Física Básica

Frederico Guilherme de Carvalho Cunha

CESAD
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR A DISTÂNCIA - UFS

São Cristóvão/SE
2009

Física Básica

Elaboração de Conteúdo
Frederico Guilherme de Carvalho Cunha

Projeto Gráfico e Capa
Hermeson Alves de Menezes

Diagramação
Lucílio do Nascimento Freitas

Ilustração
Gerri Sherlock Araújo

Revisão
Christianne de Menezes Gally

Reimpressão

Ficha catalográfica produzida pela Biblioteca Central
Universidade Federal de Sergipe

C972f	Cunha, Frederico Física básica / Frederico Cunha -- São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2009. 1. Física quântica. 2. Leis da física. 3. Dilatação volumétrica. I. Título. CDU 542.06

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos"
Av. Marechal Rondon, s/n - Jardim Rosa Elze
CEP 49100-000 - São Cristóvão - SE
Fone(79) 2105 - 6600 - Fax(79) 2105- 6474

Sumário

AULA 1
Introdução à Mecânica 07

AULA 2
Cinemática em uma dimensão 27

AULA 3
Velocidade Instantânea 47

AULA 4
Queda livre 71

AULA 5
Cinemática em duas dimensões 89

AULA 6
Movimento de projéteis 109

AULA 7
Movimento circular uniforme 125

AULA 8
Primeira e segunda Lei de Newton 143

AULA 9
Terceira Lei de Newton 157

AULA 10
Velocidade terminal 173

AULA 11
Condições de equilíbrio 187

AULA 12
Conservação da energia 207

AULA 13
Densidade e gravidade específica I 223

AULA 14
Densidade e gravidade específica II 237

AULA 15
Princípio de Arquimedes 251

AULA 16
Lei Zero da Termodinâmica 263

AULA 17
Calor e energia interna 279

AULA 18
Primeira lei da termodinâmica... 291

AULA 19
Transferência de energia 299

AULA 20
Teoria Cinética dos Gases 311

Aula

1

INTRODUÇÃO À MECÂNICA

META

Introduzir os princípios básicos de notação científica.

OBJETIVOS

Ao final desta aula o aluno deverá:
reconhecer os padrões de comprimento, massa e tempo;
utilizar corretamente os prefixos que indicam potências positivas e negativas de dez;
realizar uma análise dimensional;
proceder à conversão de unidades entre os diversos sistemas;

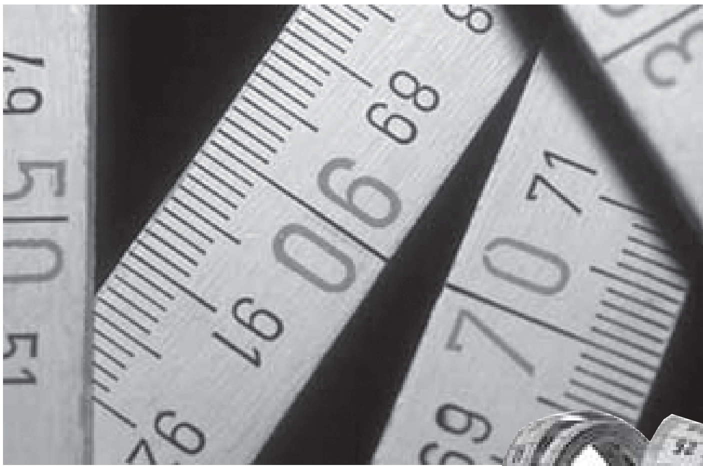
PRÉ-REQUISITOS

Conhecimentos básicos de física adquiridos no ensino médio.

(Fonte: http://bp2.blogger.com).

INTRODUÇÃO

Nesta aula, faremos a introdução do material fundamental para estabelecer a linguagem utilizada durante o curso de física básica. Por se tratar de uma disciplina da área das ciências exatas, torna-se necessário que se definam muito claramente quais serão os termos utilizados durante todo o curso. Muitos conceitos físicos têm uma nomenclatura que facilmente nos induz ao erro, uma vez que a mesma palavra que designa uma série de eventos no dia a dia, na física tem apenas um significado muito bem definido. Levando estas premissas em consideração, trataremos dos sistemas de medidas e unidades mais comuns no mundo; aprenderemos como realizar conversões entre sistemas diferentes e veremos como uma análise dimensional bem feita nos indica o caminho certo.



(Fonte: http://www.planetaeducacao.com.br)

Nós vamos começar este curso discutindo como é que faremos para nos comunicar. O problema parece simples quando a nossa linguagem é coloquial, mas estamos agora falando de ciência; e queremos que nossa voz seja ouvida em todos os lugares, e compreendida! Todos os dias, ouvimos na televisão qual é a cotação do Dólar e do Euro em relação ao nosso Real. Esta informação é muito útil para aquelas pessoas que pretendem viajar para outras partes do mundo ou que pretendem fazer investimentos financeiros. Neste nosso cantinho, esta informação serve para ilustrar as diferenças entre os países: nos Estados Unidos, usa-se o dólar como "padrão monetário" (ou seja, a moeda); na Europa usa-se o Euro, e aqui usamos o Real. Talvez alguns de vocês saibam que há apenas alguns anos, ~~atrás~~ não existia o Euro! Cada país europeu tinha a sua própria moeda local, tais como o Marco alemão, a Lira italiana, o Franco francês ~~, e~~ etc. As razões que levaram estes países a unificar suas moedas não são agora relevantes, mas esta variedade de moedas nos ajuda a entender como funcionava o sistema de unidades físicas há algum tempo...

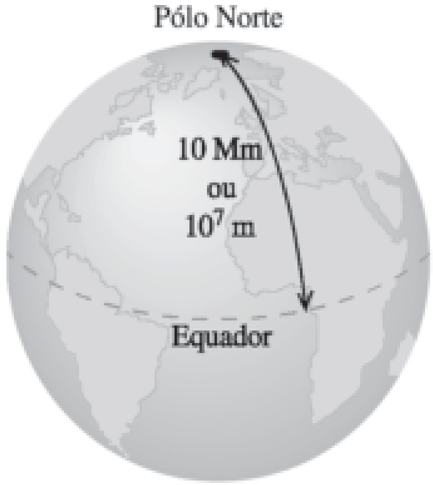
HISTÓRIA DO METRO

Por volta de 1780, os pesos e medidas franceses estavam uma bagunça, com dúzias de unidades, sendo que cada uma tinha dúzias ou mesmo centenas de variedades locais. Nenhuma outra nação sofria com tal disparidade entre as demandas de uma economia em industrialização e a variedade de seus sistemas de unidades. Muito antes da Revolução Francesa, os mais variados atores políticos estavam clamando por uma reforma "metrológica" (no sistema de pesos e medidas). Havia também um sentimento generalizado (graças à influência de Jean-Jaques Rousseau) de que as unidades deveriam ser, de algum modo, "naturais".

Jean Picard, Olaus Rømer e outros astrônomos famosos na época sugeriram que a unidade de comprimento fosse definida como sendo o comprimento de um pêndulo cujo período durasse exatamente um segundo (o período de um pêndulo é o tempo que ele leva para dar um balanço completo). Mas já se sabia a esta época que pêndulos idênticos, instalados em locais diferentes têm períodos diferentes, de tal modo que esta definição exigiria especificar o local onde se encontraria tal pêndulo.

Em 1790, Talleyrand, bispo de Autun àquela época, sugeriu que fosse utilizado o período do pêndulo localizado em Paris, na latitude 45º N. Ele também sugeriu que a Academia de Ciências em Paris colaborasse com a Sociedade Real de Londres para a definição da nova unidade.

Ao final de 1790, a Academia entregou o problema para uma ilustre comissão formada por: Lagrange, Laplace, Borda, Monge, e Condorcet. No seu relatório para a Academia de 19 de março de 1791, a comissão recomendou que se esquecesse o pêndulo. Ao invés disso, sugeriram que a nova unidade de comprimento fosse o correspondente a um décimo - milionésimo da distância, ao nível do mar, entre o pólo e o Equador.



De um ponto de vista puramente metrológico, tomar tal distância como padrão não faz nenhum sentido. Quaisquer duas medidas de tal distância fatalmente terão uma diferença extremamente elevada. Também não existia qualquer relação entre uma milha náutica utilizada pelos navegadores e as distâncias interestelares utilizadas pelos astrônomos. Apesar distso, a idéia de que a unidade básica deveria ser uma fração do tamanho da Terra era muito atraente para o espírito renascentista de buscar um padrão na natureza.

A assembléia aprovou a unidade em 26 de março de 1791 e foram iniciados os trabalhos para determinar tal distância. Obviamente (por quê?) seria impossível medir a distância total. Ninguém jamais tivera visitado o Pólo Norte! Mas se alguém pudesse medir com uma razoável precisão uma boa parcela de um meridiano, então se poderia calcular o restante. Os dois extremos desta linha deveriam estar ao nível do mar e em algum lugar no meio da distância entre o pólo e o Equador. Por acaso só existe um lugar assim: a partir de Dunquerque até Barcelona, que cobre mais ou menos um décimo da distância entre o pólo e o Equador. A distância se encontra praticamente toda em território francês, o que não escapou aos olhos dos franceses.

A pesquisa foi iniciada por P. F. A. Méchain e J. B. J. Delambre. No verão de 1792, Delambre começou seu trabalho em direção ao sul, a partir da costa, próximo a Dunquerque, enquanto Méchain foi para o norte a partir do mar Mediterrâneo. Em setembro foi declarada a república. A revolução francesa estava a todo vapor. Em apenas alguns meses a França entrou em guerra com a Inglaterra, Áustria, Prússia, Holanda e Espanha;

Luis XVI já havia sido executado e a violência se disseminava pelo país. Em tal clima os pesquisadores eram presos regularmente.

Em oito de agosto de 1793, a Convenção Nacional destituiu a Academia de Ciências por não considerá-la republicana! O comitê de Segurança Pública, no entanto, continuava com seus trabalhos e precisava da ajuda dos membros da Academia, e, por istso, convenceram a Convenção a criar uma comissão nova e temporária (Commission temporaire des poids et mesures républicains) com os mesmos membros. Em novembro, Lavoisier foi preso, a comissão pediu a sua libertação, o Comitê respondeu expulsando mais cinco membros da comissão, incluindo aí Delambre. Notando para onde soprava o vento, a comissão passou a fazer denúncias revolucionárias dos antigos pesos e medidas. Delambre achava que eles deveriam abandonar o projeto completo de medir um meridiano e apenas aceitar o metro provisório.

Mas a guerra exige o uso de mapas. Um cartógrafo militar que também era Jacobino foi designado para fazer os mapas. Como precisava de pessoal treinado, ele trouxe Delambre e Méchain de volta a Paris.

Em sete de abril de 1795 foi dada a ordem estabelecendo os nomes que conhecemos hoje (metro, litro e grama) e também restabelecendo a comissão (exceto Lavoisier que havia sido guilhotinado no ano anterior...) para reiniciar as medidas para o metro.

Delambre terminou sua parte no segundo semestre de 1797, mas Méchain ainda precisava chegar a Rodes, o que só foi possível, devido à sua saúde, em setembro de 1798.

Neste ponto, excetuando-se pelos lados de dois triângulos, apenas ângulos haviam sido medidos: os ângulos de triângulos contíguos que iam desde Dunquerque até Barcelona. Se qualquer um dos lados destes triângulos fosse conhecido, então as dimensões de todos os outros poderiam ser calculados, e, a partir deles, a distância ao longo do meridiano.

Em 28 de novembro de 1798, os franceses organizaram um painel internacional de especialistas de vários países. Um dos comitês consistiu de quatro pessoas, onde cada um deles calculou o comprimento do metro a partir das medidas de Delambre e Méchain. Seus cálculos tiveram resultados idênticos. O metro foi estabelecido como sendo uma parcela desta distância.

Hoje em dia o quadrante da terra pode ser calculado com relativa facilidade utilizando satélites. Estas medidas indicam que o metro é na realidade algo em torno de 0,2 mm menor que um décimo milionésimo do quadrante da terra. O fato realmente impressionante deste fato não é que o metro não corresponde à sua concepção original, mas que dois pesquisadores do século 18 pudessem chegar tão perto!

Desde 1795 o joalheiro real produzia barras de platina de quatro mm de espessura, 25.3 mm de largura e aproximadamente um metro provisório de comprimento, com extremidades paralelas. O comprimento destas barras foi comparado com o comprimento do metro determinado pela pesquisa. Aquela barra que mais se aproximava do metro medido (a 0º C) foi depositada nos Arquivos Nacionais em 22 de junho de 1799 e desde então tem sido conhecido como "Mètre des Archives". O sistema métrico foi legalizado em 10 de dezembro de 1799.

O interesse internacional levou à realização de duas conferências internacionais (Commission Internationale du Mètre) em 1870 e 1872 para discutir a padronização do metro. Os participantes resolveram trocar o padrão até então utilizado por outro, feito de uma liga de platina e irídio (90% Pt e 10% Ir) por ser mais dura.

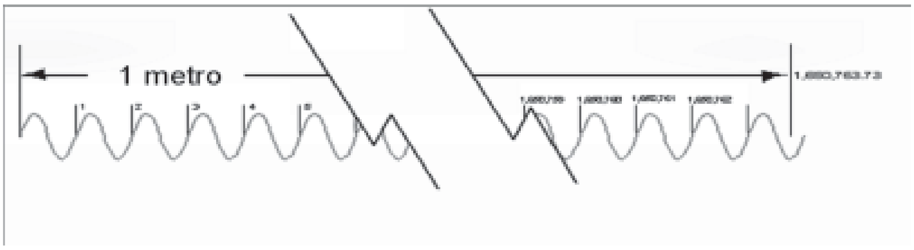
Em 1875, vinte países participaram da terceira conferência. Dezoito deles assinaram um acordo (Convention du Mètre) que estabeleceu o "Bureau International des Poids et Mésures". Finalmente em 1889 o protótipo final foi acondicionado no "Bureau International des Poids et Mésures" sendo até hoje preservado.

O METRO DEFINIDO PELA LUZ

A idéia de definir a unidade de distância em termos do comprimento de onda da luz foi ventilada no início do século XIX (J. Babinet, 1827). A luz "branca" na verdade é uma mistura de feixes de luz de diferentes comprimentos de onda. Para definir uma unidade de comprimento em função do comprimento de onda só precisamos de luz de um único comprimento de onda. Tal tipo de luz é chamado de monocromático. A obtenção deste tipo de luz não é muito difícil, bastando, por exemplo, colocar em combustão um material puro. Por exemplo, ao atirarmos sal de cozinha nas chamas de um fogão obtemos uma chama amarela, ou seja, recebemos feixes de luz monocromáticos. Estes feixes são provenientes da excitação eletrônica dos átomos de sódio. Esta luz é a mesma que vemos hoje em dia nas lâmpadas de vapor de sódio encontradas nas ruas.

Em 1892 Michelson e Benoit tiveram sucesso nas medidas do metro em termos do comprimento de onda da luz vermelha emitida por átomos de Cádmio. Benoit e outros aprimoraram suas medidas e em 1907 a "International Solar Union" definiu o Angstrom internacional, uma unidade de medida utilizada para medir comprimentos de onda e que iguala o comprimento de onda da linha vermelha do Cádmio a 6438.4696 Angstroms internacionais.

Infelizmente se percebeu que a linha vermelha do Cádmio não era clara o suficiente para a padronização do metro. Intensas pesquisas foram realizadas e finalmente o Kriptônio 86 foi escolhido em 1960 para o padrão, redefinindo o metro como sendo "o comprimento equivalente a 1 650 763.73 comprimentos de onda no vácuo da radiação correspondente à transição entre os níveis $2p^{10}$ e $5d^{5}$ do átomo de Kriptônio 86."



P. F. A. Méchain and J. B. J. Delambre.
Base du système métrique decimal, ou Mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone.
Paris: Baudoin, 1806–1810. 3 vols.
H. Barrell.
The Metre.
Contemporary Physics 3:415 (1962).

Do texto anterior, fica claro que a definição de unidades para medir distância, tempo, massa ~~e~~ etc., não é muito fácil e muito menos consens~~o~~ual. Existem muitos sistemas de unidades físicas no mundo. O sistema *metro-quilograma-segundo (MKS)*, também chamado de sistema internacional (S.I.) é o preferido pelos físicos. O sistema *centímetro-grama-segundo (CGS)* é menos utilizado, e o sistema *pé-libra-segundo (fps),* também conhecido como sistema inglês é raramente utilizado em ciência, apesar de ser muito usado em países de língua inglesa. Cada sistema tem várias unidades fundamentais, ou de base, a partir das quais as outras são derivadas.

O SISTEMA INTERNACIONAL

As unidades básicas do SI quantificam: comprimento, massa, tempo, temperatura, corrente elétrica, intensidade luminosa e quantidade de matéria.

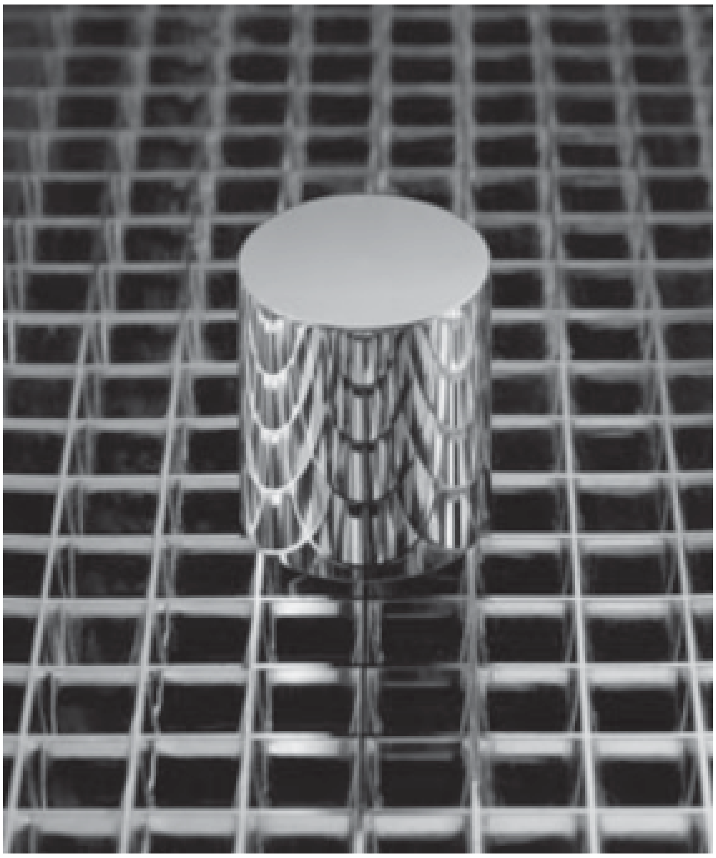
Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	Metro	M
Massa	Quilograma	Kg
Tempo	Segundo	S
Intensidade Luminosa	Candela	Cd
Quantidade de Matéria	Mole	mol
Temperatura	Kelvin	K
Corrente Elétrica	Ampère	A

METRO

O metro definido no quadro acima foi substituído por uma unidade de tempo: o segundo. Para issto, foram feitas medidas extremamente precisas da velocidade da luz, e a nova definição do metro consiste na distância percorrida pela luz, no vácuo, em 3,33564095 bilionésimos de segundo!

QUILOGRAMA

Originalmente, o Quilograma era definido como sendo a massa de 0.001 metro cúbico (ou um litro) de água líquida pura. Esta ainda é uma excelente definição, mas existe um padrão ainda mais exato que consiste de uma amostra de uma liga de platina-irídio localizada no "Bureau International des Poids et Mésures". É importante notar que a massa não se confunde com o peso. A massa desta amostra de platina-irídio tem a mesma massa, esteja ela em Aracaju ou no espaço sideral. O peso, por outro lado, depende de todos os corpos massivos que se encontram em sua proximidade.



SEGUNDO

O segundo foi originariamente definido como sendo 1 minuto dividido por 60, que corresponde a 1/60 de uma hora, o que corresponde a 1/24 de um dia solar médio. O segundo foi então definido como 1/86400 de um dia solar médio. E ainda é uma excelente definição, mas hoje em dia definiu-se que 1 segundo é o tempo exato que um átomo de césio leva para sofrer $9.192631770 x 10^9$ ciclos completos. Confuso com o número que acabamos de ver? Não se preocupe, explicaremos mais ~~a~~ à frente o seu significado. Mas, já que estamos aqui, podemos também definir o segundo como sendo o tempo que um raio luminoso leva para percorrer uma distância de $2.9979258 x 10^8$ metros. Isto corresponde a, aproximadamente, ¾ da distância entre a Terra e a Lua, o que significa que um feixe luminoso leva mais que um segundo para sair da Terra e chegar à Lua! De certo modo, o tempo é uma forma de expressão da dimensão linear e vice-versa. Estes dois aspectos da natureza estão intimamente relacionados pela velocidade de Luz; a qual Albert Einstein definiu como absoluta.

KELVIN

A unidade SI de temperatura é o Kelvin. Trata-se de uma medida de quanto calor existe quando comparado ao zero absoluto, o que representa a ausência completa de todo o calor e, portanto, é o maior frio possível. Formalmente, o Kelvin é definido como 1/273.16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água (0.01°C), que estudaremos nos próximos capítulos.

AMPÈRE

O ampère é a unidade de corrente elétrica e a sua unidade representa um fluxo de cerca de $6.241506 x 10^{18}$ elétrons atravessando a seção reta de um condutor por segundo. A definição formal do ampère é um pouco difícil de imaginar, mas podemos tentar: 1 A (lê-se um ampère) é o fluxo de carga que atravessa dois fios perfeitamente condutores, infinitamente finos, retos e paralelos, colocados a uma distância de 1 metro e no vácuo e que resulta em uma força entre os condutores igual a 2x17 N/m! Seria interessante aqui adiantar que N corresponde à unidade derivada conhecida como Newton, utilizada para quantificar força.

CANDELA

A Candela (cd) é a unidade de intensidade luminosa. Ele equivale a 1/683 de um ~~w~~Watt de energia radiante emitida a uma freqüência de $5.4 x 10^{14}$

Hertz em um ângulo sólido de um estereoradiano. Sim, isto parece extremamente confuso, mas com certeza chegaremos a uma visão mais simples: quer ver?: Uma idéia um pouco mais palatável é a de que uma única vela emite uma quantidade de luz mais ou menos equivalente a uma candela.

MOLE

O mole, ou mol, é a unidade padrão de quantidade de matéria. Ele também é conhecido como número de Avogadro e trata-se de um número fabuloso!: 6.022169×10^{23}! Este é precisamente o número de átomos em 0.012 Kg de Carbono 12, o isótopo mais comum do carbono consistindo de seis prótons e seis nêutrons. Na atividade abaixo, verificaremos se você compreendeu os conceitos apresentados.

ATIVIDADES

I. Até aqui nós discutimos como a rotação da Terra ao redor de seu eixo foi utilizada para definir a unidade básica de tempo. Que outros tipos de fenômenos naturais poderiam ser usados como padrão alternativo?

II. Suponha que os três padrões fundamentais do sistema métrico fossem comprimento, densidade e tempo, ou seja, trocando a massa pela densidade. O padrão de densidade deste sistema seria definido como sendo aquele da água. Que tipo de considerações deveriam ser feitas para se assegurar que o padrão de densidade da água seria o mais preciso possível?

COMENTÁRIOS

I. Quaisquer fenômenos periódicos: as fases da Lua, as marés, os solstícios de inverno e verão, etc.

II. Como sabemos (ou saberemos em breve), a densidade dos líquidos depende fortemente da temperatura e da pressão, portanto a massa e o volume teriam que ser medidos com a maior precisão possível, estabelecendo-se condições constante de temperatura e pressão.

POTÊNCIAS DE DEZ

Como vimos anteriormente, as grandezas físicas não podem ser expressas apenas com números; precisamos utilizar as unidades corretas. Por exemplo, não faz nenhum sentido dizer à patroa que chegará tarde ~~em~~ a casa, ~~que~~ pois ainda vai demorar duas candelas. Ou ainda, que a massa do seu sobrinho seja espantosa: 14 ampères.... Algum cuidado deve ser tomado, no entanto, quando comparamos tempo e espaço: pode-se calcular distâncias em unidades de tempo, e vice versa~~?????~~

Após este preâmbulo, podemos iniciar o que se chama notação científica, ou de potência de 10. Aqui simplesmente nos rendemos ao fato de que o universo é grande demais, quer olhemos para as estrelas, quer olhemos para os átomos. Como já vimos anteriormente, algumas das constantes físicas mais importantes são: ou números muito grandes (milhões de bilhões, etc.) ou muito pequenos (milionésimos de bilionésimos). Para escrever estes números é então necessária a utilização de um número pavoroso de zeros! Por exemplo: a distância entre Aracaju e Salvador é de apenas (aproximadamente) 350 quilômetros, certo? Mas, ao utilizarmos o SI precisamos utilizar metros, que correspondem a um milésimo do quilômetro.

Deste modo, dizemos que a distância entre Aracaju e Salvador é de 350.000 metros! A distância média da Terra à Lua por sua vez é de 380.000.000 metros! Para poder dar fim a esta quantidade absurda de zeros utilizamos as potências de dez. Estas potências aparecem da seguinte maneira: os algarismos significativos (cuja definição veremos logo mais) aparecem com uma única casa antes da vírgula. Os zeros que apareceriam à sua esquerda ou à sua direita são substituídos por potências de 10, lembrando que:

$10^0=1$	$10^1=10$	$10^2=100$	$10^3=1000$	$10^4=10000$	$10^5=100000$
$10^0=1$	$10^{-1}=0.1$	$10^{-2}=0.01$	$10^{-3}=0.001$	$10^{-4}=0.0001$	$10^{-5}=0.00001$

Fica fácil ver então que a distância da Terra à Lua pode ser definida da seguinte maneira:

$$380.000.000 = 3{,}8 \times 100.000.000 = 3{,}8 \times 10^8 \text{ m}$$

Quando temos um número multiplicado por uma potência de base 10 *positiva*, queremos dizer que iremos "aumentar" o número de zeros à direita ou "movimentar" para direita a vírgula tantas casas quanto indicar o expoente da base 10. Veja alguns exemplos:

54 x 10^5	=	**54**00000	Acrescentamos 5 zeros à direita do 54
2050 x 10^2	=	**2050**00	Acrescentamos 2 zeros à direita do 2050
0,000**21** x 10^4	=	**2,1**	"Movimentamos" a vírgula 4 casas para direita
0,0000**32** x 10^3	=	0,0**32**	"Movimentamos" a vírgula 3 casas para direita

Quando temos um número multiplicado por uma potência de base 10 *negativa*, indica que iremos "diminuir" o número de zeros à direita ou "movimentar" a vírgula para **esquerda** tantas casas quanto indicar o expoente da base 10. Veja alguns exemplos:

54 x 10^{-5}	=	0,000**54**	"Movimentamos" a vírgula 5 casas para esquerda
2050 x 10^{-2}	=	**20,5**	"Movimentamos" a vírgula 2 casas para esquerda. Lembrando que 20,5 = 20,50
0,000**21** x 10^{-4}	=	0,00000002**1**	"Movimentamos" a vírgula 4 casas para esquerda
0,0000**32** x 10^{-3}	=	0,0000000**32**	"Movimentamos" a vírgula 3 casas para esquerda
32500000 x 10^{-4}	=	**3250**	"Diminuímos" 4 zeros que estavam à direita

Quando queremos nos referir a números muito grandes ou muito pequenos, também podemos utilizar prefixos. Estes prefixos, em conjunto com as unidades, permitem que nos livremos da potência de dez. Como exemplo, naturalmente, podemos usar o caso da distância da Terra à Lua: 380.000.000 metros equivalem a 380.000 quilômetros . Já simplificou o nosso problema, mas podemos fazer ainda melhor se soubermos que esta mesma distância pode ser chamada de 380 megametros. Este nomezinho estranho lembra alguma coisa, não é verdade? Nesta época de computadores estamos sempre ouvindo coisas como megahertz, megabytes, etc. Em alguns casos, já temos até mesmo gigahertz e mesmo terabytes! Com isto estamos apenas mostrando que estes prefixos são universalmente utilizados e é muito importante que os conheçamos. Para isto, preparamos uma bela tabelinha que será muito importante a você:

Prefixo	Símbolo	Fator
yota	Y	10^{24}
zeta	Z	10^{21}
Exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^{9}
mega	M	10^{6}
Kilo	k	10^{3}
hecto	h	10^{2}
deka	da	10^{1}
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}
atto	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
yocto	y	10^{-24}

O processo de conversão de um tipo de unidade para outro é bastante simples. O número original, digamos 1200 metros deve ser convertido em quilômetros. Para proceder a conversão, multiplicamos e dividimos este número por 1 quilômetro:

$$1200m \times \frac{1km}{1km}$$

Usamos então nosso conhecimento de que 1 quilômetro equivale a 1000 metros para fazer a seguinte alteração:

$$1200m \times \frac{1km}{1000m}$$

Em seguida rearranjamos esta equação da seguinte forma:

$$\frac{1200m}{1000m} \times 1km$$

Fazemos agora a conta de dividir entre números de mesma unidade e "cortamos" a unidade:

$$1{,}2 \times 1km = 1{,}2km$$

É simples assim, mas antes de prosseguirmos seria interessante que você fizesse um teste para verificar se realmente compreendeu. Desenvolva a seguinte atividade. Não olhe a resposta comentada até que tenha tentado o melhor possível.

ATIVIDADES

Cada uma das conversões abaixo tem um erro. Em cada caso explique qual é o erro:

I. $1000kg \times \frac{1\,kg}{1000g} = 1g$

II. $50m \times \frac{1cm}{100m} = 0{,}5cm$

III. Nano é o prefixo de 10^{-9}, portanto um metro contém 10^{-9} nanômetros;

IV. Micro é o prefixo de 10^{-6}, portanto um quilograma contém 10^{6} microgramas (mg)

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

I. O fator original, 1000 kg precisa ser convertido em gramas. É abundantemente claro que 1000 quilogramas não correspondem a um grama, mas onde está o erro? O procedimento de multiplicação e divisão por quantias iguais, mas de unidades diferentes foi correto, mas as unidades não podem ser cortadas! O resultado na verdade é 1 kg^2/g! A maneira correta de fazer exige que as unidades no numerador e denominador sejam idênticas para que se possa cortar:

$$1000kg \times \frac{1000g}{1kg} = 1.000.000g = 10^6g$$

II. Neste caso as unidades foram colocadas nos locais corretos, mas 1 m corresponde a 100 cm, e não o contrário!

$$50m \times \frac{100cm}{1m} = 5.000cm = 5 \times 10^3cm$$

III. Este é um erro comum. Um nanômetro corresponde a 10^{-9} metros, ou seja, é um número extremamente pequeno. Isto significa que em um metro existirão muitos nanômetros, mais exatamente 10^9!

IV. O erro aqui é um pouco mais básico: de fato micro é prefixo de 10^{-6}. Isto significa que um micrograma é uma quantidade muito pequena de matéria, e que em uma quantidade mensurável de matéria teremos muitos microgramas. O problema é que a unidade básica de massa é o grama, e não o quilograma! Teremos 10^6 microgramas em um *grama* de matéria. Como temos 10^3 gramas em um quilograma, teremos $10^3 X 10^6 = 10^9$ microgramas em um quilograma.

ANÁLISE DIMENSIONAL

Em um futuro muito próximo, nós começaremos a resolver problemas de física. Em muitas circunstâncias, você precisará determinar um valor numérico e também a unidade utilizada. Geralmente o valor numérico não é difícil de obter, mas a unidade geralmente dá algum trabalho. A Análise dimensional o ajudará a determinar a unidade de uma dada variável em uma equação e pode até mesmo ajudá-lo a determinar se uma equação que você derivou está correta. Até mesmo um pequeno erro de álgebra poderá ser detectado porque ele geralmente leva a uma equação que é dimensionalmente errada. Ao trabalho: a maioria das quantidades pode ser expressa como combinações de cinco dimensões básicas:

· Massa – M;
· Comprimento – L;
· Tempo – T;
· Corrente Elétrica – I;
· Temperatura - θ.

Estas dimensões foram escolhidas porque são facilmente mensuráveis. Note que dimensão não é o mesmo que unidade! Por exemplo, a quantidade física conhecida por velocidade pode ser medida em unidades de metros por segundo, milhas por hora etc., mas independentemente das unidades utilizadas, a velocidade corresponde sempre a um comprimento dividido por um tempo. Por issto, dizemos que as dimensões da velocidade são comprimento dividido por tempo, ou simplesmente L/T. De maneira análoga, podemos dizer que a área tem dimensões de L^2, uma vez que a área sempre pode ser calculada como sendo um comprimento vezes outro comprimento. Antes de prosseguirmos, é importante que tomemos conhecimento de algumas grandezas físicas e suas unidades padrão, assim como suas relações com as unidades fundamentais.

Grandeza	Unidades SI	Análise Dimensional
Freqüência	hertz: Hz = 1/s	T^{-1}
Força	Newton: N = m kg/s^2	LMT^{-2}
Pressão	pascal: Pa = N/m^2 = kg/m s^2	$ML^{-1}T^{-2}$
Energia	joule: J = N m = m^2 kg/s^2	L^2MT^{-2}
Potência	watt: W = J/s = m^2 kg/s^3	L^2MT^{-3}

Você pode estar se perguntando quando deve usar Joule, J ou kg.m^2/s^2 como unidade de energia. A convenção do SI indica que se não existe um número em frente à unidade, então a unidade é usada como uma palavra completa. Por exemplo, você escreveria “energia expressa em joules”. Se, por outro lado, há um número, então se usa apenas a abreviação: 6.4 J (ou raramente kgm^2/s^2).

Algumas quantidades, no entanto, não têm dimensões. É o caso, por exemplo, do seno de um ângulo. O seno de um ângulo é definido como a razão entre o cateto oposto ao ângulo e a hipotenusa em um triângulo. Temos então a razão entre dois comprimentos que se anulam! Portanto, as dimensões do seno são L/L = 1. Dizemos, então, que o seno é adimensional. Há uma série de outras grandezas (incluindo todas as trigonométricas) adimensionais. Note que algumas grandezas "adimensionais" têm unidades! Ângulos, por exemplo, podem ser medidos em graus ou radianos, mas ainda são adimensionais. Outro exemplo familiar é "ciclos por segundo", ou hertz. A unidade de tempo, segundo, naturalmente que é uma dimensão, mas ciclo é apenas um número.

Apesar de ser tudo muito simples, é bom que olhemos alguns pontos mais delicados. Primeiro, o argumento de uma função trigonométrica é sempre um ângulo, e, portanto, adimensional. O expoente de uma função exponencial também o é, assim como o logaritmo da mesma! Estes fatos, muitas vezes, nos ajudam a determinar a dimensão de certa quantia. Por exemplo, se analisarmos a função: $y = e^{kt}$, onde t designa o tempo, nós podemos afirmar, com segurança, que k deve ter dimensões de T^{-1} para que o expoente seja adimensional.

Em uma expressão algébrica, todos os termos que são somados ou subtraídos devem ter as mesmas dimensões. Isto implica que cada termo do lado esquerdo de uma equação deve ter as mesmas dimensões do lado direito da equação. Por exemplo, na equação $a = bc + 1/2\,xy$, *a* deve ter as mesmas dimensões do produto *bc*, e o produto 1/2*xy* também deve ter as mesmas dimensões.

Uma equação, onde cada termo tem as mesmas dimensões, é chamada de dimensionalmente correta. Já estamos agora preparados para testar os seus conhecimentos!

ATIVIDADES

I. A lei de Newton da gravitação universal é representada por:

$$F = G\frac{Mm}{r^2}$$

Onde F é a magnitude da força exercida por um objeto de massa M em outro de massa m. Sendo r a distância entre as duas massas e levando em consideração que no SI a força term unidades de kgm/s^2, determine as unidades SI da constante de proporcionalidade G.

I. Um elemento geométrico desconhecido tem expressões bem definidas para o comprimento de suas arestas, seu volume e a área das faces. Identifique estes elementos na coluna da esquerda com suas equações na coluna da direita.

a) Aresta	( )	$\pi h(r_1^2 - r_1 r_2 + r_2^2)$
b) Área	( )	$2\pi(r_1 + r_2)$
c) Volume	( )	$\pi(r_1 + r_2)\cdot[h^2 + (r_1 - r_2)^2]^{1/2}$

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

I. A análise deve ser feita colocando as unidades nos dois lados da equação:

$$F = G\frac{Mm}{r^2} \rightarrow \frac{kgm}{s^2} = G\frac{kg.kg}{m^2}$$

Vemos que podemos cortar um dos *kg* presente em cada lado, e passar as outras unidades para o lado esquerdo da equação, obtendo:

$$G = \frac{m^3}{kgs^2} = m^3kg^{-1}s^{-2}$$

II. Para completar corretamente esta tabela, basta fazer a análise dimensional. A primeira equação mostra uma dimensão de comprimento, *h* multiplicada por dimensões de comprimento ao quadrado, r^2. Isto resulta em uma dimensão de comprimento ao cubo, ou seja, um volume. O segundo caso é direto, apenas uma dimensão de comprimento, portanto trata-se de uma aresta. O último deles é um pouco menos imediato. Para simplificar, notemos que h e r1 e r2 que aparecem entre colchetes estão elevados ao quadrado, portanto, trata-se de uma unidade de comprimento ao quadrado. Mas o colchete está dentro de uma raiz quadrada, o que leva a dimensão de volta àquela de comprimento simples, a qual, multiplicada pela dimensão de comprimento das unidades que aparecem entre parênteses, dá a dimensão de comprimento ao quadrado: uma área.

CONVERSÃO DE UNIDADES

Terminaremos esta nossa primeira aula aprendendo a converter unidades entre diferentes sistemas. Algumas vezes, é necessário converter unidades de um sistema para outro, ou mesmo dentro de um mesmo sistema, como por exemplo, de quilômetros para metros. Existem igualdades entre valores de distância do SI e aqueles utilizados nos países de língua inglesa:

SI	EUA
1 metro	39.37 polegadas
1609 metros	1 milha
30.48 cm	1 pé
2.54 cm	1 polegada

As unidades podem ser tratadas como quantidades algébricas que podem ser canceladas. Por exemplo: suponha que queiramos converter 15 polegadas (inch, ou in. em inglês) para centímetros. Como a polegada é definida exatamente como 2.54 cm, podemos fazer o seguinte:

$$15.0 \text{ in.} = (15.0 \cancel{\text{in.}})\left(\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \cancel{\text{in.}}}\right) = 38.1 \text{ cm}$$

onde a razão entre parênteses é igual a 1. Note que escolhemos colocar a unidade de polegadas no denominador, e a mesma se cancela com a do numerador. Existem as mais variadas relações entre as grandezas nos diversos sistemas. Abaixo introduzimos uma pequena amostra de tabela de conversão de distâncias (disponível de forma integral na página da Wikipédia: http://pt.wikipedia.org/wiki/Tabela_de_convers%C3%A3o_de_unidades).

Comprimento						
	Metros	Centimetros	Quilômetros	Polegadas	Pés	Milhas
1 Metro	1	10^{2}	10^{-3}	39.37	3.281	6.214×10^{-4}
1 Centímetro	10^{-2}	1	10^{-5}	0.3937	3.281×10^{-2}	6.214×10^{-6}
1 Quilômetro	10^{3}	10^{5}	1	3.937×10^{4}	3.281×10^{3}	0.6214
1polegada	2.540×10^{-2}	2.540	2.540×10^{-5}	1	8.333×10^{-2}	1.578×10^{-5}
1 pé	0.3048	30.48	3.048×10^{-4}	12	1	1.894×10^{-4}
1 milha	1609	1.609×10^{5}	1.609	6.336×10^{4}	5280	1

Massa			
	Quilograma	Grama	UMA
1 Quilograma	1	10^{3}	6.024×10^{26}
1 Grama	10^{-3}	1	6.024×10^{23}
1 Unidade de Massa Atômica	1.660×10^{-27}	1.660×10^{-27}	1

Tempo					
	Segundo	Minuto	Hora	Dia	Ano
1 Segundo	1	1.667×10^{-2}	2.778×10^{-4}	1.157×10^{-5}	3.169×10^{-8}
1 Minuto	60	1	1.667×10^{-2}	6.994×10^{-4}	1.901×10^{-6}
1 Hora	3600	60	1	4.167×10^{-2}	1.141×10^{-4}
1 Dia	8.640×10^{4}	1440	24	1	2.738×10^{-3}
1 Ano	3.156×10^{7}	5.259×10^{-27}	8.766×10^{3}	365.2	1

CONCLUSÃO

Nossos antepassados tiveram muito trabalho para conseguir estabelecer parâmetros de comparação para medir tempo, massa e comprimento. Não foi um processo único, iniciado por algum iluminado, mas um trabalho realizado por várias pessoas em diversos países e com diversos graus de sucesso. Vários motivos, tais como orgulho nacional e costumes arraigados, impediram que até os dias de hoje ocorresse uma unificação dos sistemas de medida. Mesmo dentro de um mesmo sistema de medidas, existem variações que representam as diversas facetas da física: um tipo de unidade muito útil em explorações galácticas naturalmente não serve para estudos do átomo, e vice-versa. Para poder vencer esses obstáculos, aprendemos a converter unidades neste módulo. O ponto mais importante, no entanto, foi o da análise dimensional. Através da análise dimensional é possível aprender muito sobre um experimento, assim como determinar se uma equação está correta e se as unidades são específicas para aquele resultado.

RESUMO

Esta aula tratou dos conceitos iniciais necessários para o estudo de física no ensino superior. Inicialmente, foi abordado o reconhecimento dos padrões de comprimento, massa e tempo. Um breve histórico mostrou como foi difícil o estabelecimento destes padrões, mas nos mostrou como eles são importantes e como utilizá-los nos dias de hoje. Verificamos que, na maior parte do mundo, e principalmente na ciência, se usa o Sistema Internacional de Unidades (S.I.), também conhecido como MKS (metro-quilometro-segundo). O segundo tópico de estudo foi a utilização dos prefixos que substituem as potências de dez. Vimos como prefixos, tais como mega, quilo, mili e etc. facilitam a nossa vida. O aprendizado da análise dimensional constituiu o terceiro tópico. Vimos como ela pode ser utilizada para determinar se uma equação está correta e se as unidades advindas desta equação estão corretas. Passamos então ao estudo da conversão de unidades. Aprendemos como determinar grandezas físicas em um sistema de unidades quando sabíamos este mesmo valor em outro sistema de unidades. Aprendemos a converter distâncias, massas, velocidades etc.

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, faremos uma introdução ao estudo de erros e incertezas experimentais. Em seguida, iniciaremos o curso de física básica, com o estudo da cinemática dos pontos materiais, ou seja, aqueles que têm massa, mas não tem volume! Estudaremos as equações de movimento e tentaremos prever a trajetória de objetos que se movem sem aceleração.

REFERÊNCIAS

Douglas C. Giancoli. **Physics for Scientists and Engineers**. 3ed. New Jersey: Editora Prentice Hall, 2000.2. Hugh D. Young e Roger A. Freedman. **Física I** – Mecânica. 10ed. São Paulo: Editora Addison Wesley, 2003. Tradução de Adir Moysés Luiz.3. Frederick J. Keller, W. Edward Gettys e Malcolm J. Skove. **Física**, São Paulo: Editora Makron Books, 1997.Vol 1. Tradução de Alfredo Alves de Farias4. Robert Resnick, David Halliday e Kenneth S. Krane. **Física 1**. 5ed. Rio de Janeiro:LTC Editora, 2003. Tradução de Pedro M. C. L. Pacheco, Marcelo A. Savi, Leydervan S. Xavier, Fernando R. Silva.