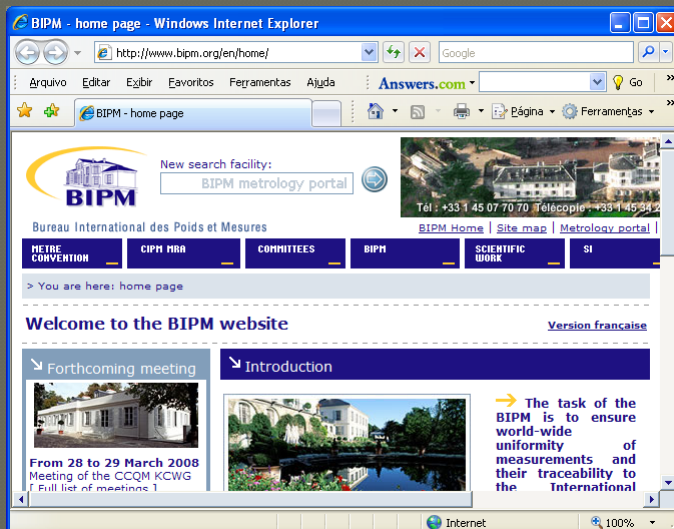
O quilograma padrão

O quilograma é definido por um cilindro de platina iridiada guardado na Agência Internacional de Pesos e Medidas, em Paris.

BIPM

Bureau International des Poids et Mesures

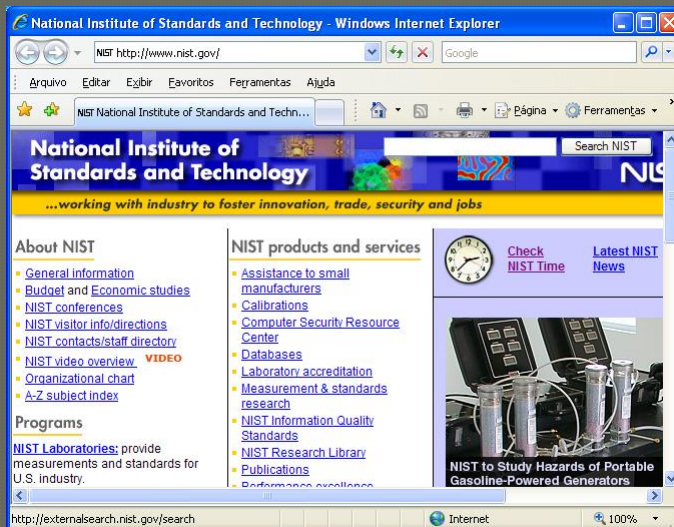
Sèvres, Paris



NIST

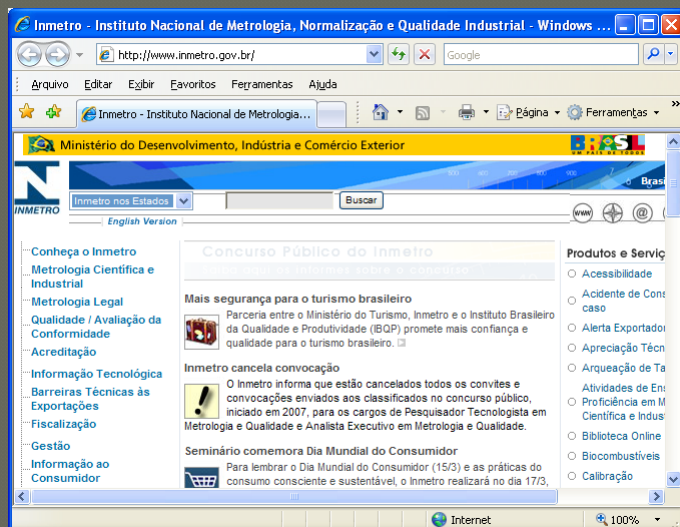
National Institute of Standards and Technology

Maryland, USA



Inmetro

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial



Campus de
Xerêm, Duque
de Caxias, RJ

Prefixos padrões do SI

Prefixo	Símbolo	10^n
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
quilo	k	10^3
hecto	h	10^2
deca	da	10^1

1 Mb = 1.000.000 bits
1 TB = 1.000.000.000.000 bytes

Prefixo	Símbolo	10^n
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}

1 mL = 0,001 litro
1 fs = 0,000000000000001 segundo

O Sistema inglês de unidades

Grandeza	Unidade	
	Nome	Símbolo
Tempo	segundo	s
Comprimento	pé	ft
Força	libra-força	lb ou pd
Massa	libra	lb ou pd

1 pé = 0,3048 m = 12 pol

1 pol = 2,54 cm

1 libra-força = 4,45 N

1 libra = 0,45 kg

Em 2007, os únicos países do mundo que ainda adotavam este sistema eram Libéria, Birmânia e **Estados Unidos**.

Sistema Inglês



Polegada: Corresponde ao comprimento médio do polegar de um homem.

Jarda: No século XII, o rei Henrique I, Inglaterra, fixou a jarda como a distância entre seu nariz e o polegar de seu braço estendido.

Pé: Um pé corresponde a doze polegadas, o tamanho médio dos pés masculinos.

1 Jarda = 91,44 cm

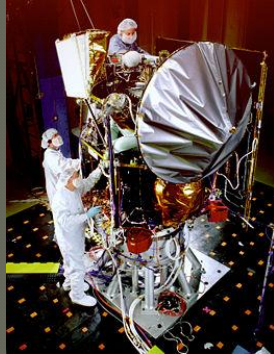
1 Pé = 1/3 Jarda = 30,48 cm

1 Polegada = 1/12 Pé = 2,54 cm

Confusão de unidades pode gerar acidentes

Mars Climate Orbiter

Satélite construído para estudar a atmosfera de Marte.



Mars Climate Orbiter

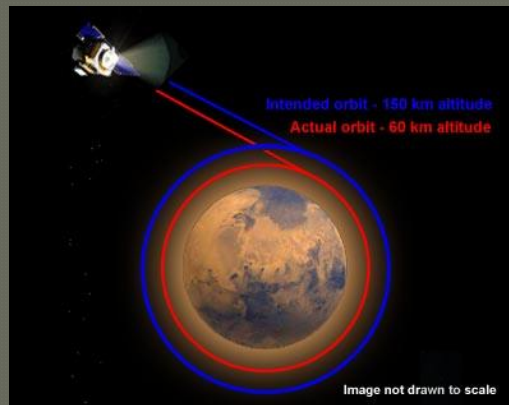
Lançada em dezembro de 1998, alcançou Marte em setembro de 1999.



Custo do projeto: US\$ 320 milhões

Mars Climate Orbiter

Problema: O software que calculava os parâmetros dos propulsores de manobra da espaçonave usava unidades no sistema inglês (NASA), enquanto que os computadores da espaçonave foram programados para utilizar unidades SI.



Resultado: O satélite atingiu uma órbita muito baixa e foi destruído por causa do elevado atrito com a atmosfera marciana.

Estimativa de ordem de grandeza

A ordem de grandeza de uma medida corresponde à potência inteira de 10 da medida da grandeza.

$$\text{Massa de um homem} = 7,0 \times 10^2 \text{ kg} \rightarrow M_H \sim 10^3 \text{ kg}$$

$$\text{Massa da Terra} = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg} \rightarrow M_T \sim 10^{24} \text{ kg}$$

$$\text{Acel. da grav. na superf. do Sol} = 2,7 \times 10^2 \text{ m/s}^2 \rightarrow g_{\text{Sol}} \sim 10^2 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Carga do elétron} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C} \rightarrow e \sim 10^{-19} \text{ C}$$

Estimativa de ordem de grandeza

Problema:

Qual a ordem de grandeza do volume ocupado pelos oceanos da Terra, em m^3 ?

Dados:

Raio da Terra = $6,37 \times 10^6 \text{ m}$

Profundidade média do oceano = 4.000 m

Os oceanos ocupam aproximadamente $3/4$ da superfície da Terra

Estimativa da ordem de grandeza: 10^{17} m^3

Valor mais próximo da realidade: $2 \times 10^{18} \text{ m}^3$

Unidades, dimensões, medidas e incertezas

Unidades

Grandeza:	Comprimento	Tempo	Massa
Unidade (SI):	m	s	kg
Dimensão:	L	T	M

Unidades, dimensões, medidas e incertezas

Dimensão

Todas as grandezas mecânicas, sem exceção, possuem dimensão que são combinações de L, T e M.

$$\text{velocidade} = \frac{L}{T}$$

$$\text{volume} = L^3$$

$$\text{densidade} = \frac{M}{L^3}$$

$$\text{energia} = \frac{ML^2}{T^2}$$

Análise dimensional

Problema:

Para manter um objeto em movimento circular com velocidade constante, é necessária uma força denominada *força centrípeta*. Desenvolva uma análise dimensional da força centrípeta.

Ponto de partida: $F \propto m^a v^b r^c$

Solução: $F \propto m v^2 r^{-1} = \frac{mv^2}{r}$

Análise dimensional

Problema:

Um marco importante na evolução do universo logo após o Big Bang é o tempo de Planck, t_p , cujo valor depende de três constantes fundamentais: (1) a velocidade da luz (constante fundamental da relatividade), c ; (2) a constante gravitacional de Newton (constante fundamental da gravitação), G ; e (3) a constante de Planck (constante fundamental da mecânica quântica), h . Com base em uma análise dimensional, encontre o valor do tempo de Planck.

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2 \cdot \text{kg}$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

Ponto de partida: $t_p \propto c^i G^j h^k$

Solução: $t_p \propto c^{-5/2} G^{1/2} h^{1/2} = \sqrt{\frac{Gh}{c^5}}$

Análise dimensional

Cálculo do tempo de Planck:

$$t_p \propto \sqrt{\frac{Gh}{c^5}} = \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2 \cdot \text{kg} \quad 6,63 \times 10^{-34} \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^2/\text{s}}{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}^5}} \approx 1,35 \times 10^{-45} \text{ s}$$

Cálculo do valor real do tempo de Planck:

$$t_p = \sqrt{\frac{Gh}{2\pi c^5}} \approx 5,39 \times 10^{-44} \text{ s}$$

Unidades, dimensões, medidas e incertezas

Análise dimensional

Para casa: Determinar expressões para o comprimento de Planck, l_p , e para a massa de Planck, m_p , cujas fórmulas também dependem de c , G e h .

Ponto de partida: $l_p \propto c^i G^j h^k$

$$m_p \propto c^i G^j h^k$$

Curiosidade: Pesquisar a interpretação física do comprimento de Planck, da massa de Planck, e do tempo de Planck.

Coerência e conversão de unidades

$$1,0 \text{ km/h} \rightarrow ? \text{ m/s}$$

$$1.000 \text{ m} = 1 \text{ km} \Rightarrow \frac{1.000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 1$$

$$1 \text{ h} = 3.600 \text{ s} \Rightarrow \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} = 1$$

$$1,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \left(\frac{1.000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} \right) = 0,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

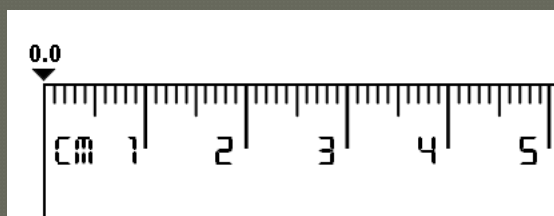
$$1,0 \text{ atm} \cdot \text{L} \rightarrow ? \text{ J}$$

$$1,00 \text{ atm} \cdot \text{L} \times \left(\frac{1,01 \times 10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ L}} \right) = 101 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 =$$

$$= 101 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3} = 101 \text{ N} \cdot \text{m} = 101 \text{ J}$$

Algarismos significativos

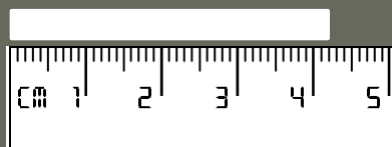
Os algarismos significativos de uma medida têm sua origem na natureza do instrumento usado na medição.



Algarismos significativos



Leitura da medida = 7,8 cm



Leitura da medida = 4,22 cm

7,8 cm

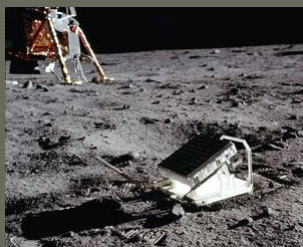
Algarismo duvidoso

4,22 cm

Incerteza e algarismos significativos

Medida da distância Terra-Lua

LLRF - Lunar Laser Ranging Experiment



Refletor luminoso
Apolo 11, 14 e 15 (1971)



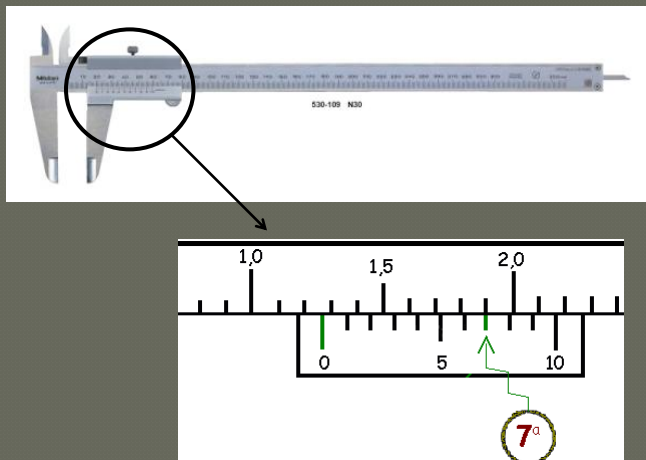
Raio laser emitido do Observatório
MacDonald, Texas



Resultado obtido com erro de 1 cm (1 parte em 5 bilhões)

Paquímetro

O paquímetro permite a execução de medidas com até 0,05 mm de exatidão.



Exemplo de medida: 1,27 cm

Algarismos significativos

Número de algarismos significativos de uma medida (a.s.)

Regra geral: Contam-se todos os algarismos, da esquerda para a direita, a partir do primeiro algarismo diferente de zero.

2,54 cm → 3 a.s.

0,0001 kg → 1 a.s.

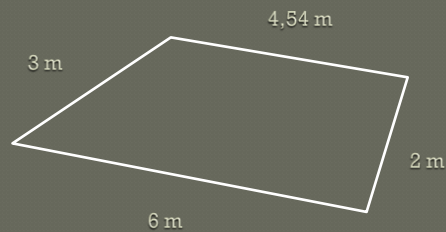
$1,0000 \times 10^3$ J → 5 a.s.

0,020001 s → 5 a.s.

10,00001 V → 7 a.s.

1×10^{100} J → 1 a.s.

Operações com algarismos significativos

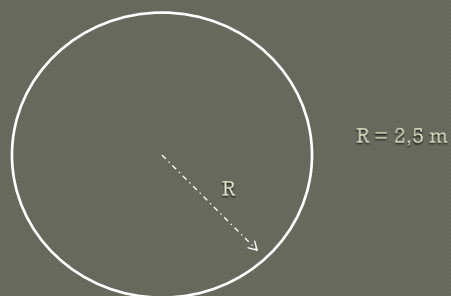


Qual é o perímetro do polígono?

Dica: Não é 15,54 m

Resposta: 16 m

Operações com algarismos significativos



Qual é o perímetro do círculo?

Dica: Não é 15,707963267948966192313216916398 m

Resposta: 16 m

Operações com algarismos significativos

Soma e subtração

Regra: Mantém-se o algarismo duvidoso de maior ordem.

$$\begin{array}{rcl}
 0,2 \text{ m} & \text{a.d. da ordem de décimo} & \\
 +12,46 \text{ m} & \text{a.d. da ordem de centésimo} & \\
 \hline
 =12,66 \text{ m} & & \\
 \hline
 \approx 12,7 \text{ m} & \text{a.d. da ordem de décimo} &
 \end{array}$$

Operações com algarismos significativos

Multiplicação e divisão

Regra: Mantém-se o menor número de algarismos significativos dos fatores.

$$\begin{array}{rcl}
 1,2 \text{ m} \times 3,457 \text{ m} = 4,1484 \text{ m}^2 \approx 4,1 \text{ m}^2 & & \\
 2 \text{ a.s.} & 4 \text{ a.s.} & 2 \text{ a.s.}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 0,007231 \text{ m} \div 4,31 \times 10^{-6} \text{ s} = 1.677,7262 \cdots \text{ m/s} \approx 1,68 \times 10^3 \text{ m/s} & & \\
 4 \text{ a.s.} & 3 \text{ a.s.} & 3 \text{ a.s.}
 \end{array}$$

Quantos algarismos significativos existem?

Teste online

Number of
significant
figures

987600.

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ 6

☐ 7

☐ 8

☐ 9

☐ 10

Result: 0 correct, 0 false

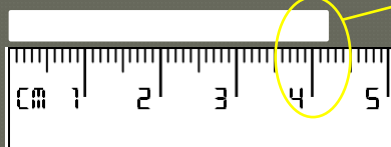
Unidades, dimensões, medidas e incertezas

Medidas e incertezas

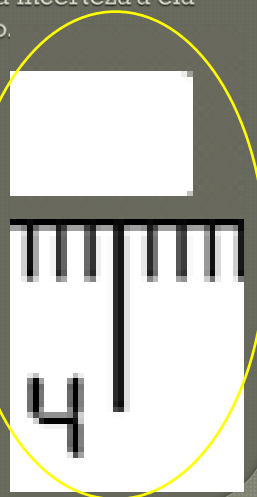
Qualquer medida feita sem o conhecimento da incerteza a ela associada é vazia de significado.



Leitura da medida = $7,8 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$



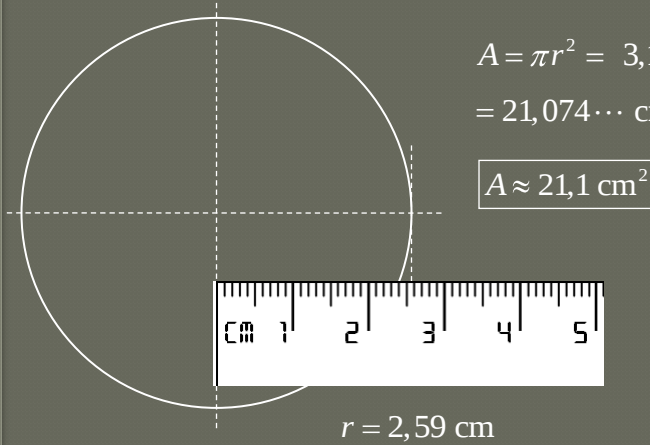
Leitura da medida = $4,22 \text{ cm} \pm 0,01 \text{ cm}$



Unidades, dimensões, medidas e incertezas

Área do círculo

Cálculo sem considerar as incertezas envolvidas:



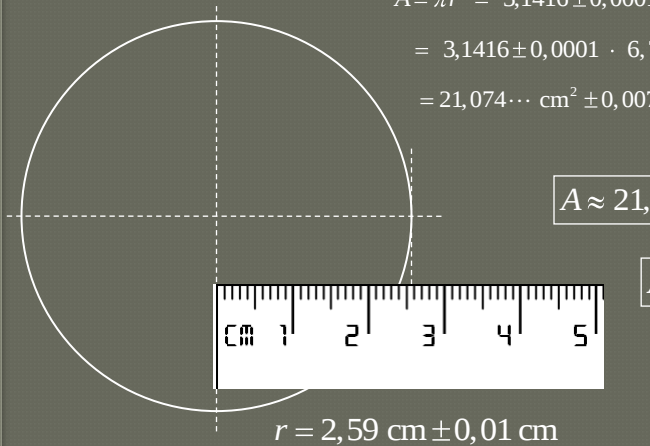
$$A = \pi r^2 = 3,1416 \cdot 2,59 \text{ cm}^2 = 21,074 \dots \text{ cm}^2$$

$$A \approx 21,1 \text{ cm}^2$$

Unidades, dimensões, medidas e incertezas

Área do círculo

Cálculo considerando-se as incertezas envolvidas:

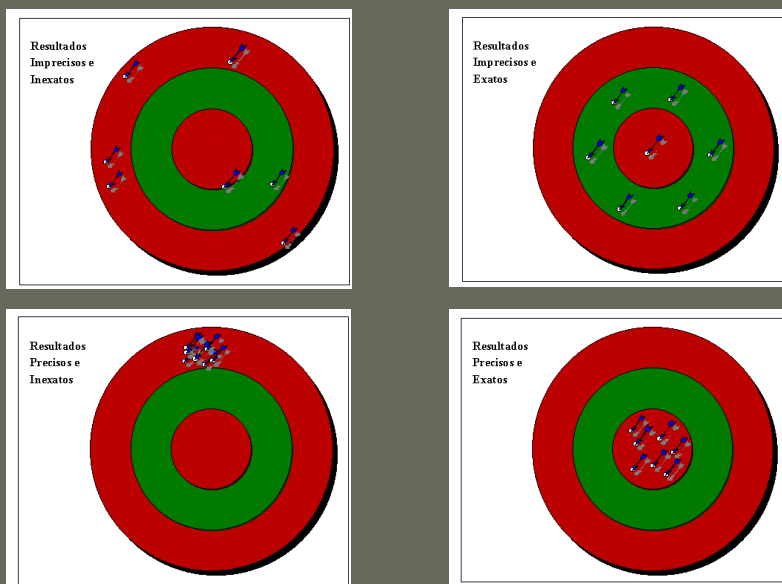


$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 = 3,1416 \pm 0,0001 \cdot 2,59 \text{ cm} \pm 0,01 \text{ cm}^2 = \\ &= 3,1416 \pm 0,0001 \cdot 6,7081 \text{ cm}^2 \pm 0,0518 \text{ cm}^2 = \\ &= 21,074 \dots \text{ cm}^2 \pm 0,00775 \dots \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A \approx 21,07 \text{ cm}^2 \pm 0,08 \text{ cm}^2$$

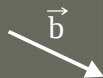
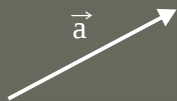
$$A \approx 21,1 \text{ cm}^2$$

Precisão e exatidão de uma medida

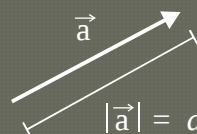


Vetores

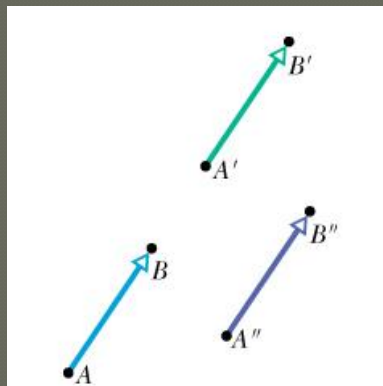
Vetores são segmentos de reta orientados, que possuem módulo, direção e sentido, além de obedecerem a um conjunto de regras matemáticas para efetuar certas operações, como adição e multiplicação.



O módulo de um vetor corresponde ao seu comprimento.



Vetores

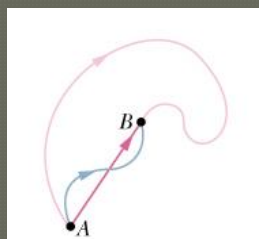


Os três vetores acima são iguais

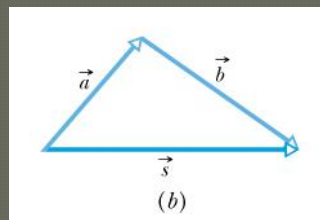
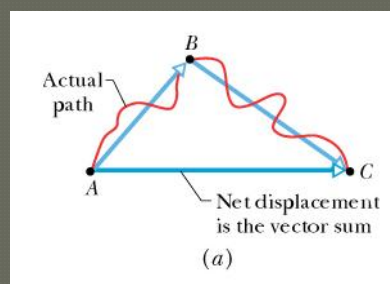
©2002 by John Wiley & Sons

Vetores

Exemplo de vetor: Vetor deslocamento



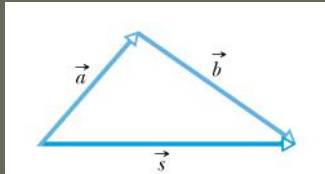
O vetor deslocamento parte do ponto inicial e termina no ponto final da trajetória.



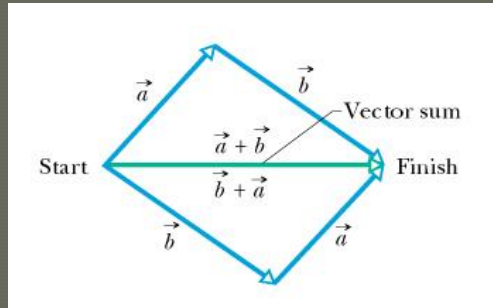
©2002 by John Wiley & Sons

Soma de vetores

Propriedade comutativa



$$S = a + b$$

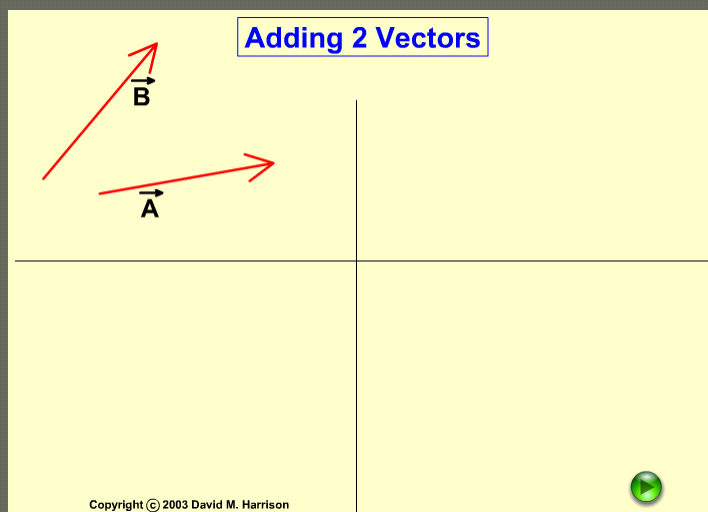


$$a + b = b + a$$

©2002 by John Wiley & Sons

Adição de vetores

Propriedade comutativa

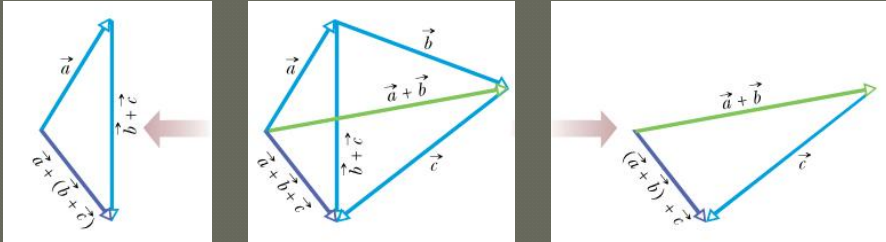


Copyright © 2003 David M. Harrison

<http://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/Vectors/Add2Vectors.html>

Soma de vetores

Propriedade associativa

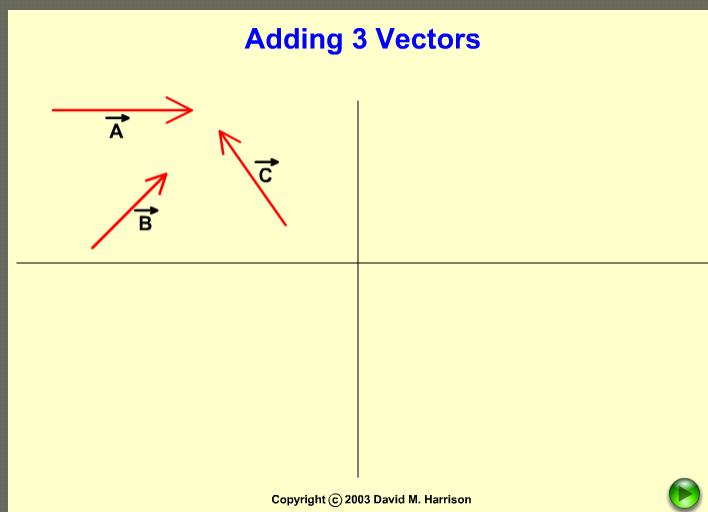


$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = \vec{a} + (\vec{b} + \vec{c})$$

©2002 by John Wiley & Sons

Adição de vetores

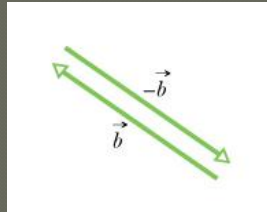
Propriedade associativa



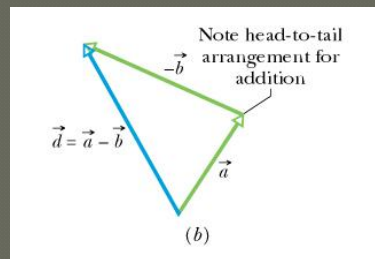
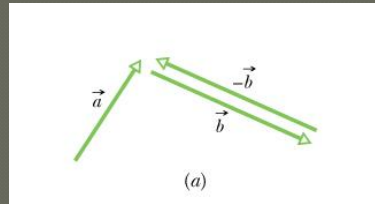
Copyright © 2003 David M. Harrison


<http://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/Vectors/Add3Vectors.html>

Subtração de vetores



Invertendo-se o sentido do vetor,
seu sinal muda

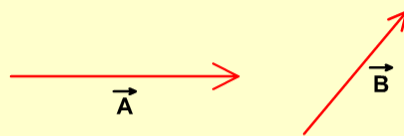


$$\vec{d} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + -\vec{b}$$

©2002 by John Wiley & Sons

Subtração de vetores

Subtracting 2 Vectors



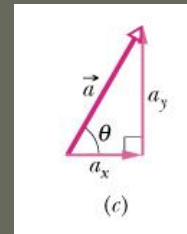
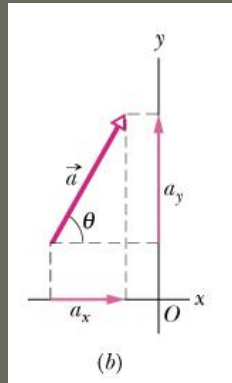
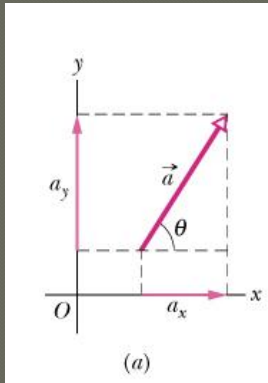
Copyright © 2003 David M. Harrison



<http://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/Vectors/Subtract2Vectors.html>

Componentes dos vetores

As componentes de um vetor são obtidas por projeção do vetor sobre os eixos do sistema de referência.

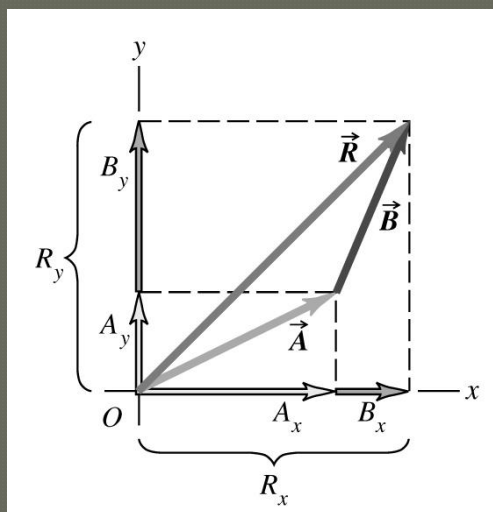


As componentes de um vetor são escalares.

©2002 by John Wiley & Sons

Soma vetorial

Método das componentes



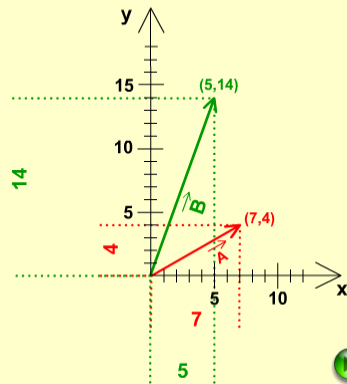
$$R_x = A_x + B_x$$

$$R_y = A_y + B_y$$

©2004 by Pearson Education

Adição numérica de vetores

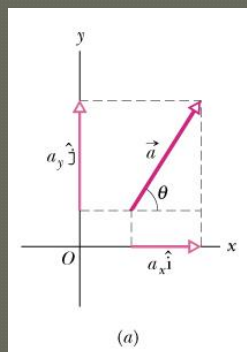
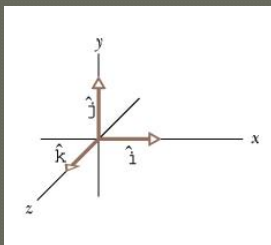
To Add 2 Vectors Numerically ...



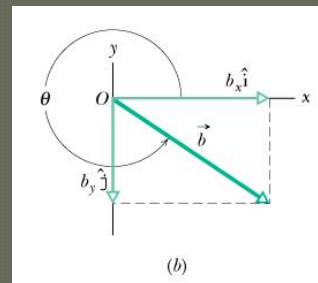
Copyright © 2003 David M. Harrison

<http://www.upscale.utoronto.ca/GeneralInterest/Harrison/Flash/Vectors/VectorAddComponents.html>

Vetores unitários



$$\mathbf{a} = a_x \hat{\mathbf{i}} + a_y \hat{\mathbf{j}}$$

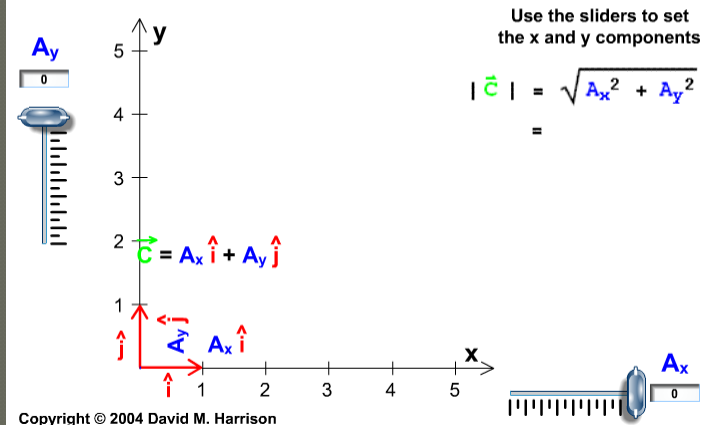


$$\mathbf{b} = b_x \hat{\mathbf{i}} + b_y \hat{\mathbf{j}}$$

©2002 by John Wiley & Sons

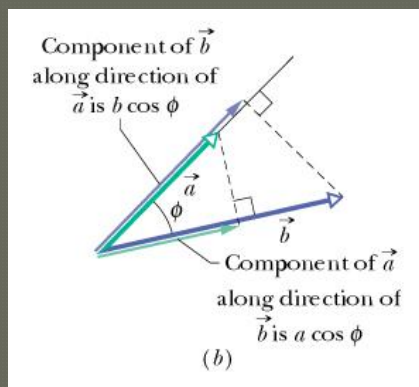
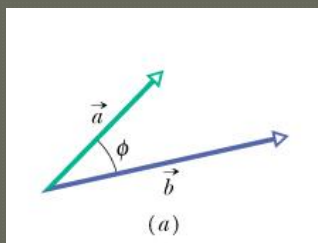
Vetores unitários

Unit Vectors



<http://www.upscale.utoronto.ca/GeneralInterest/Harrison/Flash/Vectors/UnitVectors/UnitVectors.html>

Produto escalar



$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = ab \cos \phi$$

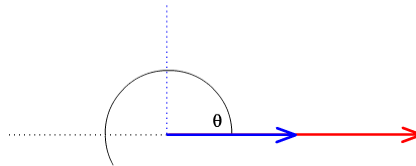
©2002 by John Wiley & Sons

Produto escalar

The Scalar or "Dot" Product of 2 Vectors

$$|\vec{A}| = 2$$

$$|\vec{B}| = 1$$

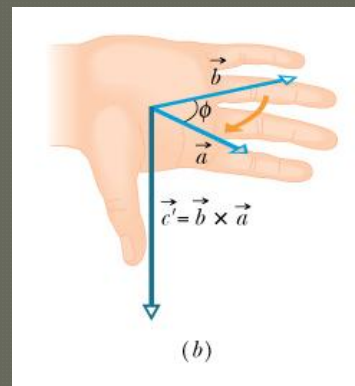
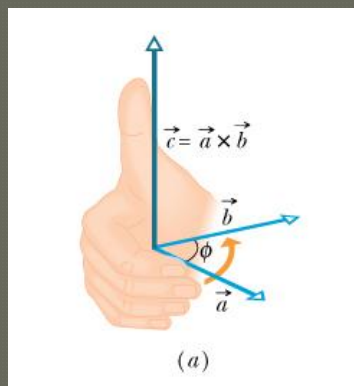


$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(\theta)$$

Copyright © 2003 David M. Harrison

<http://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/Vectors/DotProduct/DotProduct.html>

Produto vetorial



$$|\mathbf{c}| = |\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = ab \sin \phi$$

©2002 by John Wiley & Sons

Produto vetorial

The Vector or Cross Product $\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$
of 2 Vectors

The fingers of the right hand curl from $\vec{A}$ to $\vec{B}$ through the smallest angle; the thumb points in the direction of $\vec{C}$



$\vec{A}$



$\vec{B}$

$\vec{C}$

Set the angle
between the
 $\vec{A}$ and $\vec{B}$



$\theta =$

degrees

Copyright © 2005 David M. Harrison

<http://www.upscale.utoronto.ca/GeneralInterest/Harrison/Flash/Vectors/CrossProduct/CrossProduct.html>