

CEJA >>

CENTRO DE EDUCAÇÃO
de JOVENS e ADULTOS

CIÊNCIAS DA NATUREZA

e suas TECNOLOGIAS >>

Física

Fascículo 5

Unidades 11, 12 e 13

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador
Wilson Witzel

Vice-Governador
Claudio Castro

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretário de Estado
Leonardo Rodrigues

SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO

Secretário de Estado
Pedro Fernandes

FUNDAÇÃO CECIERJ

Presidente
Gilson Rodrigues

PRODUÇÃO DO MATERIAL CEJA (CECIERJ)

Coordenação Geral de
Design Instrucional
Cristine Costa Barreto

Elaboração
Claudia Augusta de Moraes Russo
Ricardo Campos da Paz

Revisão de Língua Portuguesa
Ana Cristina Andrade dos Santos

Coordenação de
Design Instrucional
Flávia Busnardo
Paulo Miranda

Design Instrucional
Aline Beatriz Alves

Coordenação de Produção
Fábio Rapello Alencar

Capa
André Guimarães de Souza

Projeto Gráfico
Andreia Villar

Imagem da Capa e da Abertura das Unidades
<http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>

Diagramação
Equipe Cederj

Ilustração
Bianca Giacomelli
Clara Gomes
Fernando Romeiro
Jefferson Caçador
Sami Souza

Produção Gráfica
Verônica Paranhos

Sumário

Unidade 11 Cargas elétricas e suas atrações	5
<hr/>	
Unidade 12 Aprendendo sobre as correntes elétricas	31
<hr/>	
Unidade 13 Civilização Elétrica	55
<hr/>	

Prezado(a) Aluno(a),

Seja bem-vindo a uma nova etapa da sua formação. Estamos aqui para auxiliá-lo numa jornada rumo ao aprendizado e conhecimento.

Você está recebendo o material didático impresso para acompanhamento de seus estudos, contendo as informações necessárias para seu aprendizado e avaliação, exercício de desenvolvimento e fixação dos conteúdos.

Além dele, disponibilizamos também, na sala de disciplina do CEJA Virtual, outros materiais que podem auxiliar na sua aprendizagem.

O CEJA Virtual é o Ambiente virtual de aprendizagem (AVA) do CEJA. É um espaço disponibilizado em um site da internet onde é possível encontrar diversos tipos de materiais como vídeos, animações, textos, listas de exercício, exercícios interativos, simuladores, etc. Além disso, também existem algumas ferramentas de comunicação como chats, fóruns.

Você também pode postar as suas dúvidas nos fóruns de dúvida. Lembre-se que o fórum não é uma ferramenta síncrona, ou seja, seu professor pode não estar online no momento em que você postar seu questionamento, mas assim que possível irá retornar com uma resposta para você.

Para acessar o CEJA Virtual da sua unidade, basta digitar no seu navegador de internet o seguinte endereço:
<http://cejarj.cecierj.edu.br/ava>

Utilize o seu número de matrícula da carteirinha do sistema de controle acadêmico para entrar no ambiente. Basta digitá-lo nos campos "nome de usuário" e "senha".

Feito isso, clique no botão "Acesso". Então, escolha a sala da disciplina que você está estudando. Atenção! Para algumas disciplinas, você precisará verificar o número do fascículo que tem em mãos e acessar a sala correspondente a ele.

Bons estudos!



Cargas elétricas e suas atrações

Fascículo 5
Unidade 11

Cargas elétricas e suas atrações

Para início de conversa...

Uma tempestade de raios e trovões deixa-nos amedrontados e ao mesmo tempo extasiados - os raios despencando das nuvens, cruzando o céu com violência e quem sabe destruindo uma árvore no campo ou (felizmente) atingindo um para-raios em algum edifício. Veremos neste módulo que os raios e muitos outros fenômenos que observamos são ocasionados por forças eletromagnéticas: magnetos presos na geladeira; a agulha da bússola, procurando o norte; pedacinhos de papel atraídos por uma caneta plástica que foi esfregada em tecido; as correntes elétricas que chegam pelos fios e que alimentam os eletrodomésticos da casa etc.



Figura 01: Descarga elétrica em forma de raios.

Por volta de 600 a.C., os gregos já sabiam que se uma pedra de âmbar fosse esfregada com um pano de lã e depois fosse encostada em outro objeto, a pedra e o objeto se repeliriam. Eles também perceberam que se um pedaço de vidro for esfregado com um pano de seda, objetos tocados pelo vidro repelem-se uns aos outros. No entanto, objetos tocados pelo vidro e objetos tocados pela pedra de âmbar atraem-se. Hoje dizemos que tanto a pedra de âmbar e o vidro tornaram-se carregadas. A força de atração ou repulsão nesses experimentos simples denomina-se “força elétrica”, que vem da palavra grega para âmbar, *electro*.

O entendimento das interações elétricas avançou muito nos séculos XVIII e XIX, com experimentos realizados por cientistas na Europa e nos Estados Unidos (alguns dos quais vamos mencionar mais adiante). Aliás, no início dos experimentos em eletricidade e magnetismo não havia o objetivo de se realizar algo “útil” (como uma lâmpada elétrica), os experimentos eram realizados para se entender melhor o funcionamento das forças básicas da natureza. Hoje não podemos nem imaginar um mundo sem o conforto que a eletricidade nos traz: iluminação, elevadores, comunicações, aquecimento, refrigeração... Há muitos casos na história da ciência nos quais uma pesquisa sem finalidades práticas acaba produzindo enormes benefícios para a humanidade.

Voltando à eletricidade estática, é comum nos museus de Ciências um experimento onde se pode tocar numa esfera carregada e os cabelos ficam em pé. Nos países de clima frio, onde a umidade do ar é baixa, também se observa que os cabelos ficam em pé quando as crianças escorregam em estruturas plásticas como as que existem nos parques de diversão. O fenômeno é o mesmo: o cabelo fica carregado, eles se repelem e terminam por ficar **erizados**. Por que isso acontece? Discutiremos em seguida este e outros fenômenos.

Eriçados

arrepiaados



Figura 2: Em países de clima frio e seco, é comum que os cabelos das crianças fiquem arrepiados ao descer em um escorrega.

Objetivos de Aprendizagem

- Conceituar cargas elétricas e suas interações básicas.
- Aplicar a lei de Coulomb a problemas simples de eletrostática.
- Explicar fenômenos eletrostáticos do dia a dia.

Seção 1

Cargas elétricas

Todos os materiais que conhecemos e que são listados na tabela periódica da Química são compostos por átomos, que são por assim dizer os “tijolos” fundamentais da Natureza. Os átomos são compostos por partículas ainda menores, os elétrons e os núcleos dos átomos que interagem por meio de forças elétricas. Os elétrons de carga negativa movem-se em torno dos núcleos de carga positiva. Como mencionamos na introdução, experimentos demonstraram que cargas iguais se repelem e cargas distintas se atraem. Como os elétrons e o núcleo possuem cargas distintas, existe uma força elétrica de atração entre eles. Os átomos e moléculas agrupam-se para formar os materiais do nosso dia a dia, os sólidos e os líquidos. Os átomos em geral são neutros, pois a carga negativa dos elétrons cancela a carga positiva do núcleo.

Aliás, convém lembrar que a carga positiva no núcleo continua junta porque existe uma outra força, a força nuclear forte, que mantém os prótons juntos, embora eles se repilam fortemente devido ao fato de terem cargas iguais. Essa força forte só age em distâncias nucleares e é o que mantém o núcleo coeso.

No entanto, os elétrons não são ligados muito fortemente ao núcleo, principalmente os das camadas externas. Em muitas situações, os elétrons são arrancados de um corpo (por exemplo, o bastão de vidro esfregado com seda) e dizemos que ele adquiriu uma carga positiva. De forma análoga, um corpo pode adquirir carga negativa, se elétrons acumulam-se nele.

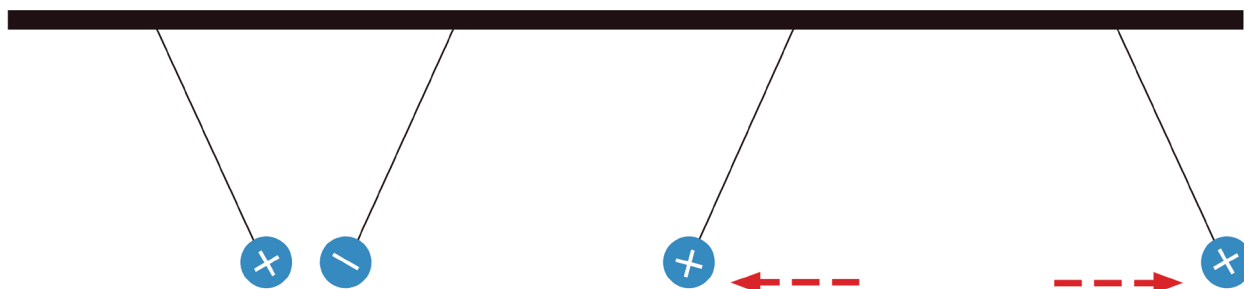


Figura 3: Cargas diferentes atraem-se e cargas iguais repelem-se.

Em algumas situações, quando há excesso de eletricidade acumulada, um corpo carregado pode se descarregar bruscamente, emitindo uma faísca.

Quem já morou num lugar onde a umidade é baixa (e portanto as cargas elétricas acumulam-se mais facilmente) sabe que maçanetas de portas às vezes dão choque, leve mas desconfortável.

Seção 2

Isolantes e condutores

Sabemos que alguns materiais são bons condutores de eletricidade e outros, não. Um condutor elétrico é um material no qual os elétrons podem se movimentar livremente pelos átomos. Os metais são os condutores mais comuns, um exemplo são os fios de cobre que compõem a rede elétrica que leva corrente até a sua casa. Outros materiais também conduzem eletricidade. A água salgada é um bom condutor por conter íons de sódio (Na^+) e cloro (Cl^-) que podem se mover transportando cargas elétricas.

Já os isolantes são materiais cujas ligações químicas permitem que poucos elétrons movam-se. Em cerâmicas, rochas, cabelos e madeira, por exemplo, os elétrons são ligados fortemente a um ou mais átomos por ligações iônicas ou covalentes (como você já deve ter visto nas aulas de Química). Esses materiais não conduzem eletricidade em condições usuais. Os isolantes (como o próprio nome indica) são utilizados no dia a dia para revestir os fios elétricos e evitar o contato com fios que transportam correntes elétricas.

Seção 3

As bases experimentais da Lei de Coulomb

No final do Século XVIII, apareceu mais uma evidência da unidade da física em fenômenos totalmente distintos: descobriu-se que a força elétrica entre duas cargas depende da distância entre elas, da mesma forma que a força da gravidade entre duas massas. A história do estabelecimento desse fato experimental, que hoje é conhecido por Lei de Coulomb, é muito interessante.

Muito interessante também, é a história de Benjamim Franklin (1706 – 1790). Ele foi um cientista e estadista americano que realizou alguns experimentos pioneiros que ajudaram a esclarecer o mistério das cargas elétricas. Ele soltava uma pipa que tinha uma chave pendurada no fio e a chave emitia faíscas como os objetos carregados no laboratório. Disso ele concluiu que as nuvens eram carregadas e que ele podia carregar um objeto com cargas positivas ou cargas negativas, dependendo do arranjo experimental que ele fizesse. Esse experimento deu origem ao para-raios, que é um objeto metálico pontudo que oferece um caminho fácil e inofensivo para a descarga elétrica das nuvens.



Figura 4: Benjamin Franklin realizando sua experiência com a pipa e chave durante uma tempestade.

Numa reunião científica, Franklin comentou com Joseph Priestley (1733-1804) sobre uma “observação curiosa” de anos atrás: ele notou que um vaso de metal atraía uma pequena esfera de cortiça pendurada num fio quando a esfera estava no exterior do vaso, mas que no interior do vaso a cortiça não era atraída. Priestley confirmou o resultado de Franklin e compreendeu o seu significado mais profundo: ele lembrou que uma casca esférica não atrai gravitacionalmente outra massa colocada no seu interior, mas que atrai o mesmo objeto, se ele estiver no exterior da casca. Assim Priestley inferiu que a atração elétrica entre as cargas deveria obedecer a leis semelhantes à gravitação.

Após tomar conhecimento do comentário de Priestley, Henri Cavendish (1731-1810) fez experimentos que demonstraram a correção das observações de Franklin. Ele repetiu o experimento de Franklin de forma muito mais sofisticada e utilizando-se das ferramentas do cálculo diferencial que Newton havia inventado, deduzindo que a lei de atração entre as cargas era inversamente proporcional ao quadrado da distância, ou seja,

$$F \sim \frac{1}{d^N},$$

onde o valor experimental para N era 2. Esse resultado ficou esquecido por um século (ele nunca o publicou), até que suas anotações foram descobertas por outro cientista.

Lei de Coulomb

A força entre duas cargas como função da distância ficou conhecida como Lei de Coulomb, após o famoso experimento de Charles Augustin Coulomb (1726 - 1806). Ele não conhecia o resultado de Cavendish, discutido anteriormente, e mediu diretamente a força exercida por uma carga sobre a outra, em 1785. Para realizar essa medida, ele utilizou uma balança de torção (veja Figura 5).

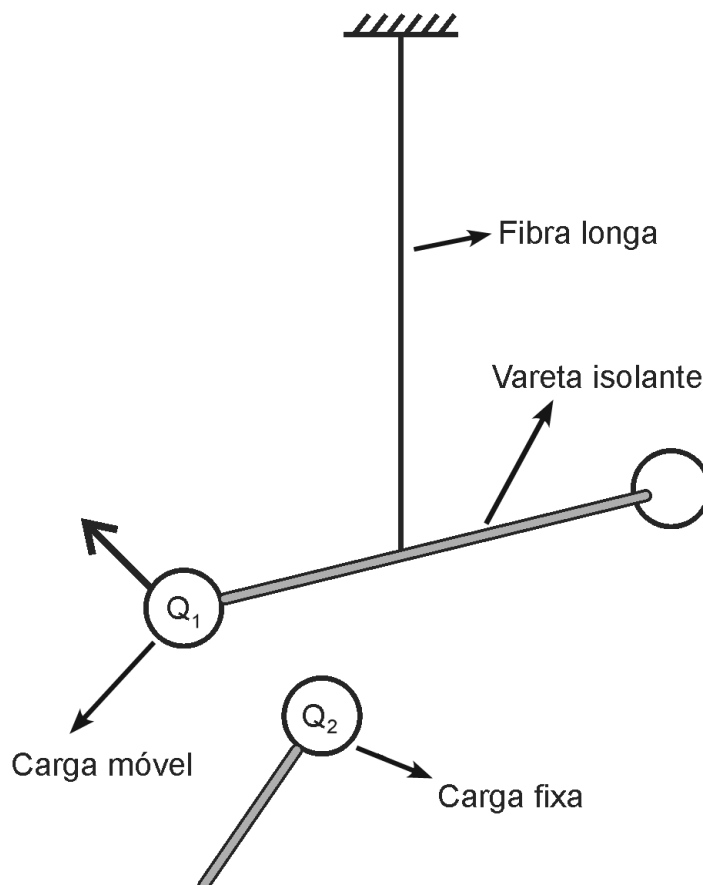


Figura 5: Esquema da balança de torção utilizada por Coulomb.

Ele colocou bolas de cortiça nas extremidades de uma vareta isolante, suspensa horizontalmente por uma fibra longa. Em seguida, ele carregou uma das bolas da vareta com carga Q_1 . Uma outra bola carregada com carga Q_2 mantida a uma certa distância d provoca uma força na bola com carga Q_1 . A fibra é calibrada de modo que o ângulo que a vareta faz com a direção inicial (antes da carga Q_1 ser aproximada) seja proporcional ao módulo da força entre as cargas. Uma força igual e contrária aparece (e age) na carga Q_2 de acordo com a segunda lei de Newton. Assim, variando a distância entre as cargas e medindo a força para cada distância, Coulomb foi capaz de estabelecer a seguinte lei:

Importante

A força entre duas cargas é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas. A força atua sobre a reta que passa no centro das duas cargas.

A unidade de carga elétrica é o Coulomb (C) no Sistema Internacional. A carga de 1C é a carga contida em $6,25 \times 10^{23}$ elétrons. Essa quantidade de elétrons, que parece muito grande, passa, por exemplo, a cada segundo por um fio que conduz a corrente para uma lâmpada de 100 W.

Assim, costuma-se escrever

$$F = k \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2},$$

onde $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$ é uma constante. Usualmente se calcula o módulo da força, utilizando-se a equação acima e sempre tomando os valores positivos para as cargas. Se as cargas possuem o mesmo sinal, é uma força de repulsão e, se possuem sinais opostos, é uma força de atração. A direção da força é a da reta que une as duas cargas. O sentido da força é dado pela Figura 6, conforme as cargas possuam mesmo sinal ou sinais distintos.

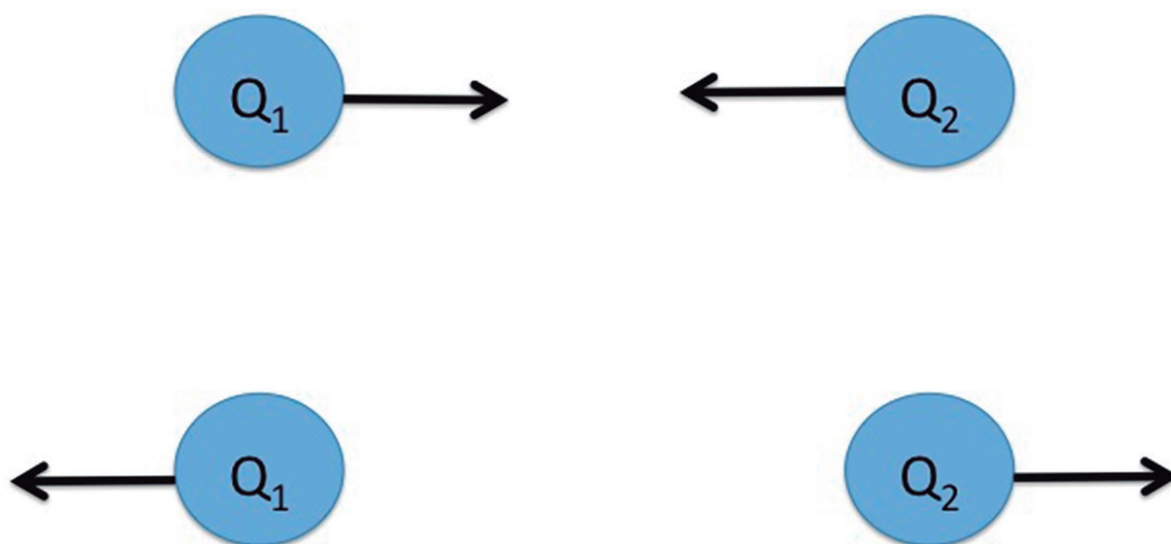
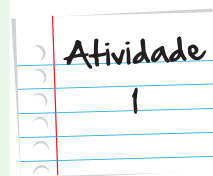


Figura 6: Forças elétricas causadas por cargas estáticas. No par superior, as duas cargas têm sinais contrários (Q₁ é positiva e Q₂ é negativa ou Q₁ é negativa e Q₂ é positiva). No par inferior, as duas cargas possuem o mesmo sinal (ou as duas positivas ou as duas negativas).

Um coulomb de carga é uma carga enorme!

Imagine duas cargas iguais e opostas com $Q = \pm 1\text{C}$, situadas a 1 km uma da outra. Calcule a força elétrica entre as cargas.

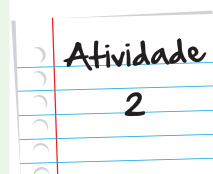
Anote suas respostas em seu caderno



Força elétrica X força gravitacional

Calcule a força elétrica entre o elétron e o próton que compõem o átomo mais simples que existe, o átomo de hidrogênio. Compare a força elétrica com a força gravitacional entre a massa do elétron e a massa do próton. A distância entre eles (ou seja, o raio típico do átomo de hidrogênio) é de $R = 10^{-10}\text{ m}$. A carga do elétron é o negativo da carga do próton que vale $Q = 1,6 \times 10^{-19}\text{ C}$. A massa do elétron é $m = 9 \times 10^{-31}\text{ kg}$ e a massa do próton é $M = 1,7 \times 10^{-27}\text{ kg}$.

Lembre-se: faça em uma folha à parte



Seção 4

O princípio da superposição

Já sabemos como as cargas agem entre si: cada uma causa na outra uma força cujo módulo é dado pela Lei de Coulomb, na direção da linha que as une. Sabemos também que a força pode ser atrativa ou repulsiva, dependendo do sinal das cargas.

E se houver mais de uma carga? Como fica a Lei de Coulomb?

Vamos supor que haja três cargas q_1 , q_2 e q_3 , dispostas num plano. Escolhermos uma delas, por exemplo, q_3 . Qual a força que as outras duas fazem nela?

A experiência mostra que a força total exercida sobre a terceira carga é a soma vetorial da força que cada uma das duas primeiras causa sobre a terceira. Essa propriedade da interação elétrica é denominada de princípio da superposição de forças e na realidade se aplica para qualquer número de cargas (não apenas duas), interagindo uma com as outras.

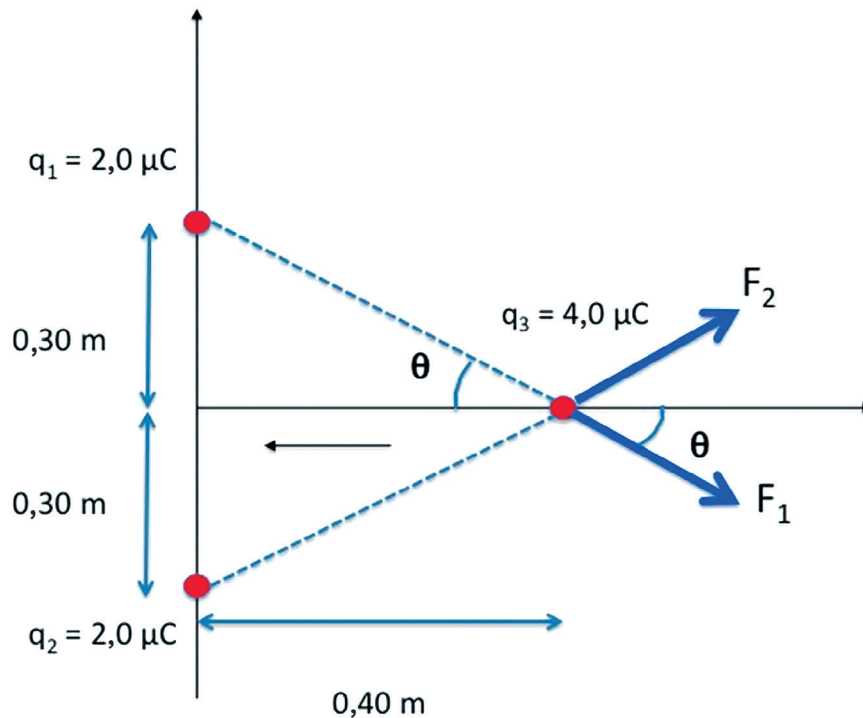


Figura 7: Três cargas no plano e as forças que as cargas q_1 e q_2 fazem em q_3 .

Vamos ilustrar essa propriedade com o exercício seguinte.

Na Figura 7, temos 3 cargas. A geometria do problema e os valores das cargas estão mostrados na figura. Chamamos F_1 à força causada pela carga q_1 na carga q_3 . Observe que o traço pontilhado na figura é a distância entre estas duas cargas:

$$d = \sqrt{0.3^2 + 0.4^2} = 0,5m.$$

O módulo de F_1 é dado por:

$$F_1 = K \frac{q_1 \times q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \frac{(4 \times 10^{-6}) \times (2 \times 10^{-6})}{0,5^2} = 0,29N.$$

O ângulo θ na figura, dado pela geometria do problema, permite-nos decompor essa força ao longo dos eixos x e y.

$$F_{1x} = F_1 \cos \theta = 0,29 \cdot \frac{0,40}{0,50} = 0,23N.$$

$$F_{1y} = F_1 \sin \theta = -0,29 \cdot \frac{0,30}{0,50} = -0,17N.$$

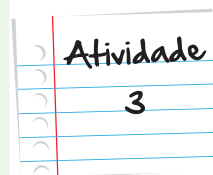
Pela figura, pode-se ver que realmente a componente de F_1 no eixo x é negativa. Por simetria do problema, o módulo de F_2 é o mesmo de F_1 . A decomposição é semelhante: a componente x é a mesma, mas a componente y tem o sinal contrário (pois aponta para cima, eixo y positivo). Portanto, quando somarmos os dois vetores, as componentes y anulam-se e a resultante é a soma das componentes x. Assim, a força que age na carga q_3 é $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 2 \times F_{1x} = 0,46\hat{x}$, na direção do eixo x.

Vale a pena ressaltar que calculamos a força resultante em q_3 , mas qualquer das cargas terá duas forças elétricas agindo nela, produzidas pela interação dessa carga com as outras duas.

Experimento do canudo

Esfregue um canudo plástico com um lenço de papel e encoste-o numa parede de superfície lisa. O canudo fica grudado por algum tempo à parede. Explique por que isso acontece.

Anote suas
respostas em
seu caderno



Seção 4

Campo elétrico

Até aqui, estudamos a Lei de Coulomb e como duas cargas interagem uma com a outra. Se movermos uma das cargas, imediatamente a outra sente o efeito desse movimento, mesmo se ela estiver muito distante.

Denominamos essa concepção da interação entre duas cargas como uma “ação a distância”, onde não se supõe que haja “algo” que transmita a interação entre as duas partículas e que a ação seja instantânea. Sabemos hoje que isso não é razoável, pois a maior velocidade possível de transmissão de informação é a velocidade da luz.

Hoje empregamos o conceito de campo elétrico para descrever a interação elétrica entre duas partículas. Assim, uma partícula A carregada, gera em torno de si um campo elétrico em todos os pontos do espaço. Uma outra partícula B, sob a ação desse campo elétrico, sente a força elétrica gerada por A. Vejamos essa questão com mais detalhes.

A Figura 8 ilustra o campo elétrico gerado por uma carga positiva isolada no espaço. As flechas representam o campo elétrico, um vetor, em cada ponto do espaço, gerado pela carga $+Q$. Observe que a presença de uma única carga pode gerar um campo em todo o espaço.

Mas como se pode medir o campo elétrico num determinado ponto?

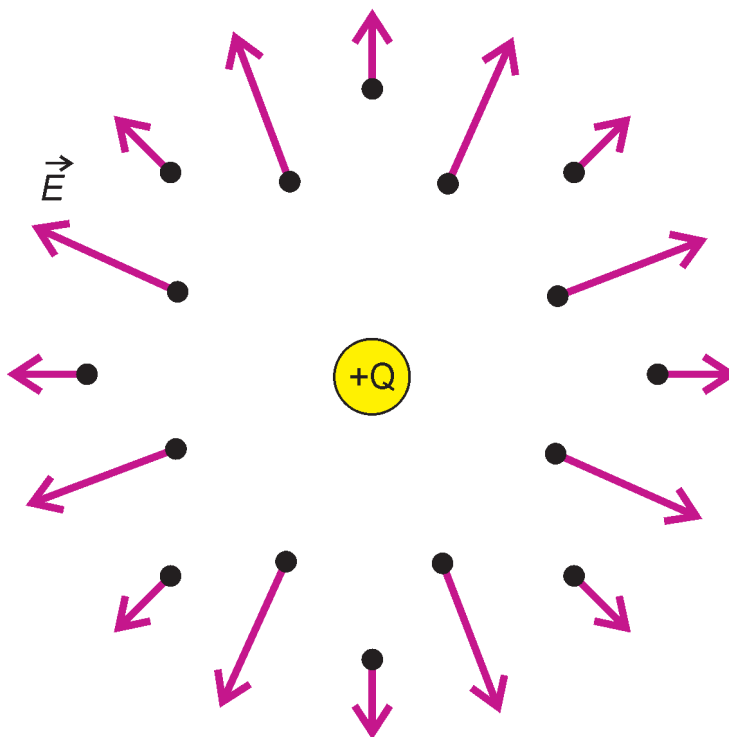


Figura 8: Campo elétrico gerado por uma carga $+Q$ em todos os pontos do espaço.

A Figura 9 é a mesma figura anterior na qual adicionamos uma carga de teste q_0 , supostamente bem menor do que a carga $+Q$ (para não perturbar o campo gerado pela carga maior). O campo elétrico é definido da seguinte forma:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0},$$

de modo que a força na carga q_0 é dada por

$$\vec{F} = q \vec{E}.$$

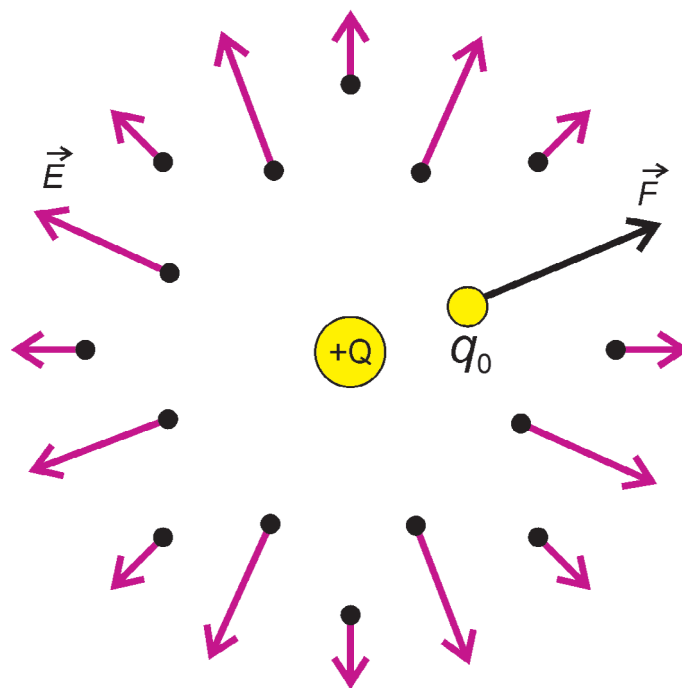


Figura 9: Campo elétrico gerado por uma carga $+Q$ em todos os pontos do espaço. Sobre uma carga $+q_0$ no campo de $+Q$ age uma força \vec{F} , que é a força dada pela Lei de Coulomb.

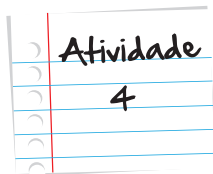
Portanto, para que a definição de campo esteja em conformidade com a lei de Coulomb, o módulo do campo elétrico de uma carga pontual deve ser dado por:

$$E = k \frac{Q}{d^2}$$

de modo que, pela definição acima, o módulo da força seja dado por

$$F = k \frac{Qq_0}{d^2}$$

O sentido e a direção da força obedecem ao que já vimos anteriormente: a força está na direção da linha que une as duas cargas e ela é atrativa, se as cargas forem distintas, e repulsiva, se as cargas forem iguais. Assim, uma carga $-Q$, negativa, gera um campo elétrico cujos vetores apontam para a carga (compare com a Figura 8). Uma carga de teste $+q_0$ na vizinhança dela iria sofrer uma força atrativa (compare com a Figura 9).



Elétron e próton acelerados

Um próton é solto num campo elétrico uniforme. A seguir, um elétron é colocado no mesmo ponto e solto também. A mesma força age neles? A mesma aceleração? Eles se movem na mesma direção, quando soltos?

Anote suas
respostas em
seu caderno

Seção 5

A água como uma substância polar

Tudo isso que discutimos anteriormente pode parecer um tanto longe da nossa realidade, do nosso dia a dia. Entretanto, analisando mais atentamente, podemos constatar que esse é um pensamento equivocado! Por exemplo, a substância mais importante para a nossa vida é a água, é ela que torna a vida possível. As moléculas do nosso corpo precisam de água para dissolver as moléculas biológicas essenciais. A água é um composto de hidrogênio e oxigênio, com dois átomos de hidrogênio para cada átomo de oxigênio. As propriedades elétricas da molécula da água é que a tornam tão eficiente como solvente, como veremos a seguir.

Um dipolo elétrico pode ser pensado como um par de cargas pontuais com mesmo módulo, porém de sinais contrários (ou seja, uma carga positiva $+Q$ e uma carga negativa $-Q$) bem próximas. Como um todo, o dipolo é neutro, mas há um desbalanço espacial de carga, de modo que uma parte seja mais positiva e outra mais negativa. Uma molécula de água é neutra, mas as ligações químicas no interior da molécula ocasionam um deslocamento das cargas. Assim, a parte ocupada pelos hidrogênios fica mais positiva e a parte ocupada pelo oxigênio fica mais negativa, conforme mostra a Figura 10. As consequências desse deslocamento são profundas.

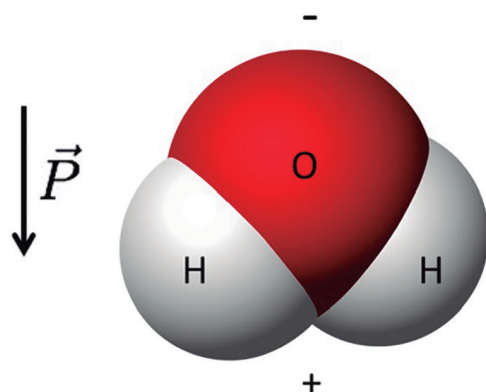


Figura 10: Uma molécula de água. Há um ligeiro desbalanço espacial de cargas, no sentido que a parte mais próxima dos hidrogênios é mais positiva e a parte mais próxima do oxigênio é negativa, mas a molécula como um todo é neutra. O momento de dipolo \vec{P} aponta da extremidade negativa para a positiva.

A água, por ter um momento de dipolo significativo, é um excelente solvente de substâncias iônicas, como o sal de cozinha (cloreto de sódio, NaCl). Ao se dissolver em água, o sal dissocia-se em um íon positivo (Na^+) e um íon negativo (Cl^-), que são respectivamente atraídos pelas extremidades negativa e positiva da molécula. O momento de dipolo da água é responsável pelos efeitos físicos e químicos que ocorrem nas soluções aquosas. A vida na Terra depende das reações bioquímicas que só são possíveis graças ao fato das moléculas de água possuírem momento de dipolo significativo.

Aliás, a água, caindo da torneira (de modo que fique um filete bem fino), desvia-se da sua trajetória na presença de um bastão de plástico carregado e daí podemos inferir que as moléculas de água (embora neutras) possuem um momento de dipolo. Fluidos que não são compostos por moléculas dipolares (como o transdicloroeteno, por exemplo) não são desviados de sua trajetória pela presença de um bastão carregado.

Resumo

Nesta aula, você viu que:

- As cargas elétricas podem ser de dois tipos: positivas ou negativas. Quando são iguais, elas se repelem, e quando são opostas, atraem-se;
- Materiais condutores são aqueles em que os elétrons podem se movimentar livremente pelos átomos, já os materiais isolantes são aqueles que as ligações químicas permitem pouca movimentação de elétrons;
- A Lei de Coulomb diz-nos que a força entre duas cargas é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas;
- Em uma associação de cargas, a força total exercida sobre uma carga é a soma vetorial da força que cada uma das outras cargas causa sobre a carga escolhida;

Veja Ainda

Física e vida: o "sexto sentido" dos tubarões

Os tubarões podem localizar a presa escondida na areia no fundo do oceano. Eles detectam o campo elétrico minúsculo, produzido pelas contrações musculares da presa. Podemos ver, na sua face, os canais preenchidos por uma geleia condutora, que terminam em poros, que são os pontos pretos na figura. Campos de baixa intensidade (até 5×10^{-7} N/C) fazem cargas fluírem nos canais e disparam um sinal no sistema nervoso do tubarão. Canais com orientações distintas podem indicar as componentes distintas do campo elétrico e assim, determinar a direção do campo.



Figura 11: Os pontos pretos na figura são os poros pelos quais o tubarão detecta campos elétricos.

Mais sobre a capacidade dos tubarões de detectarem campos elétricos:

http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/o_sentido_eletrico_dos_tubaroes_imprimir.html

Atividade 1

De acordo com a Lei de Coulomb (lembre que $d = 1\text{ km} = 1000\text{ m}$).

$$F = 9 \times 10^9 \frac{1 \times 1}{1000^2} = 9000\text{ N},$$

que é uma força enorme, quase o peso de uma pedra de uma tonelada!

Atividade 2

Vamos calcular primeiro a força gravitacional entre o próton e o elétron. Lembre que a força gravitacional é SEMPRE ATRATIVA entre duas massas quaisquer e sua expressão é dada pela equação vista anteriormente:

$$F_g = G \frac{m \times M}{R^2} = 6,7 \times 10^{-11} \frac{(1,7 \times 10^{-27}) \times (9 \times 10^{-31})}{(10^{-10})^2} = 1 \times 10^{-47}\text{ N}.$$

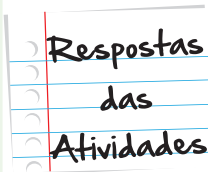
Vamos agora calcular a força elétrica entre as duas cargas por meio da Lei de Coulomb:

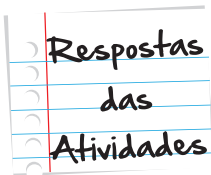
$$F_E = k \frac{q \times q}{R^2} = 9 \times 10^9 \frac{(1,6 \times 10^{-19}) \times (1,6 \times 10^{-19})}{(10^{-10})^2} = 2 \times 10^{-8}\text{ N},$$

de onde concluímos que a força gravitacional é muito menor do que a força elétrica entre as cargas.

Atividade 3

Quando o canudo é esfregado pelo papel, ele fica eletrizado com carga negativa (como descrito na seção 1). Ao se aproximar da parede, a carga negativa excedente no canudo atrai a parte positiva das moléculas da parede e repele os elétrons das mesmas moléculas. Assim, a superfície da parede fica positivamente carregada e atrai o canudo. Claro que quem realmente impede o canudo de escorregar na parede é a força de atrito entre os dois, que só existe porque a força de atração elétrica empurra um contra o outro.





Atividade 4

Lembremos que a carga do elétron é negativa, a do próton é positiva e com o mesmo módulo da do elétron e que a massa do próton é cerca de duas mil vezes maior do que a do elétron. Assim, os dois experimentam a mesma força, pois a força é carga vezes o campo elétrico, conforme explicado na seção 4.

A aceleração é força dividida pela massa. Assim, a aceleração do elétron será muito maior (duas mil vezes maior, aproximadamente).

E finalmente, eles se movimentam em direções opostas, pois a força numa partícula carregada depende do sinal da sua carga. Assim, o próton se movimentará na mesma direção do campo elétrico e o elétron se movimentará na direção contrária ao campo elétrico.

Bibliografia

- Hewitt, Paul G. **Física Conceitual**. Bookman, Porto Alegre, 2000.
- Cassidy, David; Holton, Gerald e Rutherford, James. **Understanding Physics**. Springer, 2002.

Imagens



- André Guimarães



- <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raios.jpg>



- http://en.wikipedia.org/wiki/File:Static_on_the_playground_%2848616367%29.jpg



- http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Franklin_lightning_engraving.jpg



- <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lorenzini.jpg>



- <http://www.sxc.hu/photo/517386> • David Hartman.



O que perguntam por aí?

Questão 1 (Mackenzie-SP)

Duas esferas metálicas idênticas, separadas pela distância d , estão eletrizadas com cargas elétricas Q e $-5Q$. Essas esferas são colocadas em contato e em seguida são separadas de uma distância $2d$. A força de interação eletrostática entre as esferas, antes do contato, tem módulo F_1 e, após o contato, tem módulo F_2 . A relação F_1/F_2 é:

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5

Questão 2 (VUNESP-SP)

Uma partícula de massa m e carga q é liberada, a partir do repouso, num campo elétrico uniforme de intensidade E . Supondo que a partícula esteja sujeita exclusivamente à ação do campo elétrico, a velocidade que atingirá t segundos depois de ter sido liberada será dada por:

- a. qEt/m
- b. mt/qE
- c. qmt/E
- d. Et/qm
- e. t/qmE

Gabarito

1. Letra C. Antes do contato, pela Lei de Coulomb, o módulo da força eletrostática é dado por:

$$F_1 = k \frac{Q \times 5Q}{d^2} = 5k \frac{Q^2}{d^2}.$$

Depois do contato, a carga líquida, que é de $4Q$, distribui-se igualmente entre as duas esferas que estão agora separadas pelo dobro da distância e, portanto:

$$F_2 = k \frac{2Q \times 2Q}{4d^2} = k \frac{Q^2}{d^2}$$

e assim, a razão $F_1/F_2 = 5$.

2. Letra A. A força que age na partícula no momento que ela é liberada é $F = qE$ (pela definição de campo elétrico).

Por outro lado, a segunda Lei de Newton diz que $F = ma$. Igualando as duas expressões, obtemos que: $a = qE/m$.

Assim, como a partícula saiu do repouso, a velocidade num tempo t é dada por $v = at = qEt/m$.





Atividade extra

Questão 1 (Adaptado de UFES)

Num dia bastante seco, uma jovem de cabelos longos, percebe que depois de penteá-los o pente utilizado atrai pedaços de papel. Isto ocorre por que:

- a. o pente se eletrizou por atrito;
- b. o pente é um bom condutor elétrico;
- c. o papel é um bom condutor elétrico;
- d. os pedaços de papel estavam eletrizados.

Questão 2 (Adaptado de UFGO - 1986)

Um corpo possui carga elétrica de $1,6 \times 10^{-6}$ C. A carga elétrica fundamental é $1,6 \times 10^{-19}$ C. No corpo há uma falta de:

- a. 10^{13} elétrons;
- b. 10^{18} prótons;
- c. 10^{19} elétron;
- d. 10^{19} prótons.

Questão 3 (Adaptado de UNIFESP - 2006)

Duas partículas de cargas elétricas $q_1 = 4,0 \times 10^{-16} \text{ C}$ e $q_2 = 6,0 \times 10^{-16} \text{ C}$ estão separadas no vácuo por uma distância de $3,0 \times 10^{-9} \text{ m}$. Sendo $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$, qual a intensidade da força de interação, em newtons, entre elas?

Gabarito

Questão 1

- A** **B** **C** **D**
- ☒ ☐ ☐ ☐

Questão 2

- A** **B** **C** **D**
- ☒ ☐ ☐ ☐

Questão 3

$$F = K \frac{|q_1||q_2|}{d^2}$$
$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-16} \cdot 6 \cdot 10^{-16}}{(3 \cdot 10^{-9})^2}$$
$$F = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$



Aprendendo sobre as correntes elétricas

Fascículo 5
Unidade 12

Aprendendo sobre as correntes elétricas

Para início de conversa...

Nossa vida no mundo de hoje depende da eletricidade de uma maneira absolutamente fundamental. Basta ver todos os transtornos causados por um período prolongado de falta de “luz”. Praticamente, todos os aparelhos que tanto servem para facilitar nossas tarefas domésticas quanto para alegrar e enriquecer a nossa vida cotidiana são movidos à energia elétrica. Se você nunca pensou nisso antes, tente imaginar como a vida era muito mais difícil e menos confortável há 150 anos atrás, quando não havia geladeira, chuveiro elétrico nem máquina de lavar roupa. Hoje em dia, o acesso da população em geral à eletricidade nos parece óbvio e natural, como se sempre tivesse sido assim. No entanto, a distribuição de eletricidade para as fábricas, a iluminação pública e as residências teve início há pouco mais de 100 anos. No Brasil, a primeira usina termoeletrica (a carvão) foi instalada em 1883, na cidade de Campos (RJ), e a primeira usina hidrelétrica foi construída, no mesmo ano, em Diamantina (MG).

O estudo da corrente elétrica e de seus efeitos é essencial para a construção e compreensão do funcionamento dos mais variados aparelhos, desde um simples ferro elétrico a um dispositivo eletrônico de última geração.



Figura 1: Você consegue imaginar sua vida sem objetos que utilizam a energia elétrica?

Objetivos de aprendizagem

- Conceituar corrente elétrica;
- Calcular o fluxo de elétrons em uma corrente;
- Diferenciar o sentido do fluxo de elétrons e da corrente elétrica;
- Identificar os diferentes tipos de corrente elétrica;
- Calcular a resistência elétrica de um resistor.

Seção 1

A ocorrência da corrente elétrica

As aplicações mais importantes da eletricidade envolvem cargas elétricas em movimento, formando uma **corrente elétrica**. Trataremos de correntes em condutores metálicos, tais como fios de cobre, embora um feixe de prótons no interior vazio de um acelerador de partículas também seja uma corrente elétrica.

Para que exista uma corrente elétrica de caráter estacionário, é necessário que haja um circuito elétrico fechado, onde se dá a circulação desta corrente. O tipo mais simples de circuito elétrico é aquele que envolve uma fonte de energia elétrica, um consumidor desta energia, e fios condutores que possibilitem a conexão entre a fonte e o consumidor. Além disso, quando se deseja dar seletividade ao circuito, permitindo que este seja ligado ou desligado, é comum o uso de interruptores. A figura a seguir mostra o esquema elétrico de um circuito simples onde estão ilustrados por meio de símbolos específicos, os elementos básicos aqui descritos.

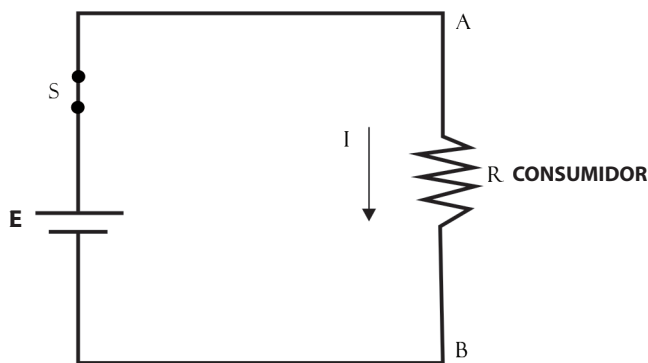


Figura 2: Circuito elétrico típico.

O símbolo que acompanha a letra E representa uma pilha (fonte de energia), onde o traço maior faz papel de polo positivo e o traço menor é o polo negativo. O símbolo que acompanha a letra S representa o interruptor na condição “fechado”, e a letra i representa a corrente elétrica que circula no circuito fechado, transportando a energia da fonte até o consumidor por meio dos condutores elétricos (fios) que compõem o circuito elétrico.

Saiba Mais

Efeitos da corrente elétrica



Quem já passou pela desagradável experiência de sofrer um choque elétrico conhece os efeitos fisiológicos e os incômodos provocados pela passagem da corrente elétrica através do corpo. Em muitos casos essa pode ser uma experiência extremamente perigosa, provocando danos irreversíveis ou até a morte.

Além dos efeitos fisiológicos percebidos pelas vítimas de choques elétricos, a circulação de corrente em sistemas elétricos provoca outros efeitos físicos, como a produção de campos magnéticos, como aqueles produzidos nos eletroímãs, e a inevitável produção de calor em equipamentos elétricos em geral, seja ela provocada propositalmente, como no caso dos eletrodomésticos destinados à produção do calor, ou em qualquer outro eletrodoméstico em que a produção do calor chega a ser indesejada, como no caso dos aparelhos de TV.

Um modelo microscópico para a corrente elétrica

Para que a corrente elétrica estabeleça-se, é necessário que o circuito seja constituído de condutores elétricos (fios). O termo condutor elétrico encontra-se relacionado diretamente à natureza do material utilizado na fabricação desses fios: cobre, alumínio etc., e é condição para a ocorrência de corrente elétrica. Vamos entender melhor este fenômeno?



Estudos sobre as propriedades elétricas dos materiais revelaram que, diferentemente dos materiais isolantes, os materiais condutores de eletricidade possuem uma grande quantidade de elétrons livres disponíveis no seu interior.

Do ponto de vista prático, os metais são materiais que possuem tais características físicas, e isso explica porque os fios elétricos são construídos a partir desses materiais.

A figura a seguir exibe uma representação de um trecho de um condutor elétrico cilíndrico e ilustra um modelo simplificado do que ocorre no interior deste condutor de natureza metálica como o cobre, por exemplo, quando este não se encontra conectado a nenhum circuito elétrico.

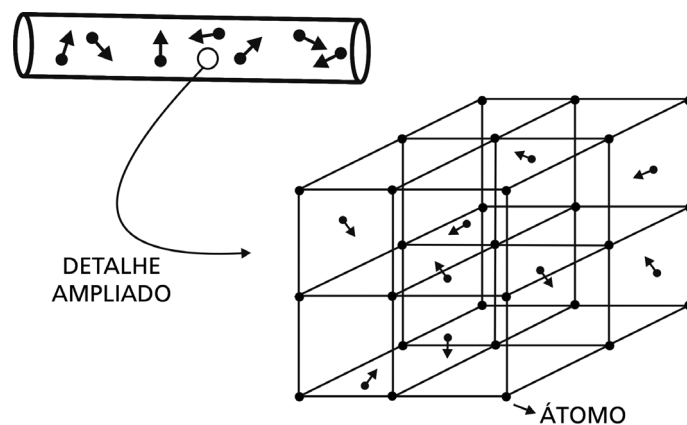


Figura 3: Modelo simplificado de um trecho de fio condutor.

O detalhe na figura mostra uma estrutura geométrica regular que representa a distribuição dos átomos de cobre ocupando os vértices dos cubos microscópicos.

A esta estrutura denomina-se rede cristalina, onde os átomos de cobre realizam movimentos periódicos de vibração que são transmitidos a toda a rede. Além disso, é possível observar no detalhe, o movimento dos elétrons que ocorre em direções aleatórias ao longo da rede.

Você deve estar se perguntando: se o movimento dos elétrons livres é aleatório no interior do condutor, o que seria a corrente elétrica?

Dos estudos da eletrostática foi possível aprendermos que partículas carregadas eletricamente, como os elétrons, sofrem ação de forças elétricas quando submetidas a campos elétricos.

Nos circuitos elétricos, a pilha, a bateria ou o gerador possuem dupla função. Além de fornecerem energia, submetem o circuito a uma diferença de potencial (tensão elétrica) e, conseqüentemente, a um campo elétrico que atua sobre os elétrons livres impondo-lhes uma força elétrica, que faz com que o movimento dessas partículas carregadas deixe de ser aleatório e passe a ser orientado. A esse movimento orientado de cargas elétricas dá-se o nome de corrente elétrica. Em termos operacionais, isso ocorre quando o interruptor S do circuito apresentado na figura 2 é fechado. Nas nossas casas, ao acionarmos o interruptor, a lâmpada (consumidor) acende, enquanto em um aparelho de TV (consumidor), ao acionarmos o botão de LIGA, a imagem aparece. Em ambos os casos, os efeitos são percebidos a partir do instante em que há circulação de corrente elétrica.

Assim, diz-se que existe uma corrente elétrica em um determinado circuito, quando o movimento das cargas elétricas é orientado e, para tal, é imprescindível a existência de uma fonte de energia (pilha, bateria ou gerador) e um circuito fechado.

Intensidade de corrente elétrica

Algumas analogias podem ajudar a entender melhor a noção de corrente elétrica. A água que escoar num rio forma uma corrente de água. A intensidade do fluxo de água num rio é medida pelo volume de água que passa por unidade de tempo por um trecho do rio: a vazão média do rio Amazonas é estimada em 200 mil metros cúbicos por segundo (o suficiente para encher oito Baías de Guanabara em um dia). O movimento de pessoas saindo de um cinema depois de um filme constitui uma corrente humana. Neste caso, a intensidade da corrente seria medida pelo número de pessoas que passam pela porta de saída do cinema por unidade de tempo: por exemplo, 50 pessoas por minuto.

A definição quantitativa de corrente elétrica é baseada nas mesmas ideias descritas acima. Suponha que partículas portadoras de carga elétrica positiva passem por uma superfície, conforme a Figura 4.

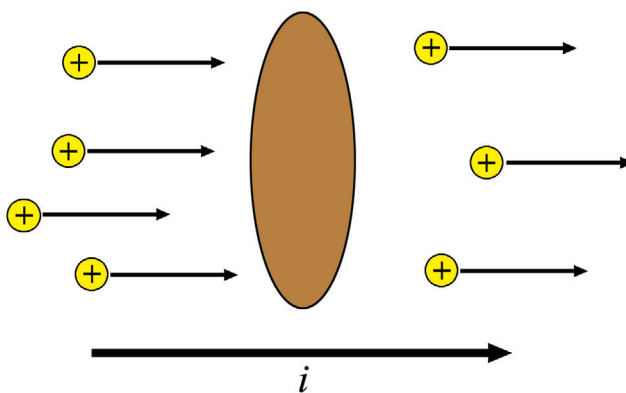


Figura 4: Cargas positivas formando uma corrente elétrica atravessam uma superfície.

Se ΔQ é a quantidade de carga elétrica que atravessa a superfície durante um intervalo de tempo Δt , a corrente elétrica através da superfície é:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Observe que, quanto maior for a quantidade de carga elétrica (ΔQ) que atravessa a superfície no intervalo de tempo Δt , maior será o valor da corrente elétrica. A carga ΔQ é igual ao valor da carga de cada partícula vezes o número de partículas que atravessou a superfície no intervalo de tempo Δt .

No sistema internacional (SI), a unidade de corrente elétrica é o **Coulomb por segundo** (C/s). Esta unidade é chamada de ampère (A) em homenagem a André-Marie Ampère, físico francês que deu grandes contribuições ao Eletromagnetismo:

$$1 \text{ A} = 1 \text{ ampère} = 1 \text{ C/s}$$

O miliampère (mA) e o microampère (μA) são submúltiplos do ampère usados com frequência:

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}; 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}.$$

Para o caso específico de correntes de elétrons, a quantidade ΔQ será dada por um múltiplo inteiro de elétrons, que pode ser expressa por:

$$\Delta q = n \cdot e; n = 1, 2, 3, \dots$$

e

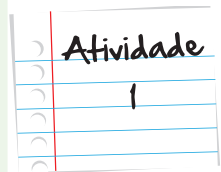
$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

sem esquecer que a carga elétrica do elétron tem sinal negativo.

Calculando o fluxo de elétrons

Um dos condutores (fios) de um circuito elétrico é percorrido por uma corrente de 4 A (4 ampères) durante o intervalo de 2 segundos. Determine a quantidade de elétrons que atravessa a área da seção transversal desse condutor no intervalo considerado.

Anote suas
respostas em
seu caderno



Atividade

2

Contando elétrons

Uma corrente de 450mA passa numa lâmpada incandescente, que fica acesa durante 20 minutos.

- Calcule a carga elétrica que passou pela lâmpada enquanto ela esteve acesa.
- Quantos elétrons passaram pelo filamento da lâmpada (módulo da carga do elétron: $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)?

Anote suas
respostas em
seu caderno

Saiba Mais

André-Marie Ampère (1775-1836)



Foi um grande físico francês. Por influência paterna, não teve educação formal: estudou por conta própria aproveitando-se da bem equipada biblioteca de seu pai. Iniciou-se em matemática avançada aos 12 anos de idade, mas suas leituras abrangiam história, poesia, filosofia e ciências naturais. A partir de 1820, Ampère começou a desenvolver uma teoria física e matemática para descrever a relação entre eletricidade e magnetismo. Seu resultado mais importante, sobre a força de interação entre correntes elétricas, foi o estabelecimento de uma das leis fundamentais do eletromagnetismo, conhecida como lei de Ampère. Em 1827, Ampère publicou sua obra máxima – *Memória sobre a teoria matemática dos fenômenos eletrodinâmicos unicamente deduzida da experiência* –, fundando uma nova ciência que ele denominou eletrodinâmica. Ampère foi também o primeiro a compreender que o magnetismo deve-se a circuitos fechados microscópicos no interior dos ímãs.

Seção 2

0 sentido convencional da corrente elétrica

Há uma peculiaridade na definição de corrente elétrica que não aparece quando consideramos fluxo de água ou movimento de pessoas. O sentido da corrente de água num rio ou da corrente de pessoas saindo de um cinema é o mesmo sentido do movimento da água ou das pessoas, ou seja, a corrente e o objeto que estão se movendo tem o mesmo sentido. Isso parece meio óbvio, não é mesmo? Mas nas correntes elétricas vamos ver que não é bem assim que acontece.

A carga elétrica possui um sinal algébrico, isto é, pode ser positiva ou negativa. Na Figura 4, cargas positivas atravessam a superfície da esquerda para a direita e este é o mesmo sentido da corrente. Se, como mostrado na Figura 5, cargas negativas atravessam a superfície da direita para a esquerda, convencionou-se que a corrente continua tendo o mesmo sentido anterior – da esquerda para a direita.

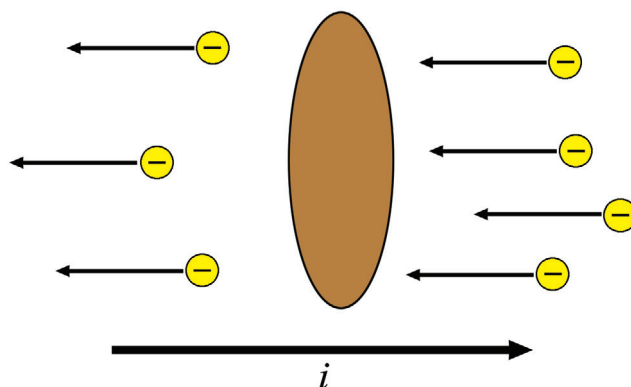


Figura 5: A corrente elétrica é no sentido oposto ao do movimento das cargas negativas que atravessam a superfície.

Note que, neste caso, o sentido convencional da corrente é oposto ao do movimento real das cargas elétricas negativas. A convenção se justifica pelo seguinte raciocínio: transferir cargas negativas da direita para a esquerda equivale a transferir cargas positivas da esquerda para a direita, do mesmo modo que subtrair -5 de um número corresponde a somar 5 ao mesmo número.

Num metal, as partículas que se movimentam para produzir corrente elétrica são os elétrons mais externos dos átomos do metal (elétrons livres), que possuem carga negativa. Assim, o sentido convencional da corrente elétrica num fio de cobre é oposto ao da velocidade dos elétrons no fio. Em quase todos os fenômenos eletromagnéticos, cargas positivas movendo-se num sentido fazem o mesmo efeito que cargas negativas movendo-se no sentido

oposto.

Vale destacar que os elétrons livres num fio metálico sem corrente elétrica executam um movimento térmico desordenado. Esse movimento aleatório não constitui uma corrente porque, em média, num dado intervalo de tempo, o número de elétrons que atravessam uma seção do fio num sentido é igual ao número de elétrons que a atravessam no sentido oposto. Logo, a carga elétrica total que atravessa a superfície é zero e não há corrente. Quando o fio é conectado a uma bateria ou à rede elétrica, aparece um campo elétrico dentro do fio que empurra as cargas, sobrepondo ao movimento aleatório um movimento ordenado dos elétrons ao longo do fio. Esse movimento ordenado constitui uma corrente elétrica.

A corrente produzida por uma bateria ou pilha tem sempre o mesmo sentido, e é chamada de **corrente contínua**. A rede elétrica residencial gera **corrente alternada**, cujo sentido se inverte 60 vezes por segundo.

Tipos de corrente elétrica

Nos aparelhos domésticos, é mais comum a utilização de dois tipos de correntes de elétrons. Quando o circuito utiliza como fonte de energia as pilhas ou baterias, a corrente resultante é do tipo contínua. Ou seja, não varia ao longo do tempo. A figura a seguir ilustra o comportamento de uma corrente do tipo contínua de módulo constante igual a I .

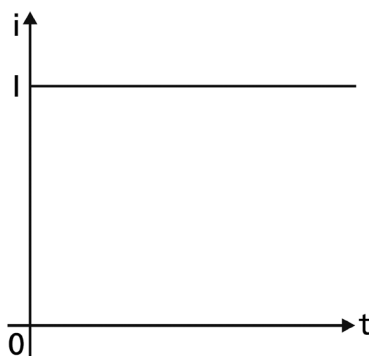


Figura 6: Gráfico representando a intensidade da corrente contínua.

Quando a fonte de energia utilizada é aquela proveniente das grandes usinas, como nos casos das residências, indústrias e instalações públicas presentes no dia a dia, o processo de “geração” desta energia ocorre de tal maneira que a corrente obtida é do tipo alternada, representada por uma **função senoidal**, conforme figura a seguir, onde o módulo alterna de valor periodicamente ao longo do tempo.

Função Senoidal

A função senoidal, ou senoide, é uma representação gráfica em forma de onda, semelhante ao gráfico da função seno.

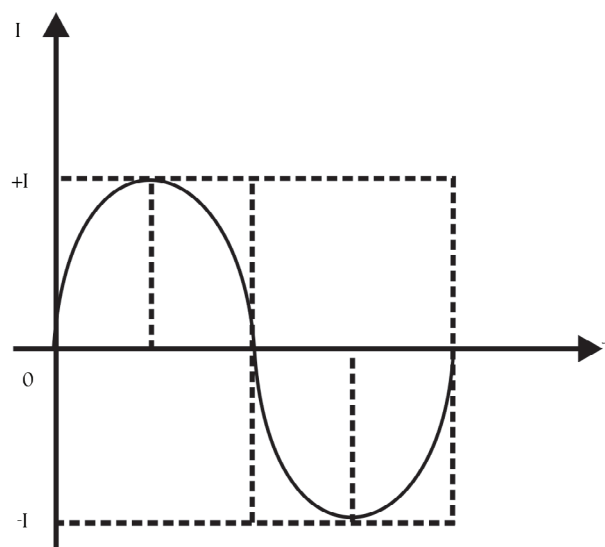


Figura 7: Gráfico representando a intensidade da corrente alternada. Note que ela oscila entre $+I$ e $-I$ ao longo do tempo.

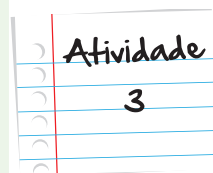
Qual é o sentido?

Um campo elétrico apontando para a direita é aplicado a um fio de cobre, como mostra a figura abaixo.



- Qual é o sentido do movimento dos elétrons no fio?
- Qual é o sentido da corrente elétrica no fio?

Anote suas
respostas em
seu caderno





Tudo isto que acabamos de comentar está bem ilustrado na animação que você pode ver no link:
<http://www.youtube.com/watch?v=M7RII70cDSM>

Seção 3

Diferença de Potencial Elétrico ou Voltagem

Assim como um corpo a uma certa altura da superfície da Terra possui uma energia potencial gravitacional, uma carga elétrica num campo elétrico (produzido por outras cargas) tem uma energia potencial elétrica. Um corpo que cai sob a ação da gravidade tem sua energia potencial transformada em energia cinética, e essa energia cinética pode ser convertida em outra forma de energia útil. O mesmo se dá com cargas elétricas em movimento.

A **diferença de potencial** – também chamada de **voltagem** ou **tensão** – entre dois pontos a e b num campo elétrico é definida como o trabalho W_{ab} realizado pelo campo elétrico sobre uma carga q ao transportá-la de a até b dividido pela carga, ou seja, é o **trabalho por unidade de carga**:

$$V_a - V_b = W_{ab} / q$$

No SI a unidade de diferença de potencial elétrico é o joule por coulomb (J/C), que é chamada de volt (V), de modo que

$$1 \text{ J/C} = 1 \text{ V}$$

Geradores Elétricos

Um gerador elétrico ou fonte de força eletromotriz é um dispositivo capaz de manter uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos: o polo positivo tem um potencial elétrico maior do que o polo negativo. Se os dois polos do gerador são conectados por um condutor, flui uma corrente elétrica do polo positivo para o negativo, já que as cargas positivas são empurradas no sentido do campo elétrico. O campo elétrico aponta no sentido em que o potencial elétrico diminui – no problema gravitacional análogo, o campo gravitacional aponta verticalmente para baixo, sentido em que a energia potencial gravitacional decresce.

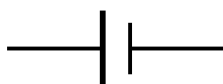
O que o gerador faz é transportar as cargas que chegam ao polo negativo até o polo positivo, elevando o potencial elétrico dessas cargas e, assim, permitindo que a corrente flua continuamente. Em suma, o gerador realiza o trabalho de elevar as cargas de um potencial menor (no polo negativo) para um potencial maior (no polo positivo). A força eletromotriz do gerador é o trabalho por unidade de carga que é realizado para transportar as cargas do polo negativo até o positivo. De acordo com a definição de diferença de potencial elétrico, a força eletromotriz de um gerador coincide com a diferença de potencial que o gerador é capaz de estabelecer entre seus polos. Por exemplo, uma bateria de automóvel de 12V mantém uma diferença de potencial elétrico de 12V entre seu terminais positivo e negativo.



Figura 8: Outro exemplo de gerador é a pilha que consegue estabelecer um potencial elétrico de 1,5V.

Em baterias e pilhas, o trabalho para elevar as cargas do potencial do polo negativo ao do positivo deve-se a reações químicas que ocorrem no interior da pilha ou bateria. Já os geradores de voltagem alternada das redes elétricas residenciais (usinas hidrelétricas e termoeletrônicas) baseiam-se num efeito descoberto pelo grande físico experimental inglês Michael Faraday: se um circuito é posto em movimento (por água em queda, por exemplo) na presença de um campo magnético (produzido por ímãs permanentes) é induzida uma força eletromotriz no circuito e flui uma corrente elétrica.

Num circuito elétrico, representa-se uma pilha ou bateria pelo símbolo abaixo:



A linha vertical mais longa e mais grossa indica o polo positivo, e a linha vertical mais curta e mais fina indica o polo negativo. A corrente no circuito flui do polo positivo para o negativo.

Seção 4

Resistência Elétrica

Quando um condutor de eletricidade é ligado a um gerador, passa uma corrente. Para uma dada voltagem mantida pelo gerador, observa-se que a intensidade da corrente é maior ou menor, dependendo do condutor. Isto se deve ao fato de condutores apresentarem uma propriedade conhecida como resistência elétrica. Você talvez já tenha visto no cinema alguma cena de policial perseguindo um criminoso num trem lotado. Os constantes esbarrões do policial nos passageiros limitam a sua velocidade (o mesmo se aplica ao criminoso). Quanto mais apinhado de pessoas estiver o trem, menor a velocidade do policial durante a perseguição. Algo análogo ocorre num condutor metálico: os elétrons livres colidem frequentemente com os átomos do metal e isso se traduz numa resistência à passagem da corrente elétrica. A resistência é maior ou menor dependendo da natureza do condutor.

A resistência (R) de um condutor é definida por

$$R = \frac{V}{i}$$

Onde V é a voltagem aplicada ao condutor e i é a corrente através dele. A unidade de resistência no SI é o ohm (Ω):

$$\frac{1V}{1A} = 1ohm = 1\Omega$$

Exemplo: Se por um chuveiro elétrico ligado à rede de 220V passa uma corrente de 20A, qual é a resistência do chuveiro? Por definição, a resistência é $R = \frac{V}{i} = \frac{220V}{20A} = 11\Omega$



Saiba Mais

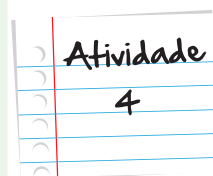
Unidade de resistência elétrica

A unidade de resistência elétrica recebe o nome de Ohm e foi assim denominada em homenagem a George Simon Ohm (1787-1854), cientista alemão cujos estudos contribuíram para a construção do conhecimento na área de eletricidade. Seu símbolo é a letra grega Ω (ômega).

O quanto o ferro resiste?

Um ferro elétrico deve ser ligado a uma tensão elétrica de 127 V. Nessa condição, circula pelo seu resistor interno, uma corrente elétrica de 10 A. Determine o valor da resistência elétrica do resistor.

Anote suas
respostas em
seu caderno



Resumo

Nesta unidade, você viu que:

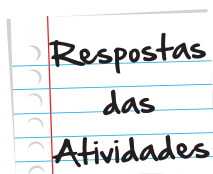
- o conceito de corrente elétrica, que representa uma fluxo de elétrons que passa por um condutor, sua intensidade (i) pode ser calculada por meio da expressão: $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$;
- o sentido convencional da corrente elétrica num fio é oposto ao da velocidade dos elétrons, sendo do polo positivo para o polo negativo;
- existem dois tipos de corrente, a contínua (presente em baterias) e a alternada (disponibilizadas nas residências);
- voltagem (ou tensão) é diferença de potencial entre dois pontos a e b e é definida como o trabalho W_{ab} realizado pelo campo elétrico sobre uma carga q . Sua unidade é o volt (V).
- a resistência elétrica é a capacidade do condutor de resistir a passagem de elétrons. É calculada a partir da fórmula $R = \frac{V}{i}$, e sua unidade é o ohm (Ω).

Veja Ainda

Embora esta unidade não tenha previsto uma discussão detalhada acerca da natureza dos materiais e de suas propriedades elétricas, alguns aspectos relacionados com as propriedades de materiais condutores foram discutidos. Em geral, esses materiais condutores são apresentados na literatura clássica como aqueles que facilitam a ocorrência de correntes elétricas, em contraposição aos materiais isolantes. Em situações normais (temperatura ambiente) a borracha, o vidro, a porcelana, a cerâmica, o papel, a madeira, os polímeros em geral, são materiais isolantes, assim como os metais são bons condutores.

O fato dos metais já se apresentarem como bons condutores fez com que cientistas do mundo inteiro dedicassem muito tempo na busca de ligas metálicas complexas que pudessem se comportar como condutores ideais, ou seja, que tivessem resistência elétrica nula, quando submetidas a baixas temperaturas. Algo que parecia lógico.

Entretanto, a resposta acabou surgindo a partir de um complexo cerâmico, de onde menos se esperava, pelo fato dos cerâmicos serem isolantes em situações normais (temperatura ambiente). Combinações que envolvem os elementos Ítrio, Bário e Cobre, quando submetidas a temperaturas muito baixas apresentam efeitos surpreendentes para determinadas temperaturas críticas, que fazem desses complexos cerâmicos condutores perfeitos. A esses materiais denomina-se supercondutor e as primeiras aplicações tecnológicas relacionadas com estas pesquisas relativamente recentes já podem ser percebidas.



Atividade 1

A expressão que define a intensidade de corrente permite calcular a quantidade de carga que atravessa a seção transversal do condutor a partir de uma simples manipulação algébrica.

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \text{ logo: } \Delta Q = i \Delta t$$

Substituindo os valores fornecidos pelo problema, teremos:

$$\Delta Q = 4 \cdot 2$$

$$\Delta Q = 8C$$

Sabemos que qualquer quantidade de carga é um múltiplo inteiro (n) da carga do elétron. Assim, é possível obter esse número de elétrons a partir da expressão:

$$\Delta Q = n \cdot e \quad \text{e} \quad n = \frac{\Delta Q}{e}$$

Substituindo o valor da carga do elétron, teremos:

$$n = \frac{8}{1,6 \cdot 10^{-19}}, \therefore n = 5 \cdot 10^{19} \text{ elétrons.}$$

Atividade 2

- a. Por definição de corrente elétrica, $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, donde
 $\Delta Q = i \cdot \Delta t = (450 \cdot 10^{-3} \text{ A}) \cdot (20 \cdot 60 \text{ s}) = 0,45 \cdot 1200 \text{ As} = 540 \text{ C}.$
- b. Como $\Delta Q = n \cdot e$, onde e denota o módulo da carga do elétron e n é o número de elétrons que atravessou o filamento, temos $n = \frac{\Delta Q}{e} = \frac{540 \text{ C}}{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})} = 3,4 \cdot 10^{21}$

Atividade 3

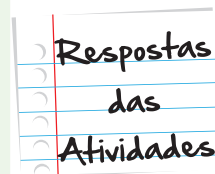
- a. Cargas negativas são empurradas no sentido contrário ao do campo elétrico. Logo, os elétrons do fio de cobre movem-se da direita para a esquerda.
- b. O sentido da corrente é o mesmo do campo elétrico, oposto ao sentido do movimento dos elétrons. Logo, o sentido da corrente é da esquerda para a direita.

Atividade 4

Para se calcular o valor da resistência utilizamos a fórmula $R = \frac{V}{i}$.

Substituindo os valores fornecidos pelo problema, teremos:

$$R = \frac{127}{10}$$
$$R = 12,7 \Omega$$



Bibliografia

- HALLIDAY D., RESNICK, R. e WALKER, J. (1996). **Fundamentos de Física**, v.3. Rio de Janeiro: Ed. LTC.

Imagens



- André Guimarães



- <http://www.sxc.hu/photo/474614>.



• <http://www.sxc.hu/photo/999218>.



• <http://www.sxc.hu/photo/1039796>.



• <http://www.sxc.hu/photo/838766>.



• <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=search&w=1&txt=wire&p=2>.



• http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ampere_Andre_1825.jpg.



• <http://www.sxc.hu/photo/841712>.





Atividade extra

Questão 1 (Adaptado de UFRS)

A frase “O calor do cobertor não me aquece direito” encontra-se em uma passagem da letra da música “Volta”, de Lupicínio Rodrigues. Na verdade, sabe-se que o cobertor não é uma fonte de calor e que sua função é a de isolar termicamente nosso corpo do ar frio que nos cerca. Existem, contudo, cobertores que, em seu interior, são aquecidos eletricamente por meio de uma malha de fios metálicos nos quais é dissipada energia em razão da passagem de uma corrente elétrica.

Esse efeito de aquecimento pela passagem de corrente elétrica, que se observa em fios metálicos, é conhecido como efeito:

- a. Ohm;
- b. Joule;
- c. estufa;
- d. fotoelétrico.

Questão 2 (Adaptado SAERJINHO – 2013)

Um resistor tem resistência $R = 30 \, \Omega$ e está submetido a uma diferença de potencial $V = 120 \, V$, como representado no esquema a seguir. Disponível em: <<http://goo.gl/JJPWEL>>.

O valor da intensidade de corrente elétrica i , em ampère, nesse resistor é:

- a. 0,25;
- b. 0,33;

- c. 3,00;
- d. 4,00.

Questão 3 (Adaptado de U.E. Londrina – PR)

Pela secção reta de um condutor de eletricidade passam 12,0 C a cada minuto. Nesse condutor a intensidade da corrente elétrica, em ampères, é igual a:

- a. 0,08;
- b. 0,20;
- c. 5,0;
- d. 7,2.

Questão 4 (Adaptado de U. E. – Maranhão)

Uma corrente elétrica com intensidade de 8,0 A percorre um condutor metálico. A carga elementar é $e=1,6 \times 10^{-19}$ C.

Qual o tipo e o número de partículas carregadas que atravessam uma secção transversal desse condutor, a cada segundo?

- a. Elétrons; $4,0 \times 10^{19}$ partículas;
- b. Elétrons; $5,0 \times 10^{19}$ partículas;
- c. Prótons; $4,0 \times 10^{19}$ partículas;
- d. Prótons; $5,0 \times 10^{19}$ partículas.

Questão 5 (Cecierj – 2013)

Um fio de um circuito elétrico de um pisca-pisca de árvore de natal é percorrido por uma corrente de 2 A (2 ampères) durante o intervalo de 8 segundos.

Determine a quantidade de carga, em Coulomb, e a quantidade de elétrons que atravessa a área da seção transversal desse condutor no intervalo considerado.

Gabarito

Questão 1

- A** **B** **C** **D**
- ☐ ☒ ☐ ☐

Questão 2

- A** **B** **C** **D**
- ☐ ☐ ☐ ☒

Questão 3

- A** **B** **C** **D**
- ☐ ☒ ☐ ☐

Questão 4

- A** **B** **C** **D**
- ☐ ☒ ☐ ☐

Questão 5

A expressão que define a intensidade de corrente permite calcular a quantidade de carga que atravessa a seção transversal do condutor a partir de uma simples manipulação algébrica. Assim: $i = \Delta q / \Delta t$, logo $\Delta q = i \cdot \Delta t$.

Substituindo os valores fornecidos pelo problema, teremos:

$$\Delta q = 2 \times 8, \text{ donde } \Delta q = 16C.$$

Sabemos que qualquer quantidade de carga é um múltiplo inteiro (n) da carga do elétron. Assim, é possível obter esse número de elétrons a partir da expressão: $q = n \cdot e$ ou $n = q/e$

Substituindo o valor da carga do elétron, teremos: $n = 10 \times 10^{19}$ elétrons ou $n = 10^{20}$ elétrons.

Civilização Elétrica

Fascículo 5

Unidade 13

Civilização Elétrica

Para início de conversa ...

A maior parte dos aparelhos eletrodomésticos que utilizamos em nossas casas funciona a partir da circulação de correntes elétricas em seus circuitos internos. Embora sejam invisíveis aos olhos, as correntes elétricas que circulam em um aparelho elétrico podem provocar efeitos diversos, dependendo da função do aparelho. Em uma lâmpada, por exemplo, ocorre o aquecimento e a emissão de luz, em um chuveiro, ou em um ferro elétrico, ocorre também o aquecimento. Um aparelho de ar condicionado refrigera o ambiente a partir da passagem de correntes elétricas em seus circuitos internos, enquanto o motor de um ventilador, quando percorrido por corrente, produz movimento de rotação. Até mesmo o corpo humano, quando submetido à passagem de corrente elétrica, percebe o efeito fisiológico provocado pela mesma, conhecido popularmente como choque elétrico.

Toda essa diversidade de situações em que encontramos a presença de correntes elétricas faz com que este conceito seja visto como um dos mais importantes da Física e mereça a nossa atenção.



Na última unidade, você viu como a corrente elétrica ocorre. Nesta unidade, você vai entender como acontece o fenômeno da resistividade elétrica e entender como funcionam aparelhos simples como o ferro de passar e o chuveiro elétrico.

Objetivos de aprendizagem

- Conceituar a resistividade elétrica;
- Conceituar Efeito Joule;
- Calcular a potência elétrica de aparelhos;
- Calcular o consumo de energia elétrica de um aparelho.

Seção 1

Relembrando a resistência elétrica

Em geral, a corrente elétrica que se estabelece ao longo da rede cristalina do condutor depende das propriedades elétricas do material. Materiais com maior quantidade de elétrons livres como os metais (condutores) oferecem as melhores condições para a ocorrência de correntes elétricas. Além disso, o estado de maior ou menor vibração dos átomos da rede, associado à temperatura em que o material encontra-se, pode dificultar (mais ou menos) a passagem dos elétrons. Assim, a deficiência de elétrons livres e/ou as temperaturas elevadas são fatores determinantes para o aumento da resistência à passagem da corrente elétrica, efeito denominado resistência elétrica (R).

O parâmetro físico que traduz essa relação entre a resistência elétrica e a natureza do material, e sua temperatura, chama-se **resistividade elétrica**, e indica-se pela letra grega ρ (lê-se rô). Ela influencia diretamente o valor da resistência elétrica.

Apesar do seu efeito aparentemente indesejado nos circuitos elétricos, já que a resistência elétrica “atrapalha” a passagem da corrente, em certas situações do cotidiano esse efeito resistivo é aproveitado, dependendo da função do circuito ou do aparelho elétrico.

Em muitos casos, são introduzidos nos circuitos, os chamados resistores elétricos – elementos de circuito especialmente desenvolvidos para provocar efeitos resistivos.

Um resistor pode ser introduzido, por exemplo, em situações onde se pretende provocar uma limitação ou controle do valor da corrente no circuito, como no caso dos controles de luminosidade de lâmpadas (dimmers) onde a inserção da resistência no circuito pode ocorrer de forma gradual, permitindo um controle da corrente que passa pela lâmpada. A esses resistores variáveis denominamos **reostatos** ou **potenciômetros**.



Figura 1: O dimmer é um equipamento que, uma vez instalado, possibilita a inserção controlada de uma resistência no circuito e, consequentemente, o controle da corrente que passa pela lâmpada.

Outra característica importante dos resistores (a principal), é que nesses elementos ocorre a transformação de energia elétrica em calor. Assim, é comum a utilização de resistores especialmente desenvolvidos para provocar essa “produção de calor” em determinados eletrodomésticos. São exemplos: o ferro elétrico, o ferro de solda, o chuveiro elétrico, a torradeira, o grill e a própria lâmpada incandescente, cujo filamento é um resistor.

Seção 2

Resistividade elétrica

Embora os materiais condutores sejam utilizados na fabricação de fios elétricos, mesmo nesses fios condutores, o efeito resistivo é verificado. Como já foi dito anteriormente, esse efeito está relacionado diretamente à natureza do material e sua capacidade de fornecer elétrons livres e a temperatura em que se encontra o material.

Ohm descobriu que, dados dois fios cilíndricos do mesmo material, a resistência cresce proporcionalmente ao comprimento do fio (ℓ) e é inversamente proporcional à área da seção transversal do fio (A); além disso, depende do material de que o fio é feito. As descobertas de Ohm podem ser resumidas na seguinte fórmula:

$$R = \rho \frac{\ell}{A},$$

onde ρ representa uma propriedade característica de cada material.

Cálculo da resistência elétrica de um fio condutor

A figura a seguir mostra um pedaço de um fio condutor cilíndrico de comprimento ℓ e área de seção transversal igual a A .

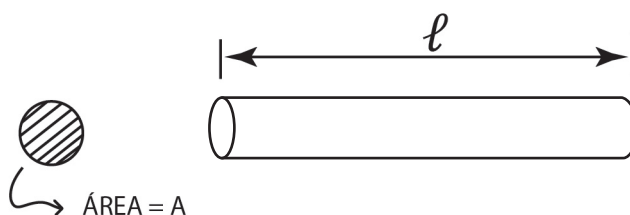


Figura 2: Fio condutor cilíndrico.

Considerando que o fio é constituído por um material cuja resistividade elétrica é dada por ρ , o valor da resistência elétrica desse trecho do fio é calculado a partir das características elétricas do material constituinte e de alguns parâmetros geométricos, como a área da seção (A) e o comprimento (ℓ). Assim, vejamos, a partir de uma análise qualitativa, de que forma a resistência elétrica depende de cada um desses parâmetros.

Em relação à resistividade do material (ρ), é esperado que a dependência seja direta, ou seja, fios fabricados com material de alta resistividade devem exibir maiores efeitos resistivos. Em relação ao comprimento, também se espera uma dependência direta, já que, fios mais extensos (ℓ grande) representam caminhos mais longos para os elétrons que se movem ao longo da rede cristalina. Já em relação à área da seção reta (A), é esperada uma relação de dependência inversa, ou seja, fios mais largos (A maior) apresentam menor dificuldade à passagem dos elétrons e, consequentemente, menor resistência. Esse efeito pode ser melhor compreendido a partir de uma analogia entre o fluxo de elétrons e um fluxo de pessoas que se deve escoar através de uma porta. Se a abertura do local é grande o fluxo se dá mais facilmente do que no caso da abertura ser estreita.

Do ponto de vista matemático, a expressão que traduz a dependência da resistência elétrica (R) em relação aos parâmetros anteriormente citados é:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}.$$

Unidade de resistividade elétrica

Uma simples manipulação algébrica da expressão apresentada anteriormente, acompanhada da análise dimensional adequada, permite a definição da unidade de resistividade elétrica. Vejamos:

$$\rho = \frac{RA}{\ell}.$$

Logo, as unidades $[U]$ ficam:

$$V[\rho] = \frac{V[R] \cdot V[A]}{V[\ell]}.$$

Na prática, é comum que a resistividade apareça expressa de duas maneiras. Quando se deseja indicar a área em mm^2 temos:

$$U[\rho] = \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}.$$

A outra forma é realizando a transformação de área para m^2 e fazendo as simplificações pertinentes. Nesse caso, a unidade utilizada será:

$$U[\rho] = \Omega \cdot \text{m}$$

Saiba Mais

Note que a unidade SI de resistividade é $\Omega \cdot \text{m}$ (ohm vezes metro). Como você poderá observar na tabela a seguir, a resistividade varia enormemente entre os diversos materiais: é baixíssima para metais, que são excelentes condutores de eletricidade, e altíssima para maus condutores ou isolantes. Um isolante não tem resistividade infinita, mas sua resistividade é astronomicamente maior do que a de um condutor metálico por um fator 10^{20} ou perto disto.

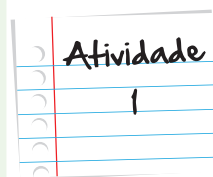
Condutores		Semicondutores	
Material	Resistividade	Material	Resistividade
Prata	$1,59 \times 10^{-8}$	Água salgada (saturada)	$4,4 \times 10^{-2}$
Cobre	$1,69 \times 10^{-8}$	Germânio	$4,6 \times 10^{-1}$
Ouro	$2,21 \times 10^{-8}$	Diamante	2,7
Tungstênio	$5,60 \times 10^{-8}$	Silício	$2,5 \times 10^3$
Ferro	$9,61 \times 10^{-8}$	Isolantes	
Platina	11×10^{-8}	Água pura	$2,5 \times 10^5$
Chumbo	22×10^{-8}	Madeira	$10^8 \text{ a } 10^{11}$
Manganês	$1,44 \times 10^{-6}$	Vidro	$10^{10} \text{ a } 10^{14}$
Grafite	$1,4 \times 10^{-5}$	Quartzo fundido	10^{16}

Tabela 1: Resistividades de alguns materiais em $\Omega \cdot \text{m}$ (para pressão de 1 atm e temperatura de 200 C).

Exemplo: Um fio de cobre rígido, usado em instalações elétricas residenciais, tem seção reta de área $A = 4,0 \text{ mm}^2 = 4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$. Qual é a resistência de dois metros desse fio? Usando a resistividade do cobre na Tabela 1, temos $R = \rho L / A = 1,68 \times 10^{-8} \times 2 / 4 \times 10^{-6} = 0,0084 \Omega$, que é uma resistência muito pequena.

De quanto é a resistência?

Utilizando os dados da tabela 1, que mostra a resistividade elétrica de diversos materiais, determine a resistência elétrica de um fio condutor de cobre, de comprimento igual a 100 m, cuja área da seção transversal é de 2 mm^2 .



Anotar suas
respostas em
seu caderno

Seção 3

A Lei de Ohm

A figura a seguir exibe um diagrama de um circuito elétrico simples, onde o consumidor de energia é um resistor cujo valor da resistência elétrica é R . Os **resistores** são feitos de materiais de alta resistividade (baixa condutividade) e são usados para regular a corrente em circuitos elétricos. Na representação esquemática de um circuito elétrico, os resistores são representados por uma linha em zigue-zague; os fios de ligação entre resistores têm resistência desprezível e são representados por linhas contínuas.

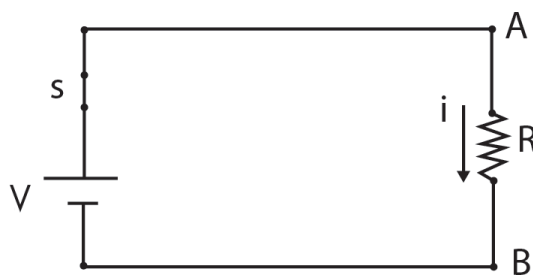


Figura 3: Circuito simples com um resistor.

Na configuração apresentada na figura, com o interruptor S fechado, a fonte de energia (E) encontra-se ligada diretamente aos terminais A e B do resistor R, impondo a ele uma diferença de potencial V. Além disso, como o circuito encontra-se fechado, haverá circulação de uma corrente elétrica i através do resistor.

Em suas investigações, Georg Ohm descobriu que para muitos materiais, notadamente os metais, a resistência não depende da voltagem aplicada, isto é, qualquer que seja V a corrente i é tal que o quociente V/i é sempre o mesmo. Em outras palavras, para os condutores estudados por Ohm **tem-se que R é constante**, logo:

$$R = V/i \text{ ou } V = R \cdot i$$

Este resultado tornou-se conhecido como *lei de Ohm*. Os condutores que obedecem à lei de Ohm são conhecidos como condutores ôhmicos. Apesar do nome, a lei de Ohm não é uma lei física fundamental como, por exemplo, a lei da conservação da energia. Há condutores e dispositivos eletrônicos que não obedecem à lei de Ohm. Para um condutor ôhmico, se traçarmos um gráfico da voltagem em função da corrente obteremos uma linha reta passando pela origem, pois $V= Ri$ com R constante; se o condutor não for ôhmico, o gráfico não será uma linha reta.

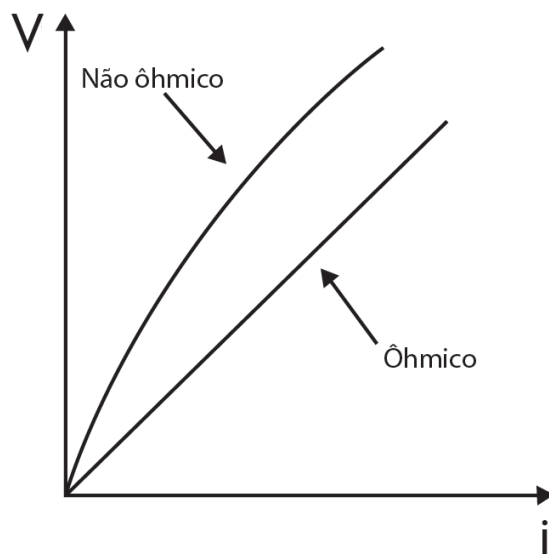


Figura 4: Gráficos da voltagem em função da corrente para um condutor ôhmico e um não ôhmico.

Seção 4

Efeito Joule

Assim como os sistemas mecânicos, um sistema elétrico, por mais simples que seja, funciona a partir do consumo de energia. Apesar de a energia ser um conceito universal para as ciências, no contexto dos sistemas elétricos costumamos especificá-la como energia elétrica.

Quando o elemento do circuito é um resistor, a energia elétrica perdida pelas cargas ao atravessarem o resistor é transformada em energia térmica, isto é, o resistor se aquece. Isto deve-se às frequentes colisões dos elétrons de condução com os átomos do condutor, elevando o grau de agitação térmica destes, ou seja, provocando aumento da temperatura do resistor e transferência de calor para o Meio Ambiente.

James Prescott Joule (1818-1889) foi um físico inglês que contribuiu significativamente para os estudos sobre o calor e, por isso, recebe o nome de Efeito Joule, o processo de transformação de energia elétrica em calor que ocorre nos resistores quando estes são percorridos por correntes elétricas.

Todos os aparelhos de aquecimento, tais como ferro elétrico, chuveiro elétrico e forno elétrico funcionam com base no efeito Joule: consistem essencialmente numa resistência elétrica que é aquecida pela passagem de uma corrente.



Figura 5: Quando uma corrente elétrica passa por um resistor, os elétrons colidem com os átomos do condutor. Esse atrito gera calor.

Seção 5

Potência elétrica

Assim como no caso da energia, no contexto dos sistemas elétricos o conceito de potência, apesar do seu caráter universal dentro da física, recebe a denominação específica de potência elétrica e a expressão matemática que permite o seu cálculo envolve o produto entre a diferença de potencial aplicada sobre o consumidor (V), e a corrente elétrica que percorre esse consumidor (i). Logo:

$$P = V \cdot i.$$

No caso específico de um resistor como consumidor de energia, a expressão da potência pode assumir outras formas, substituindo-se os parâmetros V e i na expressão da potência a partir de manipulações algébricas na expressão da Lei de Ohm. Substituindo-se a variável V , por exemplo, teremos:

$$P = (R \cdot i) \cdot i,$$

$$P = R \cdot i^2.$$

Isolando-se a variável i e substituindo na expressão de P , teremos:

$$i = \frac{V}{R},$$

$$P = V \cdot \left(\frac{V}{R} \right),$$

ou

$$P = \frac{V^2}{R}.$$

A unidade de potência no sistema SI é o watt (pronuncia-se uót), simbolizado por W maiúsculo: 1 watt = 1 joule por segundo. Usando V medido em volts e i em ampères, a potência calculada pela fórmula $P = Vi$ será dada em watts.

Exemplo: Quando a chave de um automóvel é virada, sua bateria de 12V faz passar uma corrente de 50A pelo motor de arranque. Qual é a potência desenvolvida por esse motor elétrico?

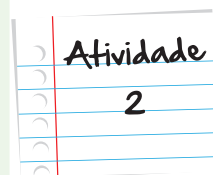
Solução: A potência do motor de arranque é $P = 12 \times 50 = 600 \text{ W}$. Assim, desprezando perdas por aquecimento do motor, a cada segundo 600 J de energia elétrica são convertidos em energia mecânica de rotação do motor.

Chuveiro elétrico

Nas especificações de um chuveiro elétrico lê-se 1900/3900/5800W e 220V.

- Qual é resistência do chuveiro ao operar com a potência mínima de 1900W?
- Qual é resistência do chuveiro ao operar com a potência máxima de 5800W?
- Quando, no inverno, ajustamos o chuveiro para o máximo aquecimento, selecionamos sua maior ou menor resistência?

Anote suas
respostas em
seu caderno



Relação entre potência e energia

Também no caso dos sistemas elétricos, a expressão geral que relaciona energia e potência continua válida – e nem poderia ser diferente já que estamos tratando de conceitos universais. A única diferença é que nos sistemas elétricos a potência pode ser calculada a partir de parâmetros elétricos. Assim:

$$E = P\Delta t$$

Onde E é a energia elétrica utilizada pelo consumidor e Δt é o tempo que a corrente levou percorrendo este consumidor.

Unidades de potência e energia

Sendo os conceitos de potência e energia dois conceitos centrais e universais na física, não haveria motivo algum para mudanças em relação às suas unidades. Logo, as unidades utilizadas pelo Sistema Internacional são o watt (W) e o joule (J), respectivamente, para essas duas grandezas. Além disso, é comum o uso da caloria (cal) como unidade em situações onde a energia está associada a processos que envolvem trocas de calor.

Entretanto, para fins práticos, é comum o uso da unidade quilowatt-hora (kWh) para quantificar a energia consumida em sistemas residenciais ou industriais. Essa unidade é utilizada, principalmente, pelas concessionárias de energia elétrica visando simplificar cálculos.

Relações de transformação importantes

Dos estudos da termodinâmica, já sabemos que 1 J equivale a 0,24 cal. Assim, sendo 1 joule equivalente ao produto de 1 Watt x 1 segundo, teremos:

$$1J = 0,24cal \text{ e } 1J = 1W \cdot 1s.$$

Sendo, $1W = 10^{-3} kW$ e $1s = \frac{1}{3600} h$ teremos:

$$1J = 10^{-3} \cdot \frac{1}{3600} kWh,$$

$$1J = 2,78 \cdot 10^{-7} kWh.$$

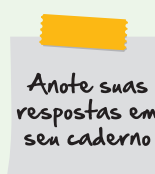
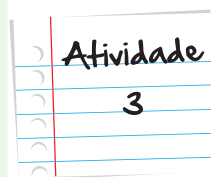
Logo:

$$1J = 0,24cal = 2,78 \cdot 10^{-7} kWh.$$

Uma luz no seu estudo

Uma lâmpada encontra-se ligada a uma tensão de 60V e o seu filamento interno apresenta uma resistência elétrica de 120Ω . Determine:

- A intensidade da corrente que circula na lâmpada;
- A potência da lâmpada;
- A quantidade de energia consumida pela lâmpada em joules (J) e em quilowatt-hora (kWh), se ela ficar ligada durante duas horas.



Veja Ainda

Conta de Eletricidade Residencial

Nosso consumo de eletricidade doméstico, como aparece nas contas enviadas pela empresa fornecedora, costuma ser medido em kWh (quilowatt hora). O prefixo k significa simplesmente “mil”, de modo que $1\text{ kW} = 1000\text{ W}$. Como watt é energia por unidade de tempo, multiplicando pelo tempo de 1 hora o resultado é uma certa quantidade de energia. Assim, a conta que pagamos depende da quantidade de energia elétrica que consumimos num mês. Note que

$$1\text{ kWh} = 1000\text{ W} \times 3600\text{ s} = 3,6 \times 10^6\text{ J}.$$

Exemplo: A potência de operação de uma geladeira é 73 W na rede elétrica de 127 V. Qual é o consumo de energia mensal dessa geladeira em quilowatts hora?

Solução: Como em um mês há $30 \times 24 = 720$ horas, o consumo de energia (E) num mês é dado por

$$E = 73\text{ W} \times 720\text{ h} = (73 \times 10^{-3}\text{ kW}) \times 720\text{ h} = 53\text{ kWh}.$$

Nos filmes <http://www.youtube.com/watch?v=SZvSwpdbi-g> e <http://www.youtube.com/watch?v=vqveZmeDeXw> você poderá ver bons exemplos de transferência de energia em circuitos elétricos.

Atividade 1

A expressão a seguir permite o cálculo da resistência elétrica de um trecho de um

$$\text{fio: } R = \rho \frac{\ell}{A}.$$

Consultando a tabela contida no texto, observamos que o valor da resistividade do cobre é $\rho = 1,69 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$.

Realizando a necessária transformação de unidade da área informada pelo problema teremos:

$$A = 2 \text{ mm}^2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2.$$

Substituindo os valores na expressão da resistência, teremos:

$$R = 1,69 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{100}{2 \cdot 10^{-6}}.$$

Assim:

$$R = \frac{1,69}{2}$$

$$R = 0,84 \text{ m}.$$

Atividade 2

- De $P=V^2/R$ deduzimos $R=V^2/P$. Com $V=220V$ e $P=1900W$, resulta $R_1=25,5\Omega$.
- Com $V=220V$ e $P=5800W$ obtém-se $R_3=8,3\Omega$.
- Para máximo aquecimento devemos selecionar a menor resistência a fim de obter a potência máxima.

Atividade 3

É possível o cálculo direto da corrente realizando manipulações algébricas na expressão da Lei de Ohm e substituindo os valores fornecidos pelo problema:

$V = Ri$, logo:

$$i = \frac{V}{R},$$
$$i = \frac{60}{120},$$
$$i = 0,5A.$$

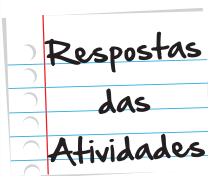
A potência pode ser obtida a partir da expressão que envolve a tensão (U) e a corrente (i):

$$P = Vi, P = 60 \cdot 0,5,$$
$$P = 30W.$$

A energia é dada pelo produto da potência pelo intervalo de tempo que a lâmpada esteve ligada. Para obtermos o valor da energia em joules (J), basta transformarmos o tempo para segundos e depois efetuarmos a operação. Assim: $\Delta t = 2h = 2 \cdot 3600s = 7200s$.

Substituindo os valores:

$$E = P\Delta t,$$
$$E = 30 \cdot 7200,$$
$$E = 216000J.$$



Respostas das Atividades

Para obtermos o valor da energia em quilowatt-hora (Kwh), podemos transformar o valor obtido para a potência (P) em quilowatt e, em seguida, efetuar a operação utilizando o tempo dado em horas. Assim:

$$P = 30W = 3 \cdot 10^{-2} kW.$$

Substituindo os valores, teremos:

$$E = P\Delta t,$$

$$E = 30 \cdot 10^{-2},$$

$$E = 6 \cdot 10^{-2} kWh.$$

OBSERVAÇÃO: Preste atenção na diferença entre os valores obtidos para a energia em cada um dos casos.

Imagens



• André Guimarães



• <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=view&id=1013917> • Roi Pihlaja



• <http://www.sxc.hu/photo/136590> • Matthew Bowden



• <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=view&id=587125> • Nihan Aydin



• <http://www.sxc.hu/photo/720129> • Fiona Schweers



• <http://www.sxc.hu/photo/720129> • Fiona Schweers



• <http://www.sxc.hu/photo/517386> • David Hartman

O que perguntam por aí

Questão 1 (Enem 2010)

Observe a tabela seguinte. Ela traz especificações técnicas constantes no manual de instruções fornecido pelo fabricante de uma torneira elétrica.

Especificações Técnicas						
Modelo		Torneira Suprema				
Tensão Nominal	(Volts~)	127		220		
Potência Nominal	(Watts)	(Frio)	Desligado			
		(Morno)	2.800	3.200	2.800	3.200
		(Quente)	4.500	5.500	4.500	5.500
Corrente Nominal	(Ampères)	35,4	43,3	20,4	25,0	
Fiação Mínima	(Até 30m)	6 mm ²	10 mm ²	4 mm ²	4 mm ²	
Fiação Mínima	(Acima de 30m)	10 mm ²	16 mm ²	6 mm ²	6 mm ²	
Disjuntor	(Ampères)	40	50	25	30	

Fonte: http://www.cardal.com.br/manualprod/Manuais/Torneira%20Suprema/Manual_Torneira_Suprema_R00.pdf

Considerando que o modelo de maior potência da versão 220 V da torneira suprema foi inadvertidamente conectada a uma rede com tensão nominal de 127 V, e que o aparelho está configurado para trabalhar em sua máxima potência. Qual o valor aproximado da potência ao ligar a torneira?

- a. 1.830 W
- b. 2.800 W
- c. 3.200 W
- d. 4.030 W
- e. 5.500 W

Resposta: letra A

Comentário: Observando as informações contidas na tabela, podemos verificar que, caso a torneira tivesse sido ligada corretamente, esta desenvolveria uma potência $P_1 = 5500 \text{ W}$ ligada em $V_1 = 220 \text{ V}$, já que foi configurada para trabalhar com a sua potência máxima. Entretanto, na situação em que ela verdadeiramente operou, a tensão de trabalho foi $V_2 = 127 \text{ V}$.

O fato de o erro de instalação ter ocorrido inadvertidamente nos faz concluir que a configuração foi mantida e, portanto, não há nenhum motivo para se pensar que foram modificadas ligações nos circuitos da torneira, o que garante que a resistência interna do seu circuito é a mesma das duas situações.

Assim, podemos escrever as expressões para as potências desenvolvidas nas duas situações da seguinte maneira:

$$P_1 = \frac{(V_1)^2}{R}; \quad =$$

$$P_2 = \frac{(V_2)^2}{R}.$$

O valor que procuramos é o valor de P_2 . Logo, dividindo P_2 por P_1 , teremos:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{(V_2)^2}{R}}{\frac{(V_1)^2}{R}}.$$

Ou

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{(V_2)^2}{R} \cdot \frac{R}{(V_1)^2},$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{(V_2)^2}{(V_1)^2},$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2,$$

$$P_2 = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \cdot P_1.$$

Substituindo os dados fornecidos, teremos:

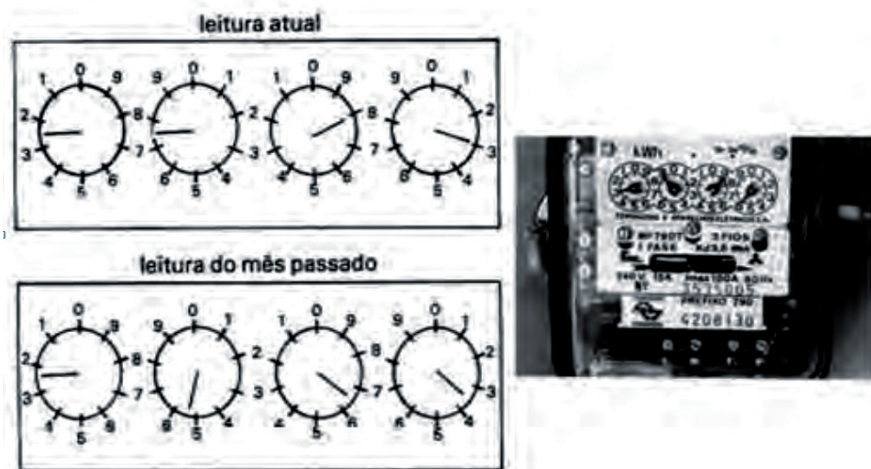
$$P_2 = \left(\frac{127}{220} \right)^2 \cdot 5500,$$

$$P_2 = (0,577)^2 \cdot 5500,$$

$$P_2 = 1832,8W.$$

Questão 2 (Enem 2010)

A energia elétrica consumida nas residências é medida, em quilowatt-hora, por meio de um relógio medidor de consumo. Nesse relógio, da direita para esquerda, tem-se o ponteiro da unidade, da dezena, da centena e do milhar. Se um ponteiro estiver entre dois números, considera-se o último número ultrapassado pelo ponteiro. Suponha que as medidas indicadas nos esquemas seguintes tenham sido feitas em uma cidade em que o preço do quilowatt-hora fosse de R\$ 0,20.



O valor a ser pago pelo consumo de energia elétrica registrada seria de

- a. R\$ 41,80.
- b. R\$ 42,00.
- c. R\$ 43,00.
- d. R\$ 43,80.
- e. R\$ 44,00.

Resposta: letra E

Comentário: Seguindo as instruções fornecidas pelo texto do problema, podemos observar que as situações mostradas indicam as seguintes leituras:

$$E_{\text{mês passado}} = 2563 \text{ KWh},$$

$$E_{\text{mês atual}} = 2783 \text{ KWh},$$

Efetuada a subtração entre os valores encontrados é possível determinar a quantidade de energia consumida em um mês (E):

$$E = E_{\text{mês atual}} - E_{\text{mês passado}},$$

$$E = 2783 - 2563,$$

$$E = 220 \text{ KWh}.$$

Multiplicando pelo valor do KWh (R\$ 0,20), teremos:

$$\text{Valor pago} = 220 \cdot 0,20,$$

$$\text{Valor pago} = \text{R\$ } 44,00.$$

Questão 3 (Enem 2011)

Em um manual de um chuveiro elétrico são encontradas informações sobre algumas características técnicas, ilustradas no quadro, como a tensão de alimentação, a potência dissipada, o dimensionamento do disjuntor ou fusível, e a área da seção transversal dos condutores utilizados.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				
Especificação				
Modelo			A	B
Tensão (V ~)			127	220
Potência (Watt)	Seletor de Temperatura Multitemperaturas	○	0	0
		●	2 440	2 540
		●●	4 400	4 400
		●●●	5 500	6 000
Disjuntor ou Fusível (Ampère)			50	30
Seção dos condutores (mm²)			10	4

Uma pessoa adquiriu um chuveiro do modelo A e, ao ler o manual, verificou que precisava ligá-lo a um disjuntor de 50 amperes. No entanto, intrigou-se com o fato de que o disjuntor a ser utilizado para uma correta instalação de um chuveiro do modelo B devia possuir amperagem 40% menor.

Considerando-se os chuveiros de modelos A e B, funcionando à mesma potência de 4400 W, a razão entre as suas respectivas resistências elétricas, R_A e R_B , que justifica a diferença de dimensionamento dos disjuntores, é mais próxima de:

- a. 0,3.
- b. 0,6.
- c. 0,8.
- d. 1,7.
- e. 3,0.

Resposta: letra A

Comentário: Consultando o quadro fornecido pelo problema, na primeira situação, temos uma tensão $V_A = 127 \text{ V}$ e na segunda situação a tensão $V_B = 220 \text{ V}$. O problema informa ainda, que nas duas situações a potência desenvolvida é a mesma $P_A = P_B = 4400 \text{ W}$.

Podemos iniciar a construção da solução do problema escrevendo as expressões das potências para as situações A e B:

$$P_A = \frac{(V_A)^2}{R_A} \text{ e } P_B = \frac{(V_B)^2}{R_B}.$$

Efetuada a divisão de P_B por P_A , teremos:

$$\begin{aligned} \frac{P_B}{P_A} &= \frac{\frac{(V_B)^2}{R_B}}{\frac{(V_A)^2}{R_A}}, \\ \frac{P_B}{P_A} &= \frac{(V_B)^2}{R_B} \cdot \frac{R_A}{(V_A)^2}. \end{aligned}$$

Como os valores de P_A e P_B são iguais, teremos:

$$1 = \frac{(V_B)^2}{R_B} \cdot \frac{R_A}{(V_A)^2},$$

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{(V_A)^2}{(V_B)^2} \rightarrow \frac{R_A}{R_B} = \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^2.$$

Substituindo os valores fornecidos pelo problema:

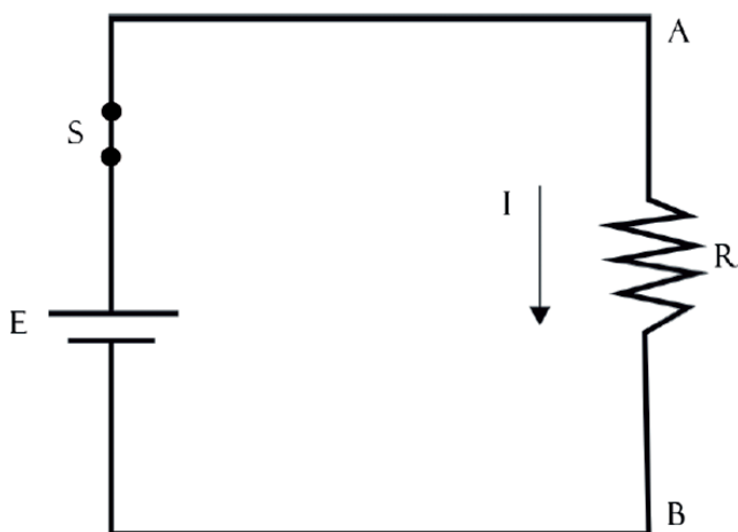
$$\frac{R_A}{R_B} = \left(\frac{127}{220} \right)^2 \rightarrow \frac{R_A}{R_B} = 0,33.$$



Atividade extra

Questão 1 (Adaptado de UFAC - 2002)

Um circuito tem uma bateria de 12 V, cuja resistência elétrica interna é desprezível. A bateria alimenta uma resistência, conforme mostra a figura. Essa resistência vale $R = 2 \, \Omega$.



O valor da corrente elétrica, em ampères, que passa pelo ponto A é de:

- a. 1,5;
- b. 3,0;
- c. 6,0;
- d. 12.

Questão 2 (Cecierj - 2013)

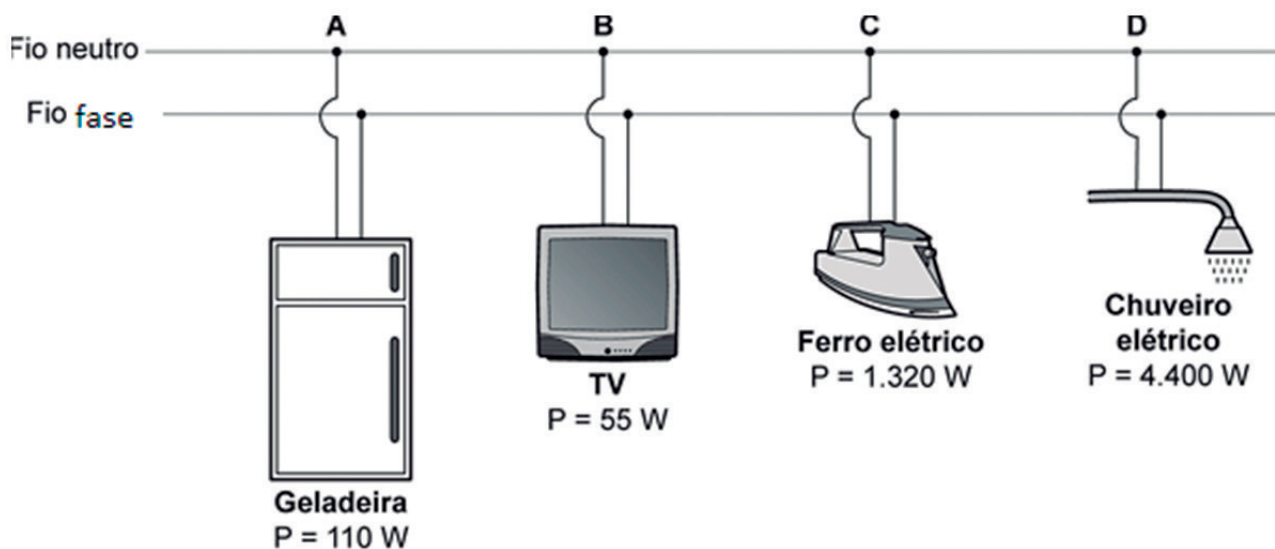
Quando um condutor é aquecido ao ser percorrido por uma corrente elétrica, ocorre o fenômeno conhecido como Efeito Joule, em homenagem ao Físico Britânico James Prescott Joule (1818-1889). São vários os aparelhos que possuem resistores e trabalham por Efeito Joule.

Dentre os eletrodomésticos citados a seguir, o que tem seu funcionamento baseado no efeito Joule é a:

- a. batedeira;
- b. geladeira;
- c. torradeira;
- d. televisão.

Questão 3 (Adaptado de Encceja - 2005)

A instalação elétrica de uma residência utiliza um circuito elétrico em paralelo, em que todos os equipamentos têm a mesma tensão. Quando o equipamento é ligado, ocorre variação na corrente elétrica do circuito, que é diretamente proporcional à potência (P) do aparelho. Observe a figura:

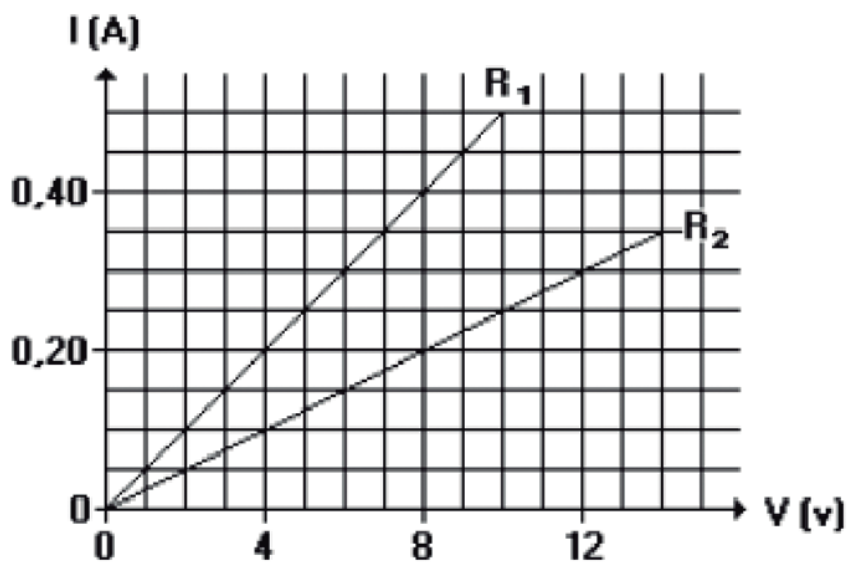


Indique, em ordem crescente, as variações nas correntes elétricas drenada por esses eletrodomésticos.

- a. A, B, C, D;
- b. B, A, C, D;
- c. D, C, A, B;
- d. D, C, B, A.

Questão 4 (Adaptado de UNESP - 1997)

Os gráficos na figura a seguir mostram o comportamento da corrente em dois resistores, R_1 e R_2 , em função da tensão aplicada.



Considerando os dados do gráfico, pode-se concluir que:

- a. os dois resistores são ôhmicos;
- b. apenas o resistor R_1 é ôhmico;
- c. apenas o resistor R_2 é ôhmico;
- d. nenhum dos dois resistores é ôhmico.

Questão 5 (Adaptado de UFMG - 1998)

A conta de luz de uma residência indica o consumo em unidades de kWh (quilowatt-hora).

kWh é uma unidade de:

- a. tempo;
- b. energia;
- c. potência;
- d. corrente elétrica.

Questão 6 (Adaptado de Encceja - 2006)

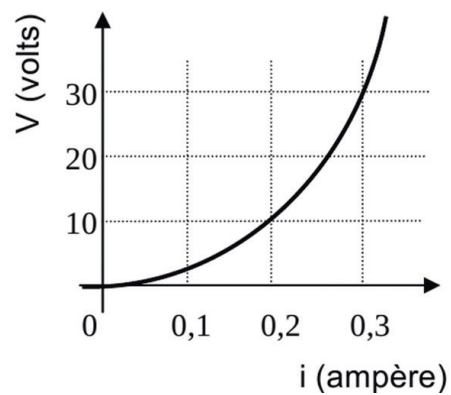
O dono de uma padaria resolveu ampliar os seus negócios e instalar três novos fornos elétricos iguais a um que já está instalado, cuja potência nominal é de 3 kW. Um eletricista, chamado para dimensionar a fiação para suportar a carga adicional, sugeriu trocar a bitola (diâmetro) dos fios que ligam o quadro de força específico dos fornos até o local onde fica o “relógio” marcador do consumo de energia.

Para uma instalação correta, a nova bitola de fio deve ser capaz de suportar uma corrente elétrica, no mínimo, igual à:

- a. da instalação atual;
- b. duas vezes a da instalação atual;
- c. três vezes a da instalação atual;
- d. quatro vezes a da instalação atual.

Questão 7 (Adaptado de UFV - 2000)

Medidas feitas à temperatura constante deram origem ao gráfico de diferença de potencial (V) versus corrente (i) para um determinado resistor:



Diga se o resistor é ôhmico. Justifique.

Questão 8 (Adaptado de CEJA - Cantagalo)

A primeira lei de Ohm foi fruto de trabalhos do físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854).

Calcule a resistência ôhmica de um chuveiro sabendo que ele se encontra submetido a uma tensão de 120 volts enquanto é atravessado por uma corrente de 8 A.

Gabarito

Questão 1

A	B	C	D
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Questão 2

A	B	C	D
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Questão 3

A	B	C	D
<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Questão 4

A	B	C	D
<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Questão 5

A	B	C	D
<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Questão 6

A	B	C	D
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Questão 7

Não, pois o gráfico não é uma reta. A resistência não é constante.

Questão 8 – Adaptado de CEJA - Cantagalo

Pela lei de Ohm $V = Ri$

$$\Rightarrow R = V/i = 120/8 = 15 \, \Omega.$$

