
Prof Dra Patricia Targon Campana

BIBLIOGRAFIA BÁSICA:

HALLIDAY D., RESNICK R. & WALKER J. 1999. Fundamentos da física. Vol. 2. Rio de Janeiro-RJ. Ed. Livros Técnicos e Científicos.

KELLER F. J., GETYS E. M. & SKOVE M.J. 1999. Física. Vol. 1. São Paulo-SP. Ed. Makron Books.

COMPLEMENTAR:

ALONSO M. & FINN E.J. 1998. Física. Vol. 2. São Paulo-SP. Ed. Edgar Blucher

YOUNG H.D. & FREEDMAN R.A. 2003. Física. Vol. 2. São Paulo-SP. Ed. Addison Wesley

Medidas

Introdução

Geralmente a ciência procura estabelecer relações entre conjuntos de observações, com as quais tenta desenvolver generalizações e, a partir disso, elaborar conceitos teóricos para as interpretações. As observações e comparações quantitativas (que se podem medir, transcrever na forma numérica) geralmente nos levam a importantes teorias. A dificuldade para se fazer generalizações quantitativas está diretamente relacioná-las com as observações feitas, que muitas vezes são bastante complexas, mas é exatamente isso que torna as ciências uma permanente fonte de conhecimentos. A elaboração dos princípios da hereditariedade de Mendel são exemplos notáveis de que as generalizações a partir de observações deram origem a conhecimentos importantíssimos.

Quando fazemos um conjunto de observações, ou seja, um experimento, resultados similares poderão ser obtidos outras vezes se o experimento for repetido nas mesmas condições. A generalização sempre é consequência de uma série de experimentos similares. Na prática, é difícil garantir que dois experimentos sejam exatamente iguais. Os dados numéricos deverão variar dentro de uma faixa, o que é denominado **erro experimental**, e as generalizações deverão levar em conta este erro (também chamado **incerteza**). A física e a química, ciências com grande tradição experimental, apresentam generalizações baseadas em resultados com um bom grau de reprodutibilidade, pois na maioria dos casos a incerteza pode ser reduzida a proporções desprezíveis. Já **na biologia, o problema da incerteza é bastante sério**, pois a maioria das experiências é feita com organismos vivos, que são altamente complexos, o que gera resultados muito variáveis, ou seja, como a incerteza é muito grande, é difícil a reprodução exata de uma experiência.

Para reduzir essa incerteza devemos procurar meios para conduzir nossos experimentos, apresentando as observações e analisando os resultados de maneira que possamos extrair conclusões com uma precisão conhecida. Técnicas experimentais e métodos teóricos típicos da física e da química são extremamente úteis para as generalizações quantitativas feitas na biologia. Procuramos sempre garantir que as incertezas tenham

uma influência mínima em nossas observações, e, muitas vezes, só o fato de conseguirmos identificar as prováveis fontes da incerteza permite que estas generalizações quantitativas constituam uma contribuição importante no entendimento da biologia. Nas ciências biológicas, as observações experimentais, que requerem justificativas bastante detalhadas, para se chegar a generalizações quantitativas, exigem um conhecimento muito claro dos fundamentos de matemática e também de vários princípios da física e da química.

O Sistema Internacional de Unidades (SI)

Para que uma série de observações se transforme numa teoria é necessário haver uma repetição experimentos similares. Isso exige uma certa habilidade para **medir**. Para que a quantidade resultante tenha algum significado sua magnitude (“tamanho”) deve estar acompanhada da respectiva **unidade**. Na biologia, à semelhança do que ocorre na física e na química, são bastante diversas as grandezas que medimos. As unidades do Sistema Internacional (SI), também chamadas unidades métricas, são as mais utilizadas para expressar as medidas de uma grandeza.

As unidades básicas do SI são: o metro (m), o quilograma (kg) e o segundo (s) para medir comprimento, massa e tempo, respectivamente.

A Tabela abaixo mostra algumas das grandezas fundamentais:

Grandeza	Nome da Unidade	Símbolo da Unidade
Comprimento	Metro	m
o Tempo	Segundo	s
Massa	quilograma	kg

Muitas grandezas derivadas são expressas em termos destas unidades básicas; por exemplo, as medidas de *energia* têm como unidades o kgm^2/s^2 , que é denominado *joule* (J). Algumas grandezas exigem outras unidades básicas, além daquelas já mencionadas. No SI estas são: o *kelvin* (K), o *ampere* (A), a *candeia* (cd) e o *mole* (mol) para medidas da temperatura termodinâmica, da corrente elétrica, da intensidade luminosa e de quantidades de substância, respectivamente.

Algumas vezes as medidas de uma grandeza são muito pequenas ou muito grandes quando comparadas com os *padrões* das unidades básicas do SI, como por exemplo o milissegundo (que é um milésimo de segundo) ou o Km (que é mil vezes o metro). Para estas medidas muito grandes ou muito pequenas usamos os prefixos listados na tabela abaixo:

10^n	Prefixo	Símbolo	Escala curta	Equivalente decimal
10^{24}	yotta	Y	Septilhões	1 000 000 000 000 000 000 000 000
10^{21}	zetta	Z	Sextilhões	1 000 000 000 000 000 000 000
10^{18}	exa	E	Quintilhões	1 000 000 000 000 000 000
10^{15}	peta	P	Quadrilhões	1 000 000 000 000 000
10^{12}	tera	T	Trilhões	1 000 000 000 000
10^9	Giga	G	Bilhões	1 000 000 000
10^6	mega	M	Milhões	1 000 000
10^3	kilo	k	Milhares	1 000
10^2	hecto	h	Centenas	100
10^1	deca	da	Dezenas	10
10^0			Unidade	1
10^{-1}	deci	d	Décimo	0,1
10^{-2}	centi	c	Centésimo	0,01
10^{-3}	mili	m	Milésimo	0,001
10^{-6}	micro	μ (u)	Milhonésimo	0,000 001
10^{-9}	nano	n	Bilhonésimo	0,000 000 001
10^{-12}	pico	p	Trilhonésimo	0,000 000 000 001
10^{-15}	femto	f	Quadrilhonésimo	0,000 000 000 000 001
10^{-18}	atto	a	Quintilhonésimo	0,000 000 000 000 000 001
10^{-21}	zepto	z	Sextilhonésimo	0,000 000 000 000 000 000 001
10^{-24}	yocto	y	Septilhonésimo	0,000 000 000 000 000 000 000 001

Mudança de unidades

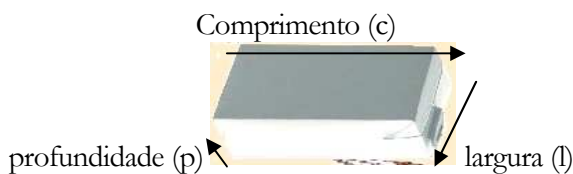
Introdução

Nem sempre precisamos mudar as unidades de uma medida. Fazemos isso quando a medida não faz sentido par anos, ou quando fazemos contas com várias medidas e neste caso elas devem estar em unidades compatíveis. Vocês fizeram como exemplo, o cálculo do volume de um litro de leite em uma caixa, utilizando uma régua centimetrada.

Vamos refazer aqui o problema. Pegamos uma caixa de leite:



Sabemos que dentro da caixa há **1 litro** de leite. Desprezando a espessura do papelão, podemos dizer que o volume da própria caixa é aproximadamente igual ao volume de leite dentro da caixa. Se medirmos o volume da caixa em **cm³**, teremos o volume de leite em **cm³**. Qual seria esse volume?



Supondo que nossas medidas foram:

$$c = 16,8 \text{ cm}$$

$$p = 9,7 \text{ cm}$$

$$l = 6,5 \text{ cm}$$

O volume será:

$$V = c \cdot p \cdot l = 1059,24 \text{ cm}^3$$

Se olharmos numa tabela de conversão, 1 litro equivale a **cm³**, o que significa que nossa conversão está próxima do valor correto.

Alguns pontos importantes:

✂ Algarismos significativos: pense nos algarismos encontrados nos dados fornecidos. Veja se ele faz sentido para você. Se medir, por exemplo, 2158,003 Km, estes decimais (depois da vírgula) não fazem sentido numa medida tão grande. Assim, se precisar arredondar, proceda da seguinte maneira: **quando o dígito mais à esquerda dentre os que serão descartados for maior ou igual a 5, o último dígito restante é arredondado para mais, caso contrário, ele é mantido como está**: exemplo: 11,3516 é arredondado para três algarismos significativos como 11,4 e 11,3279 é arredondado com três algarismos significativos como 11,3.

✂ Não confunda algarismos significativos com casas decimais. Considere os comprimentos 35,6 mm; 3,56 Km e 0,00356 m. Todos possuem três algarismos significativos mas possuem uma, duas e cinco casas decimais, respectivamente.

Como nenhuma grandeza se altera ao ser multiplicada pela unidade, podemos introduzir tais fatores de conversão onde quer que os achemos úteis. Em conversões, as unidades obedecem às mesmas regras algébricas que se aplicam a variáveis e números.

Comprimento

Em 1792, a recém-nascida república francesa estabeleceu um novo sistema de pesos e medidas. Sua base era o **metro**, definido como um décimo de milionésimo da distância do pólo norte ao equador. Posteriormente, por razões práticas, este padrão terrestre foi abandonado e o metro passou a ser definido como a distância entre duas linhas finas marcadas próximo aos extremos de uma barra de platina irradiada, a barra do metro padrão que foi mantida na Agência Internacional de Pesos e Medidas próximo a Paris. Foram enviadas cópias precisas da barra a laboratórios de padronização em todo o mundo. Estes padrões secundários foram usados para produzir outros padrões, ainda mais acessíveis, de forma que no final das contas todo dispositivo de medição devia a sua autoridade à barra do metro padrão por meio de uma cadeia complicada de comparações.

A ciência e tecnologia modernas acabaram exigindo um padrão mais preciso do que a distância entre duas riscas finas feitas sobre uma barra metálica. Em 1960, adotou-se um novo padrão para o metro, baseado no **comprimento de onda da luz**¹. Especificamente, o padrão para o metro foi redefinido como 1.650.763,73 comprimentos de onda de uma luz vermelho-alaranjada particular emitida por átomos de criptônio-86 (um isótopo ou tipo particular de criptônio) em um tubo de descarga de gás. Este número estranho de comprimentos de onda foi escolhido para que o novo padrão estivesse próximo ao antigo padrão da barra do metro padrão.

Entretanto, antes de 1983, a necessidade de maior precisão havia alcançado tal ponto que nem mesmo o padrão de criptônio-86 bastava e naquele ano foi dado um passo corajoso. O **metro foi redefinido como a distância percorrida pela luz durante um intervalo de tempo especificado**. Nos termos da 17^a Conferência Geral sobre Pesos e Medidas:

¹ Veremos no capítulo seguinte o que isso significa

FÍSICA GERAL

O metro é o comprimento da trajetória percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299.792.458$ de um segundo.

Este intervalo de tempo foi escolhido para que a velocidade da luz (c) fosse exatamente

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s.}$$

Medições da velocidade da luz haviam se tornado extremamente precisas, passando a fazer sentido adotar a velocidade da luz como uma grandeza definida e usá-la para redefinir o metro. A tabela abaixo mostra uma vasta gama de comprimentos, desde o correspondente ao universo àqueles de alguns objetos muito pequenos:

Comprimentos variados em Km e mm

$2 \times 10^{23} \text{ Km}$	Distância até as galáxias que se formaram primeiro
$2 \times 10^{19} \text{ Km}$	Distância até a galáxia de Andrômeda
$4 \times 10^{13} \text{ Km}$	Distância até a estrela mais próxima (Próxima Centauri)
$6 \times 10^9 \text{ Km}$	Distância até Plutão
$6 \times 10^3 \text{ Km}$	Raio da Terra
9 Km	Altitude do Monte Everest
$0,1 \text{ mm}$	Espessura da página de um livro
$1 \times 10^{-5} \text{ mm}$	Comprimento de um vírus típico
$5 \times 10^{-8} \text{ mm}$	Raio de um átomo de hidrogênio
$1 \times 10^{-12} \text{ mm}$	Raio de um próton

 **Exercício:** Transforme os valores da tabela acima em **metro**.

Tempo

O tempo possui dois aspectos. Para fins civis e alguns fins científicos, queremos saber a hora do dia para que possamos seqüenciar eventos. Em boa parte do trabalho científico, queremos saber qual a duração de um evento. Portanto, qualquer padrão de tempo deve ser capaz de responder a duas perguntas: "Quando aconteceu?" e "Qual é a sua duração?"

A tabela abaixo mostra alguns intervalos de tempo:

Tempo de vida do próton (previsto)	32×10^{30} anos
------------------------------------	--------------------------

FÍSICA GERAL

Idade do universo	$1,5 \times 10^{10}$ anos
Idade da pirâmide de Quéops	3×10^3 anos
Expectativa de vida humana	6×10^1 anos
Duração de um dia	$2,4 \times 10$ horas
Tempo entre batimentos cardíacos de um ser humano	8×10^{-1} s
Tempo de vida do múon	2×10^{-3} ms
Pulso de luz de menor duração em laboratório	6 fs
Tempo de vida da partícula mais instável	1×10^{-11} ps
A constante de Planck ²	1×10^{-31} ps

 **Exercício:** Transforme os valores da tabela acima em **segundo**.

Qualquer fenômeno que se repete é um possível padrão de tempo. A rotação da Terra, que determina a duração do dia, vem sendo usada desta forma há séculos; a ao lado mostra um exemplo de um relógio baseado nessa rotação. Um relógio de quartzo, no qual um anel de quartzo é posto para vibrar continuamente, pode ser calibrado contra a rotação da Terra por meio de observações astronômicas e usado para medir intervalos de tempo no laboratório. Entretanto, a calibração não pode ser feita com a precisão exigida pela tecnologia da engenharia e da ciência modernas.

Para atender à necessidade de um melhor padrão de tempo foram desenvolvidos **relógios atômicos**. Um relógio atômico no National Institute of Standards and Technology³ (NIST) em Boulder, Colorado, é o padrão para a Hora Coordenada Universal⁴ (UTC) nos Estados Unidos. Seus sinais de tempo estão disponíveis através de rádios de ondas curtas (estações WWV e

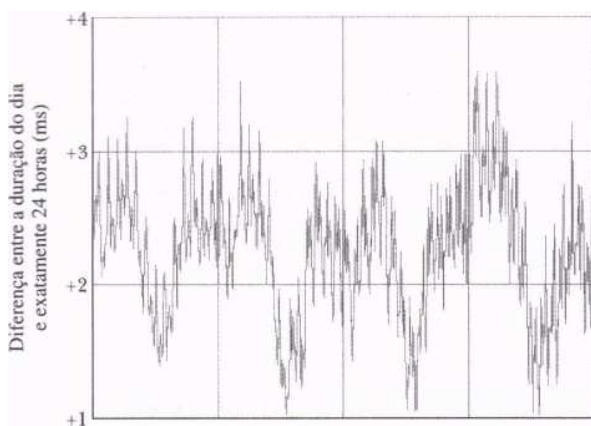


² Este é o menor tempo entre o *big bang* no qual as leis da física como as conhecemos podem ser aplicadas.

³ Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA.

⁴ Coordinated Universal Time, em inglês.

WWVH) e por telefone (303-499-7111). Sinais de tempo (e informações afins) também estão disponíveis no United States Naval Observatory⁵ no website <http://tycho.usno.navy.mil/time.html>. (Para acertar um relógio de forma extremamente precisa na sua localidade particular, você teria que levar em conta o tempo de viagem necessário para que estes sinais cheguem até você.)



A figura ao lado mostra variações na duração de um dia na Terra ao longo de um período de 4 anos, obtidas por comparação com um relógio de césio (atômico). Como a variação mostrada é sazonal e repetitiva, suspeitamos da Terra em rotação quando há uma diferença entre a Terra e o átomo como cronômetros. A variação deve-se provavelmente a efeitos de maré causados pela Lua e por ventos de grande escala.

A 13ª Conferência Geral sobre Pesos e Medidas em 1967 adotou um segundo padrão baseado no relógio de césio:

O segundo é o tempo gasto para que ocorram 9.192.631.770 oscilações da luz (de um comprimento de onda especificado) emitidas por um átomo de césio-133.

Relógios atômicos são tão estáveis que, em princípio, dois relógios de césio teriam que funcionar durante 6000 anos antes que as suas leituras diferissem por mais de 1 s!!!

Até mesmo tal precisão é tímida em comparação com a obtida de relógios que estão sendo desenvolvidos atualmente; sua precisão pode ser de 1 parte em 10^{18} — isto é, 1 s em 1×10^{18} s (aproximadamente 1 s errado em 3×10^{10} anos).

Massa

O Quilograma Padrão

⁵ Observatório Naval dos Estados Unidos

O padrão SI de massa é um cilindro de platina iridiada mantido na Agência Internacional de Pesos e Medidas, próximo a Paris e definido, por acordo internacional, com a massa de 1 quilograma (veja a figura abaixo).



Cópias precisas foram enviadas a laboratórios de padronização em outros países, e as massas de outros corpos podem ser determinadas equilibrando-os contra uma cópia.

A cópia norte-americana do quilograma padrão é mantida em um depósito à prova de incêndio no NIST. Ela é retirada, não mais do que uma vez por ano, com a finalidade de conferir cópias adicionais que estão em outros lugares. Desde 1889, ela foi levada duas vezes para a França a fim de ser novamente comparada com o padrão primário.

Um Segundo Padrão de Massa

As massas dos átomos podem ser comparadas entre si mais precisamente do que elas podem ser comparadas com o quilograma padrão. Por isto, temos um segundo padrão de massa. É o átomo de carbono-12 que, por acordo internacional, teve atribuída uma massa de 12 **unidades de massa atômica** (u). A relação entre as duas unidades é:

$$1 \text{ u} = 1,6605402 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

com uma incerteza de ± 10 nas duas últimas casas decimais. Cientistas podem determinar experimentalmente, com razoável precisão, a massa de outros átomos em comparação com a massa do carbono-12. O que nos falta atualmente é um meio confiável de estender essa precisão a unidades mais comuns de massa, como um quilograma.

A tabela a seguir mostra algumas massas que fazem parte do nosso dia a dia:

Algumas Massas Aproximadas

	Massa em Quilogramas
Universo conhecido	$1 \times 10^{44} \text{ Tg}$
Nossa galáxia	$2 \times 10^{32} \text{ Tg}$
Sol	$2 \times 10^{30} \text{ Mg}$
Lua	$7 \times 10^{19} \text{ Ton}^6$
Asteróide Eros	$5 \times 10^{12} \text{ Ton}$
Montanha pequena	$1 \times 10^9 \text{ Ton}$
Transatlântico	$7 \times 10^4 \text{ Ton}$

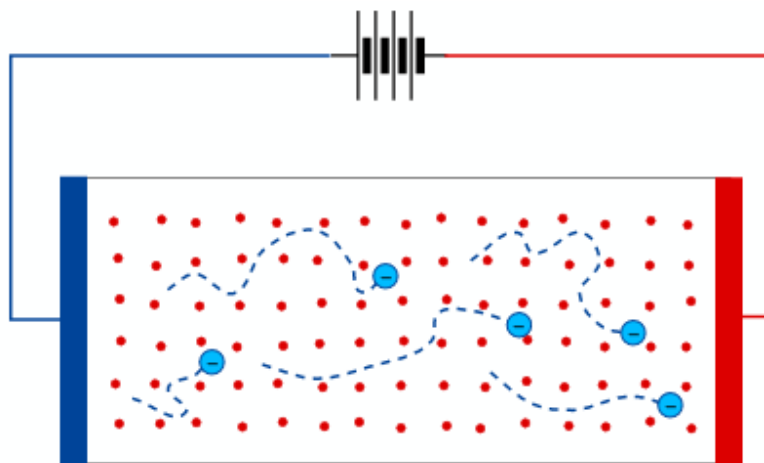
⁶ 1 tonelada (ton) é igual a 1.000 Kg

Elefante	5 Ton
Uva	3 g
Partícula de poeira	0,7 μg
Molécula de penicilina	5×10^{-2} pg
Átomo de urânio	4×10^{-7} fg
Próton	2×10^{-27}
Elétron	9×10^{-31}

 **Exercício:** Transforme os valores da tabela acima em **Kg**.

Eletrostática

Os elétrons e a carga elétrica



As cargas elétricas em movimento ordenado constituem a corrente elétrica. As cargas elétricas que constituem a corrente elétrica são os elétrons livres, no caso do sólido, e os íons, no caso dos fluídos.

Os elétrons livres (ou de valência) são elétrons das camadas mais externas de seus átomos, que podem desprender-se desses átomos constituindo uma atmosfera de elétrons nos espaços interatômicos. Nesse pressuposto, o resíduo do

átomo constitui um íon carregado positivamente. Estes elétrons, em notável número, são atraídos não só pelos íons positivos dos quais se desprenderam, como também, em todas as direções, pelos outros íons que o rodeiam e se comportam, na massa do corpo, como se estivessem livres.

No fio metálico, mesmo antes de aplicarmos a diferença de potencial, já existe movimento de cargas elétricas. Todos os elétrons livres estão em movimento, devido à agitação térmica. No entanto, o movimento é caótico e não há corrente elétrica. Quando aplicamos a diferença de potencial, esse movimento caótico continua a existir,

mas a ele se sobrepõe um movimento ordenado, de tal forma que, em média, os elétrons livres do fio passam a se deslocar ao longo deste. É assim que se forma a corrente elétrica.

Devemos lembrar de um fundamento importante na eletricidade:

Cargas de sinais iguais se atraem e de sinais opostos se repelem

Agora consideremos um condutor ao qual foi aplicada uma certa voltagem U . Esta voltagem estabelecerá, no condutor, uma corrente i . Variando o valor da voltagem aplicada ao condutor, verificamos que a corrente que passa por ele também se modifica. O cientista alemão George Ohm realizou várias experiências, medindo estas voltagens (e as correntes correspondentes) quando aplicadas em diversos condutores de substâncias diferentes. Verificou então que, para muitos materiais, a relação entre a voltagem e a corrente mantinha-se constante, isto é, $U / i = \text{constante}$. Este resultado é conhecido como **lei de Ohm**

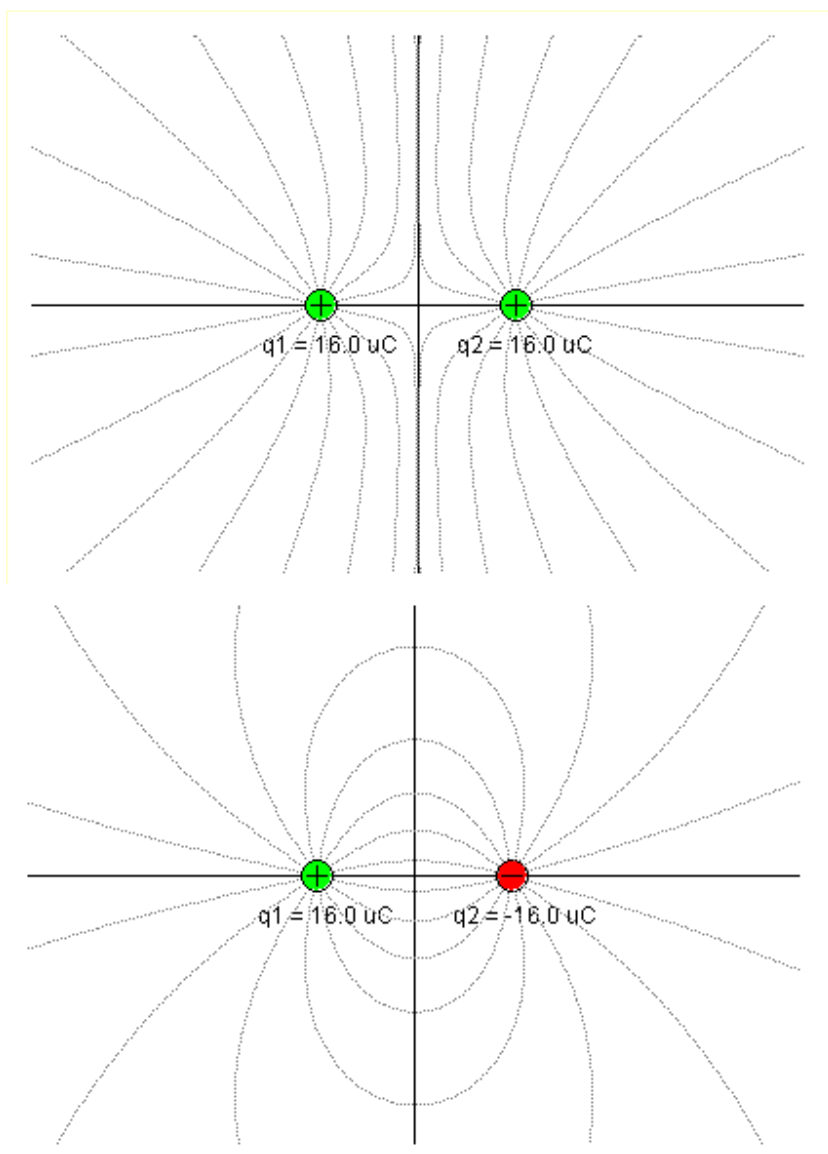
$$U = R \cdot i$$

Campo elétrico

A força que se manifesta entre dois corpos eletricamente carregados é uma força que age à distância. Ela se faz sentir sem que haja qualquer conexão material entre os dois corpos que interagem. Provoca certa perplexidade a idéia de que uma força se faça sentir à distância, mesmo através do espaço vazio.

Essa dificuldade pode ser superada pensando-se da seguinte maneira: Vamos dizer que, quando um corpo q_1 está eletricamente carregado, cria-se em todo o espaço circundante uma situação nova, diferente da que existia quando q_1 estava descarregado. O fato de eletrizarmos esse corpo modifica as propriedades do espaço que o circunda. Outro corpo eletricamente carregado (q_2), colocado em um ponto P do espaço, começará, num dado instante, a "sentir" uma força elétrica causada por q_1 . Dizemos que a carga do corpo q gera no espaço circundante um campo elétrico.

O campo elétrico gerado pela carga q_1 num ponto P existe independentemente de haver em P um corpo carregado. Quando colocamos nesse ponto P um corpo carregado, a força que passa a agir sobre ele é devida ao campo elétrico que já preexistia ali, e não a uma ação direta, à distância, do corpo q_1 sobre o segundo corpo.



Potencial elétrico

De uma maneira geral, os aparelhos elétricos são dispositivos que transformam energia elétrica em outras formas de energia. Por exemplo: em um motor elétrico, a energia é transformada em energia mecânica de rotação do motor; em um aquecedor, a energia elétrica é transformada em calor; em uma lâmpada incandescente, a energia elétrica é transformada em energia luminosa, etc.

Uma corrente elétrica realiza trabalho fazendo funcionar um motor, aquecendo um fio e de outras maneiras. A potência de uma corrente, ou o trabalho que ela realiza por segundo, depende de sua intensidade e da voltagem. Um watt é a potência de uma corrente de 1 ampère, quando a diferença de potencial é 1 volt. Para calcular a potência elétrica podemos usar a equação:

$$P = U \cdot i$$

Potencial de uma membrana celular

O mais importante exemplo de transporte ativo presente na membrana das células excitáveis é a Bomba de Sódio e Potássio. Tal bomba transporta, ativamente e constantemente, íons sódio de dentro para fora da célula e, ao mesmo tempo, íons potássio em sentido contrário, isto é, de fora para dentro das células.

Mas os íons (sódio e potássio) não são transportados com a mesma velocidade: A Bomba de Sódio e Potássio transporta mais rapidamente íons Sódio (de dentro para fora) do que íons Potássio (de fora para dentro). Para cada cerca de 3 íons sódio transportados (para fora), 2 íons potássios são transportados em sentido inverso (para dentro).

Isso acaba criando uma diferença de cargas positivas entre o exterior e o interior da célula, pois ambos os íons transportados pela bomba (sódio e potássio) são cátions (com 1 valência positiva), e a Bomba de Sódio e Potássio transporta, portanto, mais carga positiva de dentro para fora do que de fora para dentro da célula. Cria-se assim um gradiente elétrico na membrana celular: No seu lado externo acaba se formando um excesso de cargas positivas enquanto que no seu lado interno ocorre o contrário, isto é, uma falta de cargas positivas faz com que o líquido intracelular fique com mais cargas negativas do que positivas.

O gradiente elétrico então formado é conhecido como Potencial de Membrana Celular.

