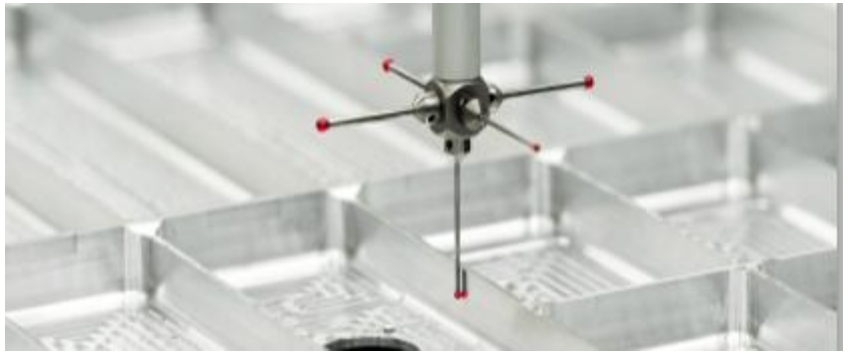
1 Medição



http://www.macnosrl.it/wp-content/uploads/2016/03/metrologia-redux.png

Lembrando

- Página da disciplina (instruções, notas de aula, notas de provas, presenças, calendário, etc):

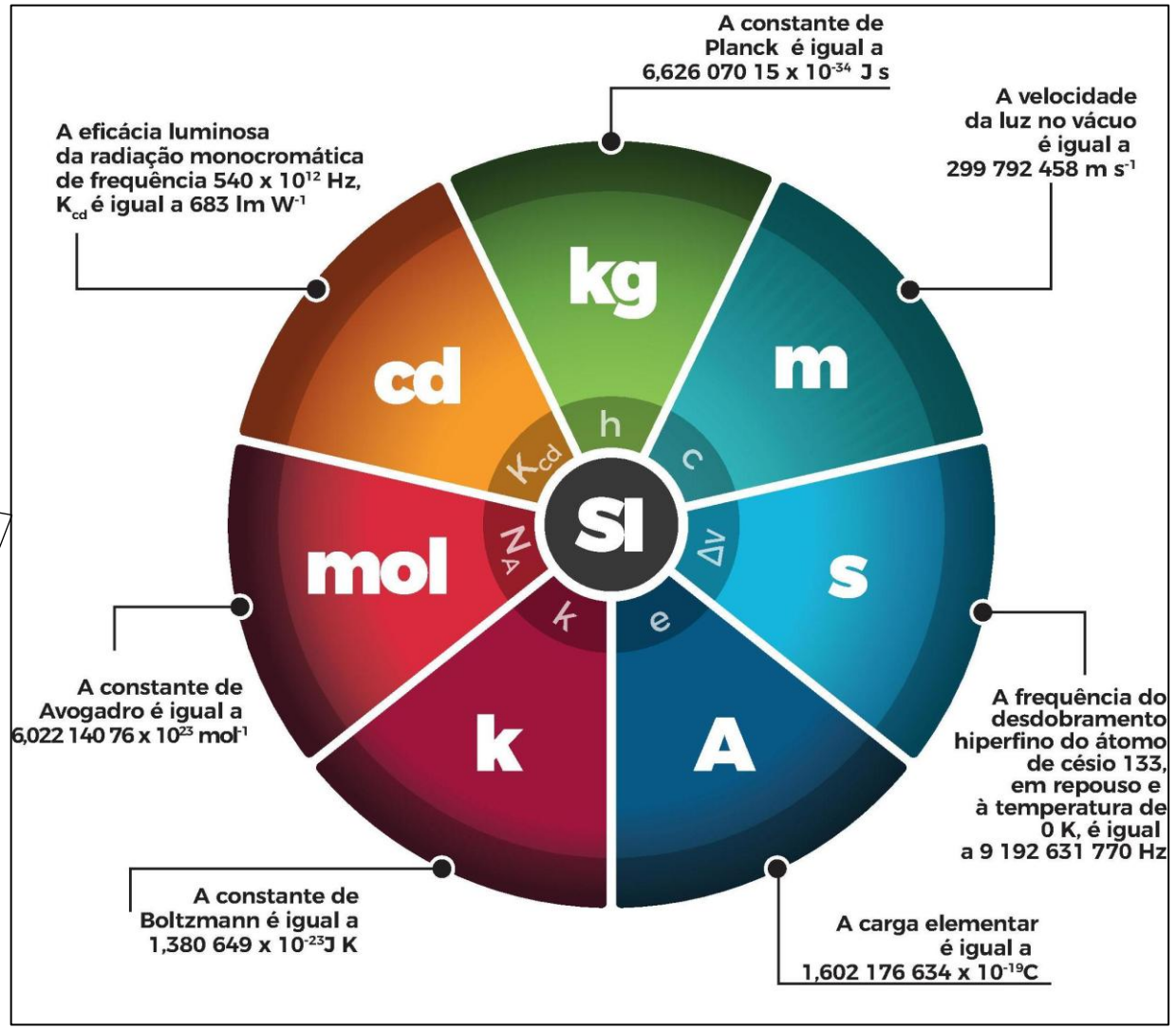
https://fisica.ufpr.br/edilson/CF109.htm

- Email do professor:

edilson@fisica.ufpr.br

Cap. 1 – Medição

- Física
  - MEDIÇÃO de grandezas físicas
    - grandezas fundamentais
      - padrão
      - unidade
        - Sistema Internacional de Unidades (SI)
      - mudanças de unidade
        - conversão em cadeia (x1)



1-1 Medindo grandezas

- Comparação com padrão
- Unidade
- Grandezas físicas
  - Dependentes
- Medidas diretas e indiretas

A importância das unidades



8 ■ 10 turismo segunda-feira, 13 de março de 2000 FOLHA DE S.PAULO

AFOGANDO EM NÚMEROS *Equipamento da Nasa recebeu informações conflitantes, causando prejuízo de US$ 125 mi*

Conversão errada destruiu sonda espacial

da Reportagem Local

Um problema de conversão de medidas já levou a Nasa (agência espacial norte-americana) a perder uma sonda espacial. A Mars Climate Orbiter foi destruída ao tentar entrar na órbita de Marte em setembro do ano passado.

Ao se aproximar do planeta, a sonda recebeu duas informações conflitantes dos controladores na Terra. Uma, no Sistema Métrico Decimal (que usa metro e quilograma), e outra, em unidades britânicas (que usa pé e libra).

Os sistemas de engenharia da Nasa não foram capazes de detectar as diferenças numéricas e corrigir os dados, importantes para que a sonda alcançasse a órbita apropriada de Marte a tempo.

O erro fez com que a Mars chegasse 100 km mais perto que o planejado e 25 km abaixo do nível de segurança. A Nasa perdeu US$ 125 milhões.

Editoria de Arte/Folha Imagem

Oriente-se no exterior

Os tamanhos nem sempre são uniformes. Por isso, é importante provar as roupas antes de comprar, se possível

Blusas/pulôveres*

Brasil	EUA	Inglaterra
40	32	34
42	34	36
44	36	38
46	38	40
48	40	42
50	42	44
52	44	46

Camisas*

Brasil	EUA	Inglaterra

Casacos*

Brasil	EUA	Inglaterra
Masculino		
44	34	34
46	36	36
48	38	38
50	40	40
52	42	42
54	44	44
56	46	46
58	48	48
Feminino		

Calçados

Brasil	EUA	Inglaterra
Masculino		
39	7	6 1/2
40	7 1/2	7
41	8	7 1/2
42	8 1/2	8
43	9	8 1/2
43	9 1/2	9
44	10	9 1/2
44	10 1/2	10
45	11	10 1/2
45	11 1/2	11
Feminino		

Pesos e medidas

Brasil	EUA
454 gramas	1 libra (pound)
2,54 cm	1 polegada (inch)
30,48 cm	1 pé (foot)
1,6 km	1 milha (mile)
0,5 litro	1 pint
3,2 litros	1 galão (gallon)

Temperatura

Equivalência de temperaturas

Celsius (°C) 37 40 30 — Fahrenheit 104 98,6 86 (°F)

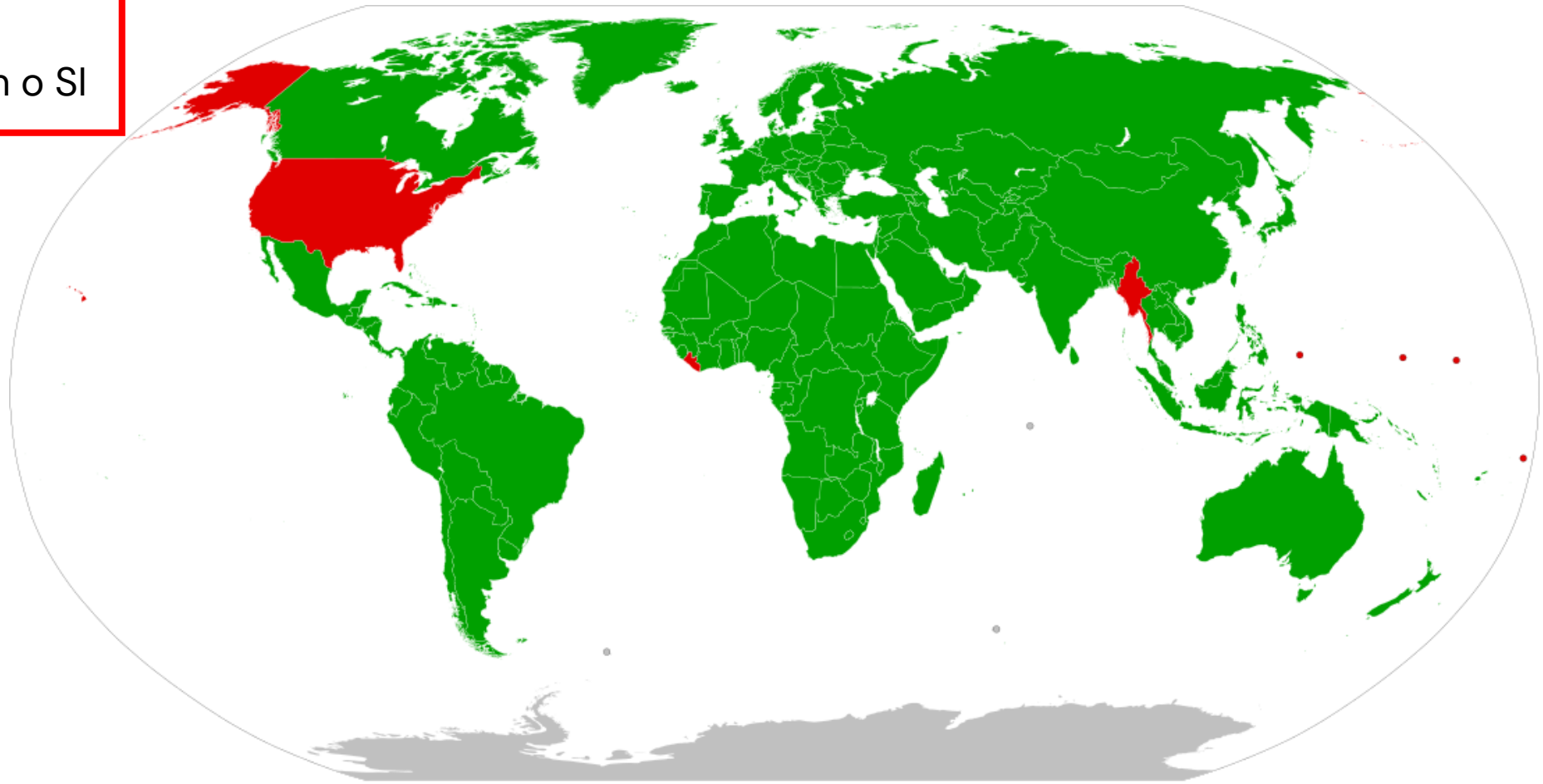
O Sistema Internacional de Unidades

- 1971 – 14ª. Conferência Geral de Pesos e Medidas
- 7 grandezas base do S. I. (atual) ou sistema métrico
  - Entre elas m, s, kg
  - Outras grandezas são expressas em termos das grandezas base:
    - Ex.: 1 Watt = 1 W = 1 kg m^2 s^{-3}



Países que utilizam o SI

Apenas EUA, Libéria
e Myanmar não utilizam o SI

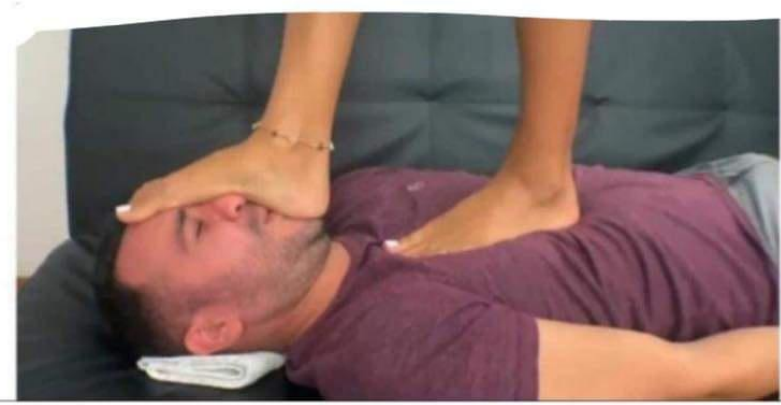


https://www.wikiwand.com/pt/articles/Prefixos_do_Sistema_Internacional_de_Unidades

how the whole world measures length



how americans measure length

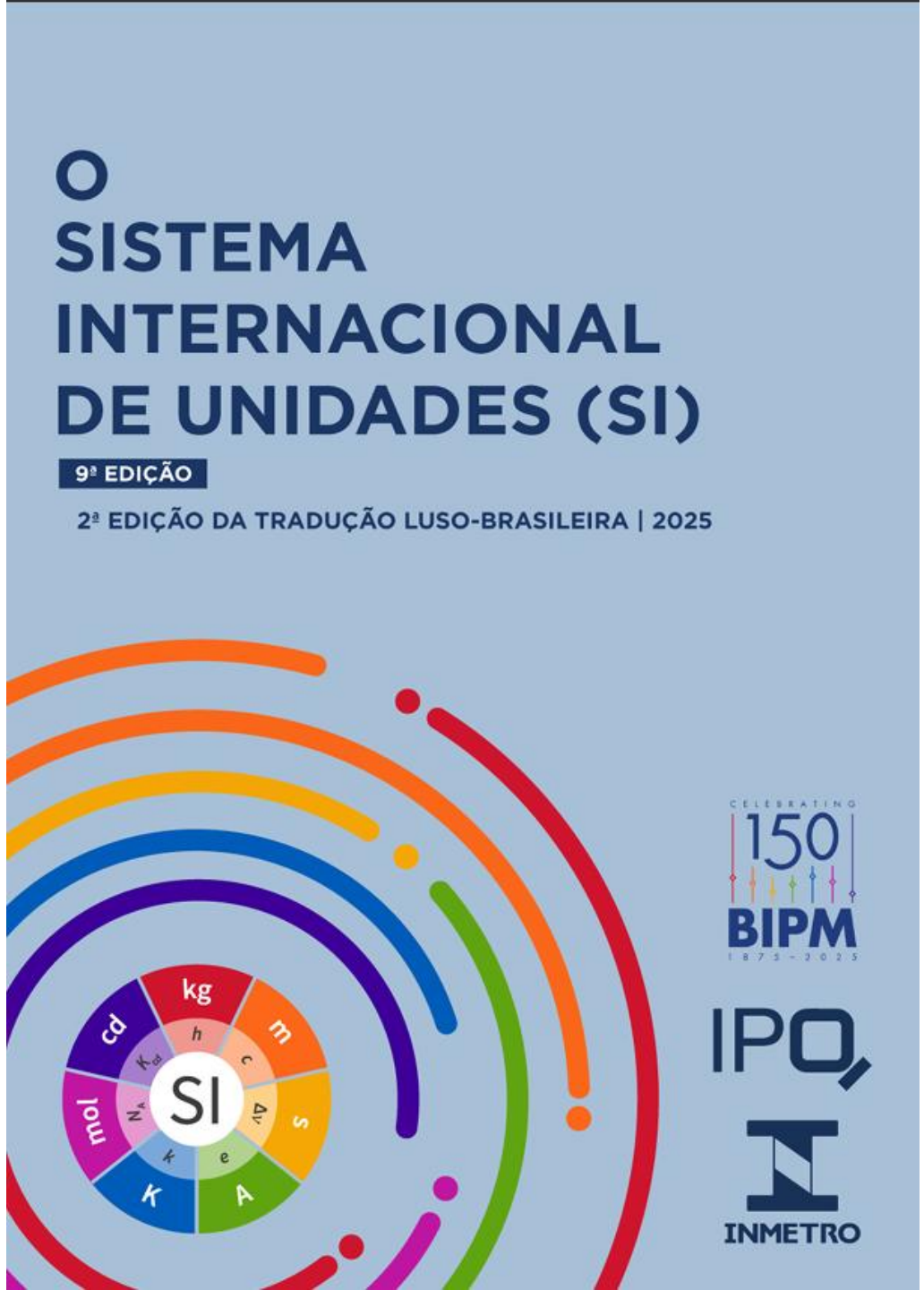


O Sistema Internacional de Unidades

Grandeza	Unidade de base (símbolo)	Como é definida	Constante definidora	Símbolo	Valor
Tempo	segundo (s)	Tomando o valor numérico fixado da frequência do césio, $\Delta\nu_{Cs}$, a frequência da transição hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de césio 133, igual a 9 192 631 770 quando expressa em Hz, unidade igual a s^{-1}.	Frequência da transição hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de césio 133	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770 Hz
Comprimento	metro (m)	Tomando o valor numérico fixado da velocidade da luz no vácuo, c, igual a 299 792 458 quando expressa em m s^{-1}, o segundo sendo definido em função de $\Delta\nu_{Cs}$.	Velocidade da luz no vácuo	c	299 792 458 m/s
Massa	kilograma ou quilograma (kg)	Tomando o valor numérico fixado da constante de Planck, h, igual a $6{,}626\,070\,15 \times 10^{-34}$ quando expressa em J s, unidade igual a kg m^2 s^{-1}, o metro e o segundo sendo definidos em função de c e $\Delta\nu_{Cs}$.	Constante de Planck	h	$6{,}626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J s
Corrente elétrica	ampere (A)	Tomando o valor numérico fixado da carga elementar, e, igual a $1{,}602\,176\,634 \times 10^{-19}$ quando expressa em C, unidade igual a A s, o segundo sendo definido em função de $\Delta\nu_{Cs}$.	Carga elementar	e	$1{,}602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C
Temperatura termodinâmica	kelvin (K)	Tomando o valor numérico fixado da constante de Boltzmann, k, igual a $1{,}380\,649 \times 10^{-23}$, quando expressa em J K^{-1}, unidade igual a kg m^2 s^{-2} K^{-1}, o kilograma, o metro e o segundo sendo definidos em função de h, c e $\Delta\nu_{Cs}$.	Constante de Boltzmann	k	$1{,}380\,649 \times 10^{-23}$ J/K
Quantidade de matéria	mol (mol)	Um mol contém exatamente $6{,}022\,140\,76 \times 10^{23}$ entidades elementares. Este número, chamado de "número de Avogadro", corresponde ao valor numérico fixado da constante de Avogadro, N_A, quando expressa em mol^{-1}. A quantidade de matéria, símbolo n, de um sistema, é uma representação do número de entidades elementares especificadas. Uma entidade elementar pode ser um átomo, uma molécula, um íon, um elétron, ou qualquer outra partícula ou grupo especificado de partículas.	Constante de Avogadro	N_A	$6{,}022\,140\,76 \times 10^{23}$ mol^{-1}
Intensidade luminosa	candela (cd)	Tomando o valor numérico fixado da eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência de 540×10^{12} Hz, K_{cd}, igual a 683, quando expressa em lm W^{-1}, unidade igual a cd sr W^{-1} ou cd sr kg^{-1} m^{-2} s^3, o kilograma, o metro e o segundo sendo definidos em função de h, c e $\Delta\nu_{Cs}$.	Eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz	K_{cd}	683 lm/W

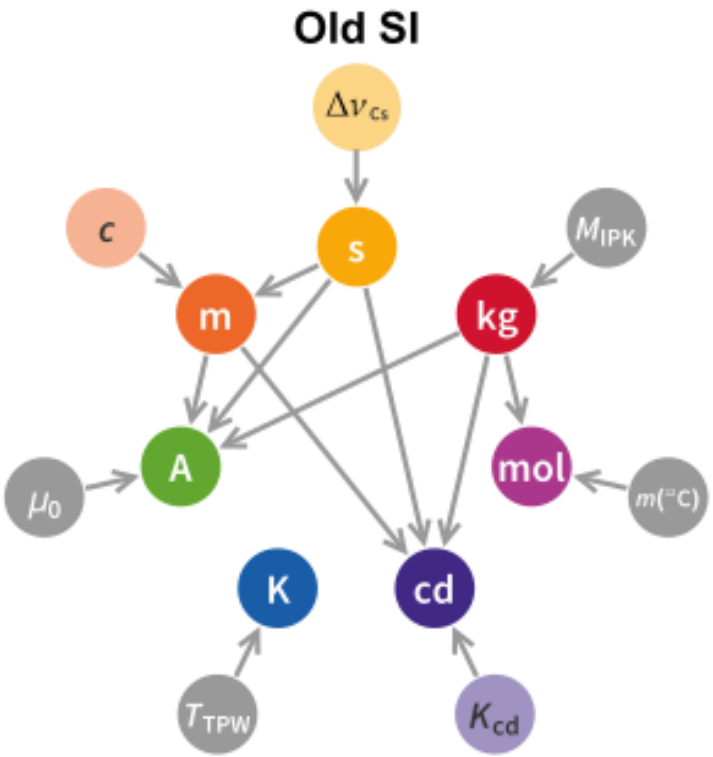
Válida a partir de 20 de maio de 2019 – GT Novo SI do Inmetro

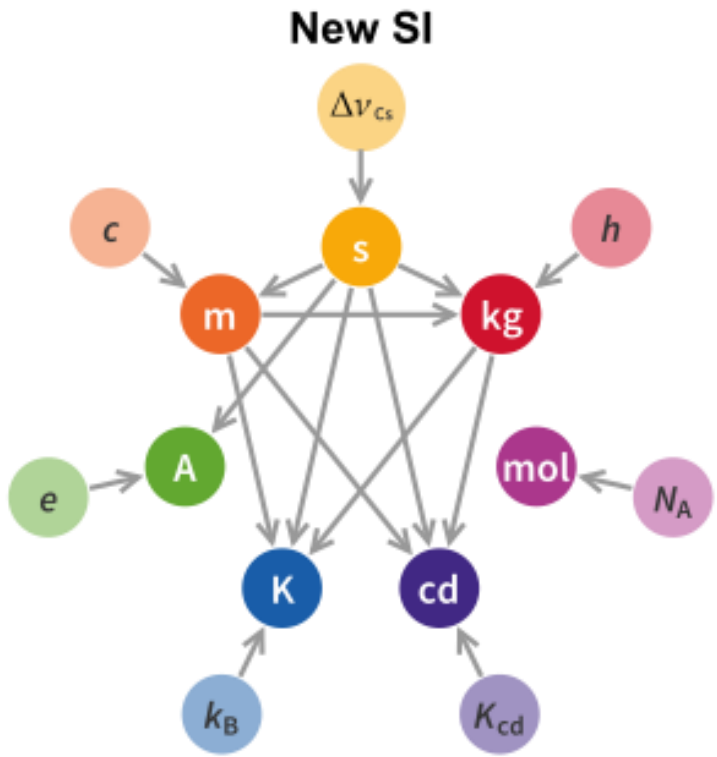




https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos-em-metrologia/si_versao_final.pdf

SI antes e após 2019





Prefixos do SI

Fator	Nome	Símbolo	Fator	Nome	Símbolo
10^{1}	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^{2}	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^{3}	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^{6}	mega	M	10^{-6}	micro	µ
10^{9}	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y
10^{27}	ronna	R	10^{-27}	ronto	r
10^{30}	quetta	Q	10^{-30}	quecto	q

- Ordens de grandeza, algarismos significativos
  - Precisão da medida
  - certeza

Mudança de unidades

- Multiplicar por 1
  - Fator de conversão

$$1 = \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}} \qquad 1 = \frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}$$



  - 2 min = ? s

$$2\ \text{min} = (2\ \text{min})(1) = (2\ \cancel{\text{min}}) \left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \cancel{\text{min}}} \right) = 120\ \text{s}$$

Exemplo

O arenque é um tipo de peixe abundante no Atlântico Norte. O “cran” é unidade de volume britânica para arenques frescos: 1 cran = 170,474 L de arenque, cerca de 750 arenques. Suponha que, para a liberação pela alfândega da Arábia Saudita, um carregamento de 1255 crans deva ser declarado em termos de covidos cúbicos, onde o covido é uma unidade de comprimento árabe: 1 covido = 48,26 cm. Qual é o volume declarado?

Exemplo: solução

- Dados:
  - 1 cran = 170,474 L (unid. de volume)
  - Aprox. 750 arenques
  - 1 covido = 48,26 cm
- Questão:
  - 1255 crans = ??? covidos³

- Multiplicar por 1 !!!!!

$$1255\,\text{crans} = 1255\,\text{crans}\cdot(1)\cdot(1)\cdot(1) =$$

$$= (1255\,\text{crans})\left(\frac{170,474\,L}{1\,\text{cran}}\right)\left(\frac{10^3\,\text{cm}^3}{1\,L}\right)\left(\frac{1\,\text{covido}}{48,26\,\text{cm}}\right)^3$$

$$= 1903\,\text{covidos}^3$$

Comprimento

- **1790** — A Assembleia Nacional da França decide que a medida do novo metro seria igual a medida do comprimento de um pêndulo com a metade do período com duração de um segundo.
- **1791** — A Assembleia Nacional da França aceita a proposta da Academia Francesa de Ciências da nova definição do metro ser igual a um décimo de milionésimo do comprimento do meridiano terrestre ao longo do quadrante passando por Paris, o qual é a distância entre o equador e o polo norte.
- **1795** — Barra métrica construída em latão.
- **1799** — A Assembleia Nacional da França especifica a barra métrica de platina, construída em 23 de Junho de 1799 e depositada nos Arquivos Nacionais, como o padrão.
- **1889** — A primeira Conferência Geral sobre Pesos e Medidas define o metro como a distância entre duas linhas numa barra padrão de uma liga de platina com 10% de irídio, medida na temperatura de fusão do gelo.

Comprimento

- **1927** — A sétima Conferência Geral sobre Pesos e Medidas ajusta a definição de metro como sendo a distância, a 0 °C, entre os eixos de duas linhas centrais marcadas numa barra protótipo de platina-irídio, esta barra estando sujeita a pressão padrão de uma atmosfera e suportada por dois cilindros de pelo menos um centímetro de diâmetro, simetricamente colocados no mesmo plano horizontal a uma distância de 571 milímetros um do outro.
- **1960** — A décima primeira Conferência Geral sobre Pesos e Medidas define o metro como igual a 1.650.763,73 comprimentos de onda no vácuo da radiação correspondente à transição entre os níveis quânticos $2p^{10}$ e $5d^5$ do átomo de Kr^{86}.
- **1983** — A décima sétima Conferência Geral sobre Pesos e Medidas define o metro como igual a distância percorrida pela luz durante o intervalo de tempo de 1⁄299.792.458 de segundo.
- **2002** — O Comitê Internacional de Pesos e Medidas recomenda que esta definição seja restrita a “distâncias, as quais são suficientemente curtas para que os efeitos preditos pela teoria geral da relatividade sejam desprezíveis com respeito às incertezas da medida."

Exemplo

A maior bola de barbante do mundo tem aproximadamente 2 m de raio. Na melhor aproximação de ordem de grandeza, qual é o comprimento total do barbante utilizado para produzir esta bola ?



The World's Largest Ball of Sisal Twine in 2011

Exemplo

- Dados:
  - R = 2 m
- Questão:
  - Comprimento L = ?
- Supondo:
  - Seção transv. quadrada
  - Sem espaços
  - d = 4 mm

- Solução:

$$V = d^2 L = \frac{4}{3}\pi R^3$$

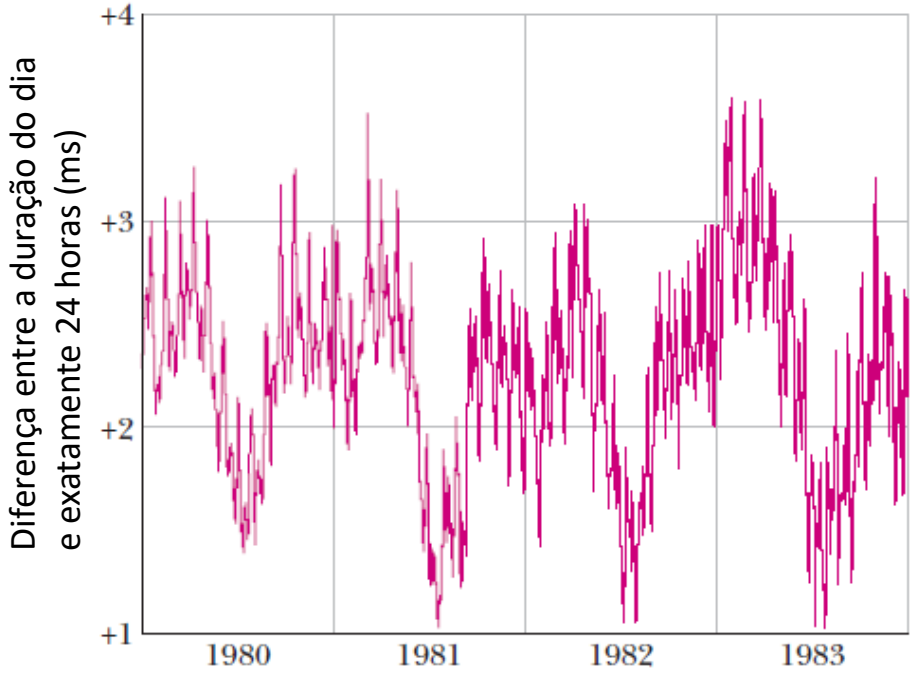
$$L \approx \frac{4R^3}{d^2} = \frac{4(2\,\mathrm{m})^3}{(4\times 10^{-3}\,\mathrm{m})^2}$$

$$= 2\times 10^6\,\mathrm{m} \approx 10^6\,\mathrm{m} = \boxed{10^3\,\mathrm{Km}}$$

1-2 Tempo

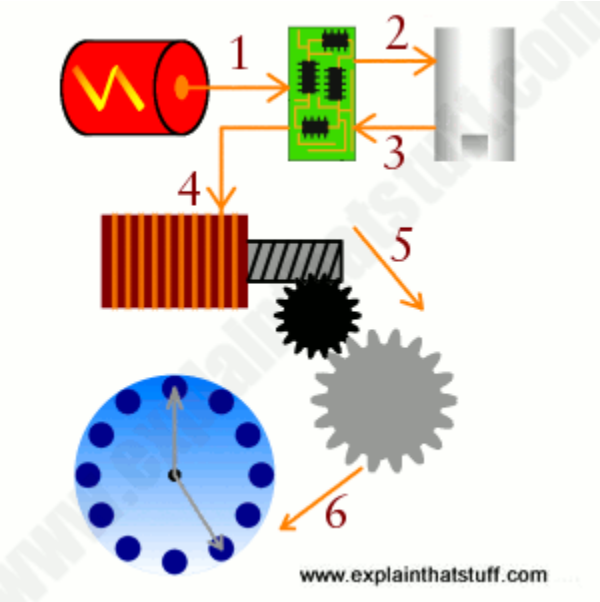
- Fenômeno periódico
  - Galileu – pulsações – depois: pêndulo
  - Dia – variação de sua duração
  - Mola – Inglaterra 1761
  - Até 1956 – dia solar médio no ano

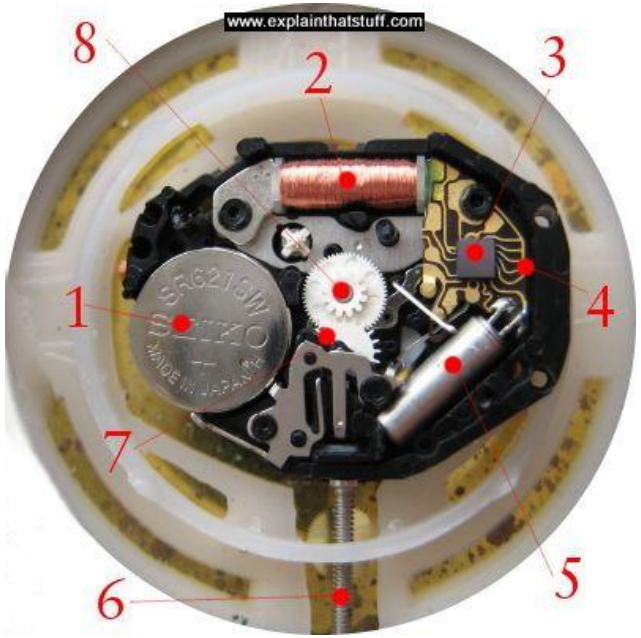
Imprecisão

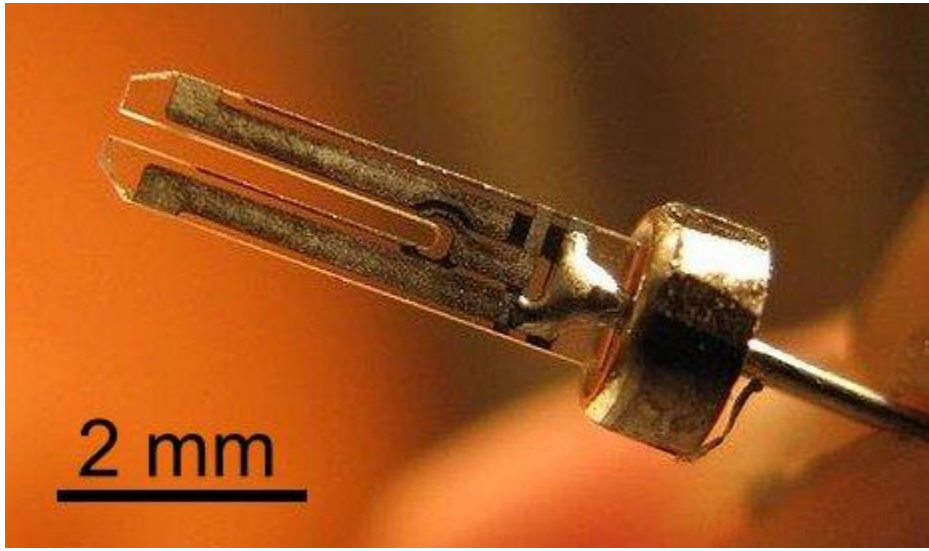


  - 1967 – 13ª. Conf. Geral de Pesos e Medidas
    - 1 s = 9.192.631.770 oscilações da luz emitida pelo ^{133}Cs
    - Relógios atômicos - Variações de 1 s em 6.000 anos – melhores 1 s em 30.000 anos
    - Maser – 1 s em 10^{14}

Tempo: relógio a quartzo

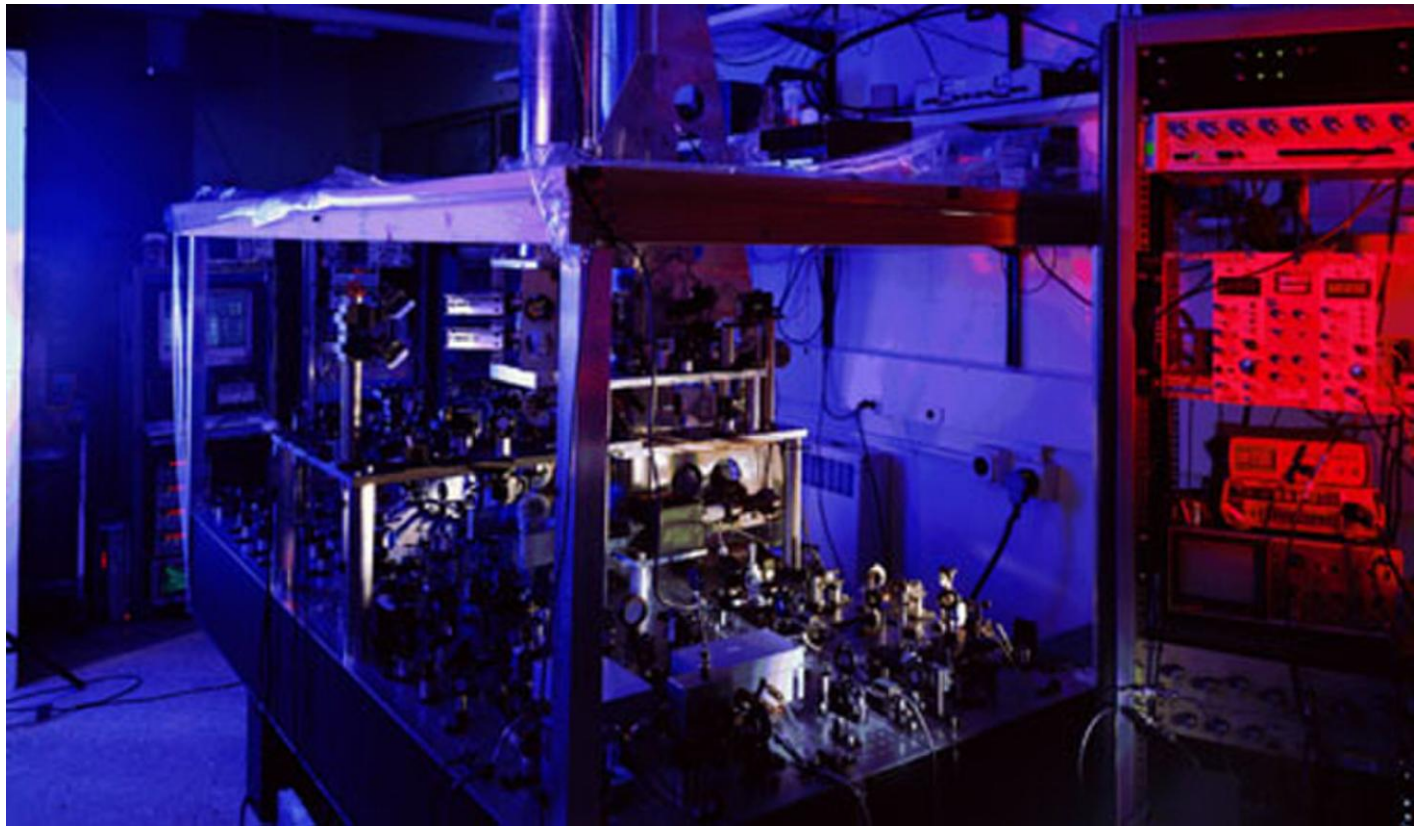






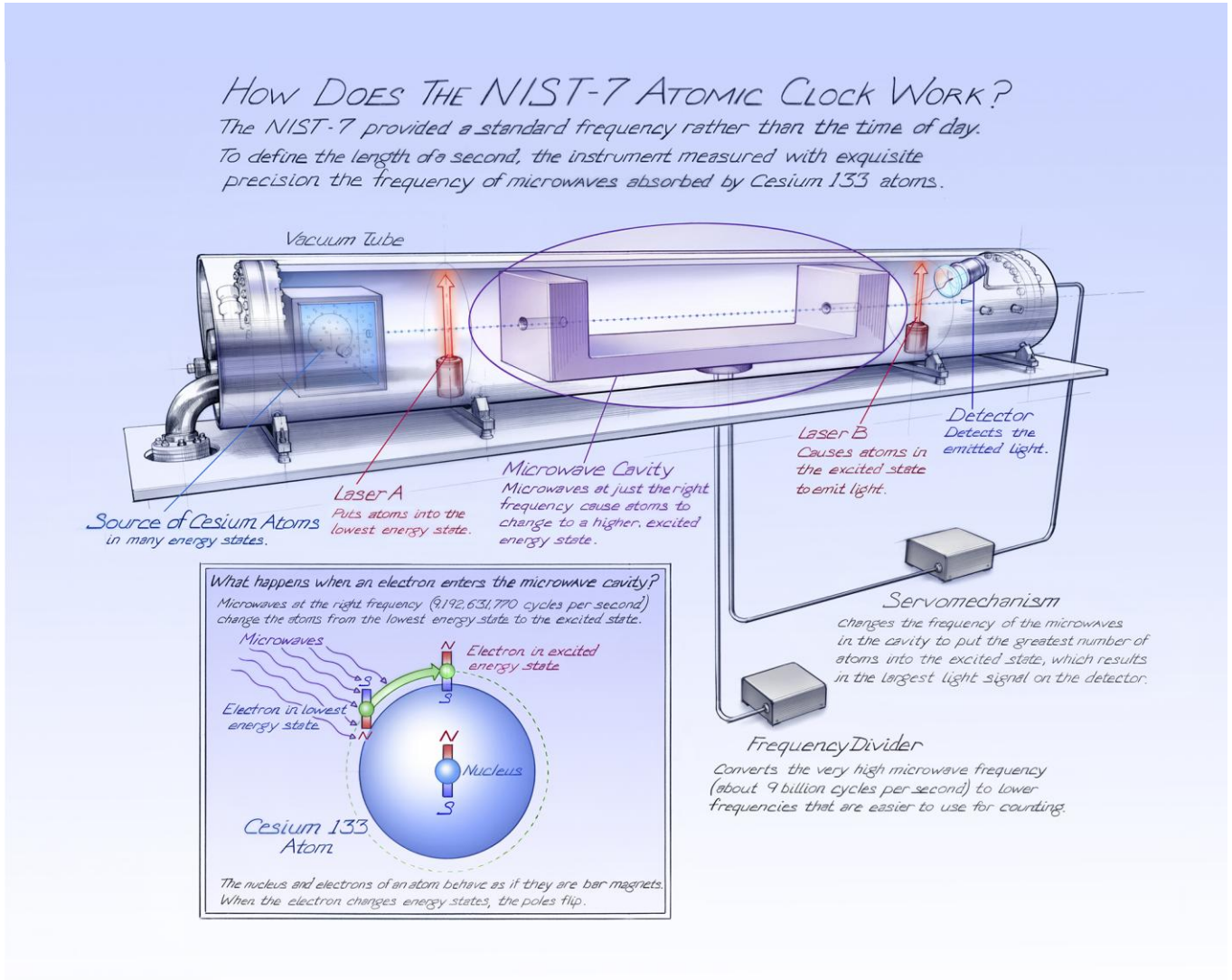
A bateria fornece corrente ao microchip (1), o qual faz o cristal de quartzo vibrar (2). O cristal de quartzo é cortado e moldado na forma de um diapasão, o qual oscila (vibra) 32.768 vezes por segundo. O microchip detecta as oscilações (3) e as transforma em pulsos elétricos regulares, um por segundo. Estes pulsos elétricos movimentam um motor de passo em miniatura (4). Este motor movimenta as engrenagens (5) e ponteiros (6).

Tempo: relógio atômico



NIST-F1, USA primary time and frequency standard, is among the most accurate clocks in the world.
Credit: NIST

Tempo: relógio atômico



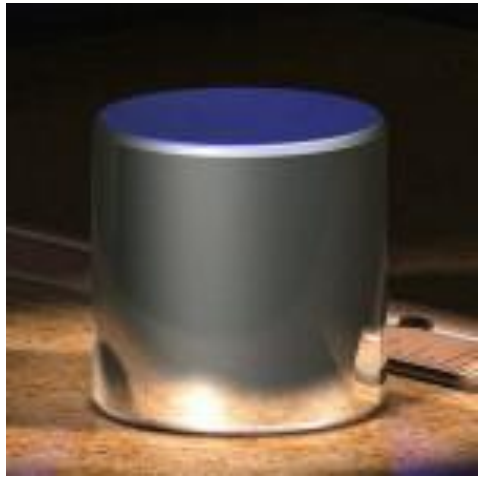
The NIST-7 provided a standard frequency rather than the time of day. To define the length of a second, the instrument measured with exquisite precision the frequency of microwaves absorbed by Cs^{133} atoms.

1-3 Massa

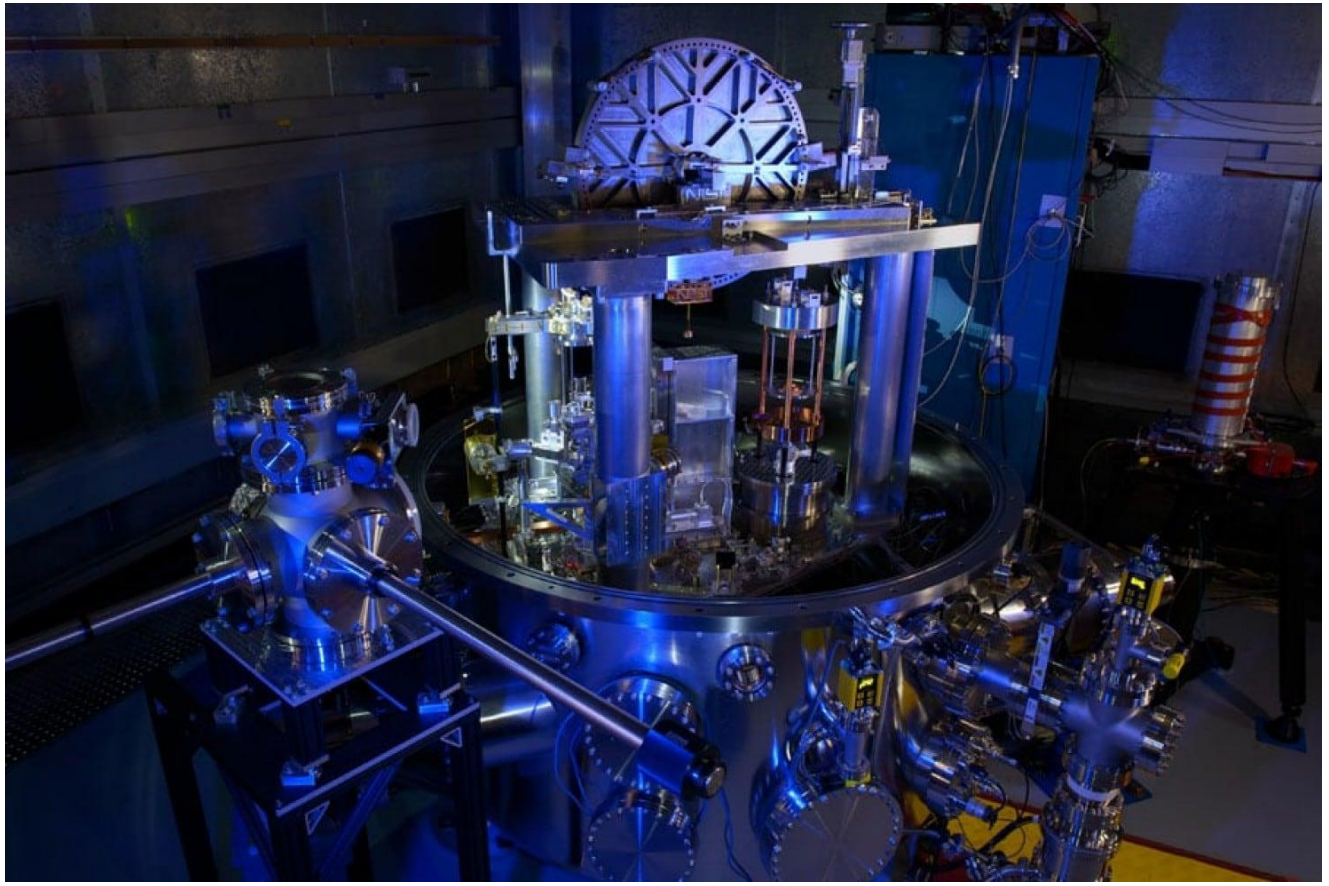
- O antigo quilograma padrão
  - Cilíndro de Pt-Ir

- Outro padrão de massa
  - ^{12}C – 12 u
  - 1 u = 1,66053886 x 10^{-27} kg



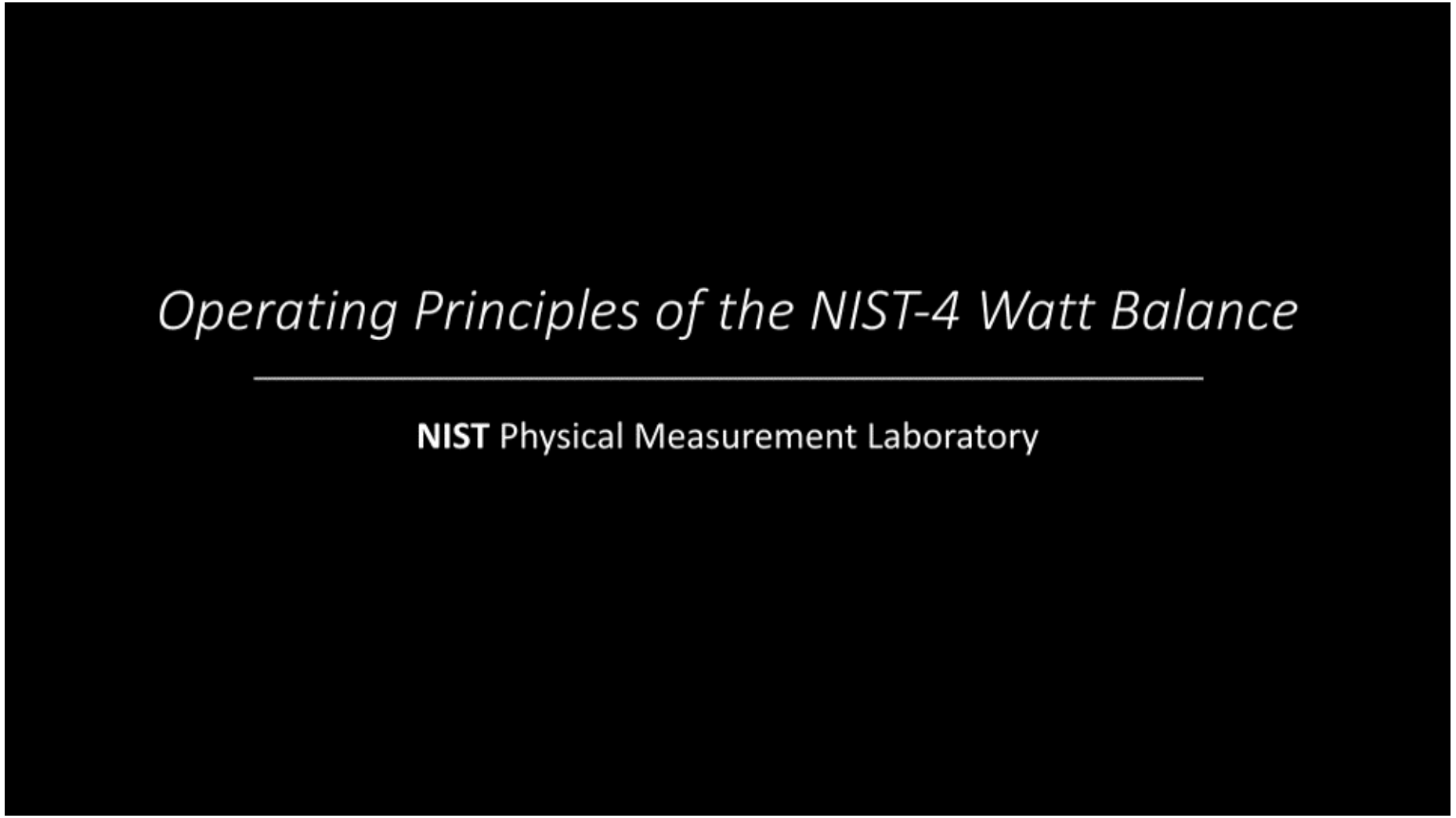


Massa – futuro do padrão



The NIST-4 Kibble balance. The instrument was used to calculate Planck's constant, an important step toward redefining the kilogram. (Jennifer Lauren Lee/NIST PML)

Massa – futuro do padrão



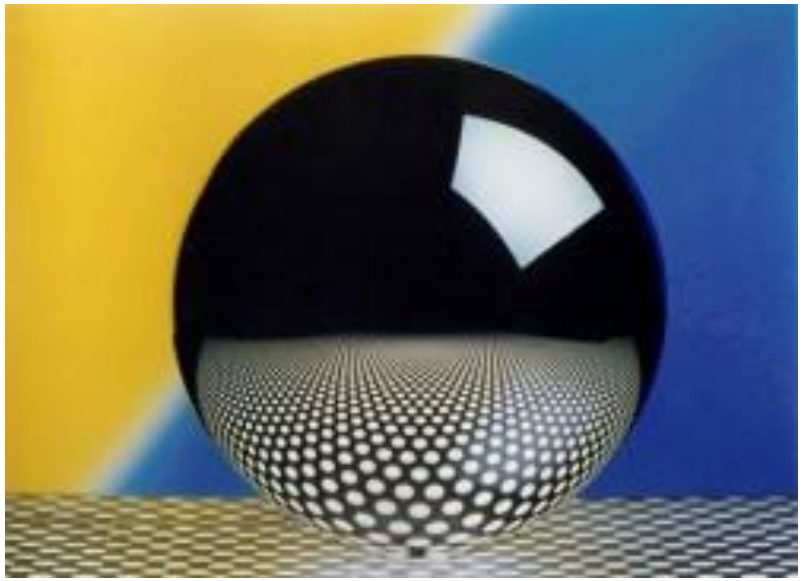
https://www.nist.gov/video/operating-principles-nist-4-watt-balance

Massa – evolução do padrão

Determinação precisa do Número de Avogadro:

“The International Avogadro Coordination (IAC) project formally began as an international effort whose scope was to determine the Avogadro constant NA with a relative uncertainty equal to or less than 2×10^{-8} using an isotopically enriched silicon crystal.”

$$N_a = (6,022140857 \pm 0,000000074) \times 10^{23}\ mol^{-1}$$



Após 2019

1 kg = $(299792458)^2/[(6.62607015\times10^{-34})(9192631770)]\ h\Delta\nu_{Cs}/c^2$.

Massa específica: densidade

- É a relação entre a massa e o volume ocupado por esta massa

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

Exemplo

Objetos pesados podem afundar no chão durante um terremoto se o tremor causar um efeito denominado de *liquefação*, no qual os grãos do solo experimentam pouca fricção ao deslizarem uns sobre os outros. O solo se transforma então em areia movediça. A possibilidade de liquefação pode ser prevista em termos da *razão de interstícios* ***e*** para uma amostra de solo:

$$e = \frac{V_{int}}{V_{gr}}$$

Onde V_{gr} é o volume total de grãos na amostra e V_{int} é o volume total de interstícios entre os grãos. Se ***e*** exceder o valor crítico de 0,80 a liquefação pode ocorrer durante o terremoto. Qual é a correspondente densidade da areia para este caso? Dióxido de Silício sólido (o componente principal da areia) tem densidade de 2.600 kg/m^3.

Exemplo: solução

- Dados:

$$e = \frac{V_{int}}{V_{gr}}$$

  - ρ_{SiO2}= 2.600 kg/m^3

- Questão:
  - e = 0,80 ⟹ ρ = ?

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad gr \approx SiO_2 \quad m \approx m_{SiO_2}$$

$$V = V_{int} + V_{gr}$$

$$\rho = \frac{m_{SiO_2}}{V_{int} + V_{SiO_2}}$$

$$\rho_{SiO_2} = 2600\, kg/m^3 = \frac{m_{SiO_2}}{V_{SiO_2}} \Rightarrow m_{SiO_2} = \rho_{SiO_2} V_{SiO_2}$$

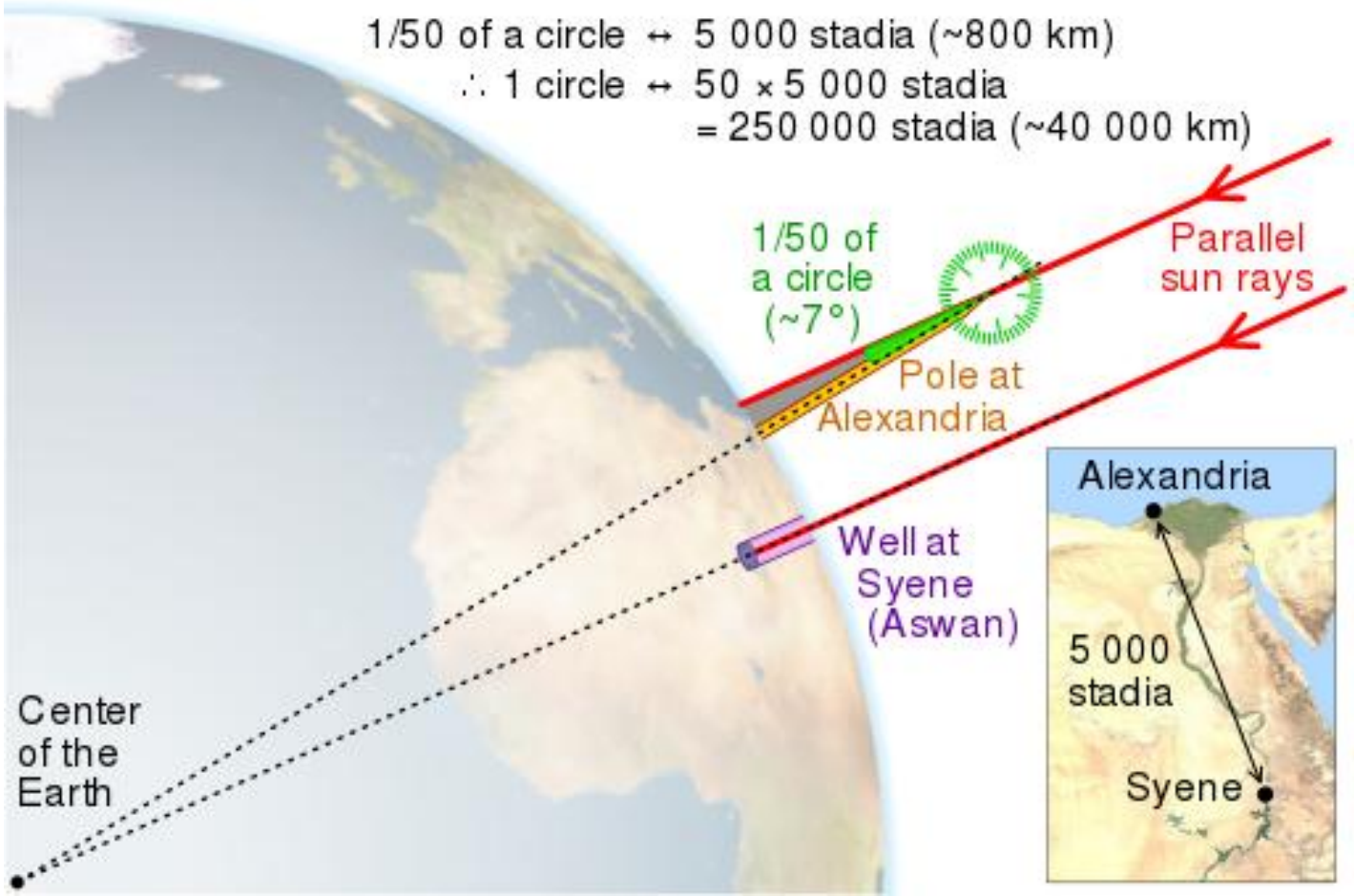
$$e = \frac{V_{int}}{V_{gr}} \Rightarrow V_{int} = eV_{gr} = eV_{SiO_2}$$

$$\rho = \frac{\rho_{SiO_2} V_{SiO_2}}{eV_{SiO_2} + V_{SiO_2}} = \frac{\rho_{SiO_2}}{e+1} \approx \boxed{1444\, kg/m^3}$$

Exemplo 1

No dia do solstício de verão (dia mais longo do ano), na cidade de Siena (hoje Assuã ou Assuão), ao meio dia, os raios solares eram exatamente verticais, o que Eratóstenes (Ἐρατοσθένης) (século III a. C.) verificou pela ausência de sombra de uma estaca vertical. Ao mesmo tempo em Alexandria, a norte de Siena sobre o mesmo meridiano, os raios solares faziam um ângulo de $7{,}2^{o}$ com a vertical (fio de prumo). Conhecendo a distância entre Alexandria e Siena, de 5.000 stadia (1 stadium = 157 m), Eratóstenes determinou a circunferência da Terra. Mostre como este cálculo foi realizado por Eratóstenes.

Exemplo: solução



https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_geodesy

Exemplo 2

Um estudante da UFPR foi selecionado para uma bolsa de estudos para passar um semestre na Universidade de Columbia, na cidade de Nova Iorque nos Estados Unidos. Devido à informação da universidade americana sobre a dificuldade de encontrar moradia na cidade de Nova Iorque, ele decidiu se antecipar e, aqui do Brasil, procurar um apartamento para morar durante o período da bolsa. Consultando uma página da internet dedicada a aluguel de moradias em Nova Iorque, ele encontrou o seguinte anúncio:

"1bedroom apartment 700 sqft, rent: $ 1,500. Located at 825 West 187th Street, New York, NY". (Tradução livre do anúncio: "Apartamento com área de 700 pés quadrados (700 ft^2), de 1 quarto, aluguel: US$ 1.500,00 (um mil e quinhentos dólares americanos). Localizado na Rua 187ª. Oeste, no. 825, Nova Iorque, NY").

(a) Sabendo-se que 1 pé (1 ft) é igual a 12 polegadas (12 in), e que 1 polegada é igual a 2,54 cm, calcule a área do apartamento anunciado em metros quadrados (m^2).

(b) Sabendo-se que 1 US$ (um dólar americano) é aproximadamente igual a R$ 5,80 (cinco Reais e oitenta centavos) atualmente, calcule o valor do aluguel do apartamento em Reais e depois calcule o valor do aluguel deste apartamento por metro quadrado também em Reais.

Exemplo 3



Imagine que você esteja planejando fazer um estágio nos EUA durante a sua graduação. Como a moradia seria longe da empresa, local do estágio, e com pouco acesso por transporte público, você decide investir na compra de um automóvel. O anúncio ao lado foi pesquisado com o intuito de efetivar a compra deste carro. Para saber se você teria um orçamento compatível, precisa saber dos dados e das especificações do carro nas unidades de medida, as quais está acostumado.

(a) O anúncio mostra que o preço inicial de compra do automóvel SONATA da Hyundai é US$ 26.900,00 (vinte e seis mil e novecentos dólares americanos). Qual o preço do automóvel em Reais (R$), sabendo-se que a cotação atual é aproximadamente US$ 1 = R$ 5,25 (cinco Reais e vinte e cinco centavos).

(b) O mesmo anúncio revela que o gasto de combustível do automóvel é de 28 MPG (Miles per Gallon (milhas por galão americano)) na cidade e 38 MPG na autoestrada. Calcule os valores do gasto de combustível na cidade, bem como na autoestrada, nas unidades de Km/L (quilômetros rodados por litro de combustível), sabendo-se que 1 milha = 1.609,34 m e 1 galão americano = 3,7854 L.

Lista de exercícios

Halliday 9ª. Edição

Cap. 1:

Problemas 2; 4; 9; 12; 16; 25; 26; 33; 47; 51

OU
Halliday 10ª. Edição (tradução dos números da 9ª. Edição)
Cap. 1:
Problemas 2; 4; 9; 12; 16; 25; 26; 33; 47; 51

Problema 1-2

O *gry* é uma antiga medida inglesa de comprimento, definida como 1/10 de uma *linha*; *linha* é outra medida inglesa de comprimento, definida como 1/12 de uma *polegada*. Uma medida de comprimento usada nas gráficas é o ponto, definido como 1/72 de uma *polegada*. Quanto vale uma área de 0,50 gry^2 em *pontos quadrados* ($pontos^2$)?

Problema 1-4

As dimensões das letras e espaços neste livro são expressas em termos de pontos e paicas: 12 pontos = 1 paica e 6 paicas = 1 polegada. Se em uma das provas do livro uma figura apareceu deslocada de 0,80 cm em relação à posição correta, qual foi o deslocamento (a) em paicas e (b) em pontos?

Problema 1-9

A Antártica é aproximadamente semicircular, com raio de 2000 km (Figura abaixo). A espessura média da cobertura de gelo é 3000 m. Quantos centímetros cúbicos de gelo contém a Antártica? (Ignore a curvatura da Terra.)



Problema 1-12

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 taxa de crescimento da planta em micrômetros por segundo?

Problema 1-16

Os padrões de tempo são baseados atualmente em relógios atômicos, mas outra possibilidade seria usar os pulsares, estrelas de nêutrons (estrelas altamente compactas, compostas apenas de nêutrons) que possuem um movimento de rotação. Alguns pulsares giram com velocidade constante, produzindo um sinal de rádio que passa pela superfície da Terra uma vez a cada rotação, como o feixe luminoso de um farol. O pulsar PSR 1937 + 21 é um exemplo; ele gira uma vez a cada 1,557 806 448 872 75 ± 3 ms, em que o símbolo ±3 indica a incerteza na última casa decimal (e não ± 3 ms). (a) Quantas rotações o PSR 1937 + 21 executa em 7,00 dias? (b) Quanto tempo o pulsar leva para girar exatamente um milhão de vezes e (c) qual é a incerteza associada?

Problema 1-25

Durante uma tempestade, parte da encosta de uma montanha, com 2,5 km de largura, 0,80 km de altura ao longo da encosta e 2,0 m de espessura, desliza até um vale em uma avalanche de lama. Suponha que a lama fique distribuída uniformemente em uma área quadrada do vale com 0,40 km de lado e que a lama tem uma massa específica de 1.900 kg/m^3. Qual é a massa da lama existente em uma área de 4,0 m^2 do vale?

Problema 1-26

Em um centímetro cúbico de uma nuvem cúmulo típica existem de 50 a 500 gotas d'água, com um raio típico de 10 µm. Para essa faixa de valores, determine os valores mínimo e máximo, respectivamente, das seguintes grandezas: (a) o número de metros cúbicos de água em uma nuvem cúmulo cilíndrica com 3,0 km de altura e 1,0 km de raio; (b) o número de garrafas de 1 litro que podem ser enchidas com essa quantidade de água; (c) a massa da água contida nessa nuvem, sabendo que a massa específica da água é 1000 kg/m^3.

Problema 1-33

A tonelada é uma medida de volume frequentemente empregada no transporte de mercadorias, mas seu uso requer uma certa cautela, pois existem pelo menos três tipos de tonelada: uma tonelada de deslocamento é igual a 7 barrels bulk, uma tonelada de frete é igual a 8 barrels bulk, e uma tonelada de registro é igual a 20 barrels bulk. O barrel bulk é uma medida de volume: 1 barrel bulk = 0,1415 m^3. Suponha que você esteja analisando um pedido de “73 toneladas” de chocolate M&M e tenha certeza de que o cliente que fez a encomenda usou “tonelada” como unidade de volume (e não de peso ou de massa, como normalmente). Se o cliente estava pensando em toneladas de deslocamento, quantos alqueires americanos em excesso você vai despachar, se interpretar equivocadamente o pedido como (a) 73 toneladas de frete e (b) 73 toneladas de registro? (1 m^3 = 28,378 alqueires americanos.)

Problema 1-47

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.

Problema 1-51

O "cúbito" ou "côvado" é uma das unidades de medida mais antigas das quais se tem notícia, utilizada no velho Egito há cerca de 50 séculos e definido pelo comprimento do braço medido do cotovelo à extremidade do dedo médio distendido. Assuma que esta distância varia entre 43 e 53 cm, e suponha que desenhos antigos indicam que um pilar cilíndrico era para ter uma altura de 9 cúbitos e um diâmetro de 2 cúbitos. Para os limites estipulados, determine os valores mínimo e máximo, respectivamente, para

a) A altura do pilar cilíndrico em metros;

b) O volume do pilar cilíndrico em metros cúbicos.