

### Leitura nº 1: Orientações Pedagógicas

#### Porque ensinar

- A noção de energia elétrica é um conceito fundamental da eletricidade.
- O aluno convive com a idéia de energia elétrica em seu vocabulário sem compreender muito bem o significado do termo.
- Possui um caráter prático, pois é através dela que compreendemos o princípio de funcionamento de circuitos elétricos (no sentido de que circuitos elétricos basicamente transformam energia elétrica em outras formas de energia).

#### Condições prévias para ensinar

Nesse momento do curso, provavelmente já foram trabalhados:

- As formas de energia mais conhecidas;
- A noção de consumo de energia por parte de nossa sociedade;
- A idéia de que a energia sofre transformação;
- A idéia de que a energia total de um sistema se conserva nas transformações.

Os temas acima vistos por meio de uma abordagem mais conceitual, são suficientes para a introdução do estudo da energia elétrica .

#### O que ensinar

Pelo o que está fixado no CBC, nesse tópico pretende-se que o aluno saiba aplicar o conceito de energia e suas propriedades para compreender situações envolvendo circuitos elétricos simples. É importante portanto, que ele compreenda que a carga elétrica é uma das propriedades fundamentais da matéria e as condições de atração ou repulsão de cargas. O aluno deve saber associar o aparecimento dessa força de atração ou repulsão a uma energia potencial elétrica e, assim, o estudante deve compreender que um circuito elétrico é basicamente constituído por uma fonte de energia elétrica conectada a dispositivos que vão transformá-la em outras formas de energia. Também pretende-se que ele saiba compreender a função de diferentes dispositivos elétricos e eletrônicos em um circuito em termos da transformação de energia ocorrida em cada um deles. Além disso, espera-se que o aluno saiba montar circuitos elétricos simples utilizando uma fonte para fazer funcionar alguns dispositivos elétricos.

#### Como ensinar

Uma explosão de idéias na primeira aula pode ser muito útil para que o próprio aluno diferencie as diferentes fontes de energia elétrica e os diferentes dispositivos que transformam essa forma de energia em outra. Inicie essa aula fazendo a seguinte pergunta aos alunos:

“Que aparelhos ou componentes de circuitos elétricos vocês conhecem?”

A partir das respostas dos alunos e de sugestões feitas por você mesmo, construa uma tabela separando os elementos fornecidos por eles de acordo com as transformações de energia envolvidas. Dentre os grupos que podem surgir nessa tabela, destacamos:

- Fontes de energia elétrica;
- Aparelhos que produzem aquecimento;
- Aparelhos que produzem movimento;
- Aparelhos que produzem luz;
- Aparelhos que produzem som;

Os elementos fornecidos pelo aluno poderão servir como base para todas as aulas sobre energia elétrica (tópicos 15 ao 17 e tópicos 20 e 21). A partir desses elementos o professor pode escolher alguns exemplos para trabalhar a noção de circuito elétrico e analisar qualitativamente as transformações de energia que ocorrem em diferentes componentes de um circuito. Como sugestão, o professor pode montar um circuito simples usando uma pilha comum e uma lâmpada apropriada, ou utilizar o circuito pronto de uma lanterna.

A fonte de energia elétrica pode ser apresentada como um dispositivo que produz a separação de cargas negativas e positivas. O professor pode introduzir a noção de cargas elétricas fazendo experiências de eletrização por atrito mostrando a repulsão e atração elétricas. A partir daí, a energia elétrica pode ser comparada com a energia potencial gravitacional ou elástica e o circuito pode ser visto como um caminho por onde as cargas elétricas “gastam” a energia que lhes foi fornecida na separação através da transformação dessa forma de energia em outras formas nos componentes do circuito. Montar uma exposição com os alunos de diferentes elementos de circuitos elétricos também pode facilitar a discussão sobre as transformações de energia que ocorrem em cada um.

### Como avaliar

A avaliação da aprendizagem em física não precisa se limitar ao uso de provas ou resolução de exercícios. No entanto, questões que envolvem qualitativamente transformações de energia em um circuito podem ser encontradas nos livros textos.

Outra verificação da aprendizagem pode ser feita fazendo com que os alunos construam circuitos elétricos simples e identifiquem em seus componentes as transformações de energia ocorridas.

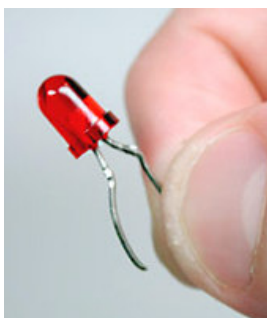
Uma discussão um pouco mais avançada pode surgir caso os alunos tenham a oportunidade de construir um rádio de galena. Identificar a fonte de energia desse interessante aparelho pode ser muito produtivo e ampliar a idéia de energia do aluno.

### **Referências:**

- Física 3 - Eletromagnetismo - GREF
- “Desmonte e Explique” - Caderno Catarinense de Ensino de Física - abril/1988 - Vol.5, nº 1 (pg.23 a pg.27). *Exemplo de como pode ser apresentado o funcionamento interno de um aparelho eletrodoméstico.*

## Atividade I - Discussões iniciais: Aparelhos Elétricos Existentes em Nossa Casa:

Observe os aparelhos elétricos a seguir:



Classifique-os de acordo com as seguintes categorias:

- 1) Fontes de energia elétrica;
- 2) Aparelhos que produzem aquecimento;
- 3) Aparelhos que produzem movimento;
- 4) Aparelhos que produzem luz;
- 5) Aparelhos que produzem som.

Questão: Que outras categorias poderiam ser citadas aqui?

## **Leitura nº 1: ENERGIA**

Apesar de seus importantes sucessos, como as equações sobre a propagação do calor ou o princípio de Carnot sobre o rendimento-limite dos motores térmicos, a teoria do calórico foi abandonada em meados do século XIX. Essa teoria, que identificava o calor a uma substância material, enfrentava diversas dificuldades. Não explicava de maneira clara, por exemplo, o fenômeno bem conhecido de criação de calor por atrito. Alguns supunham que, uma vez que toda matéria sempre contém determinada quantidade de calórico, o atrito provocava a formação de pequenos estilhaços de matéria, permitindo ao calórico libertar-se e provocar assim um aumento de temperatura. Nesse caso, quanto mais numerosos fossem os estilhaços, mais intenso deveria ser o calórico desprendido. Ora, em 1798, quando fabricava canhões na Baviera, o conde Rumford observou o fenômeno inverso: constatou que, quando se perfura aço com uma broca estreita, produzindo muitos estilhaços, a elevação de temperatura é menor do que quando se utiliza uma broca grossa, produzindo menos estilhaços. Essas observações levaram Rumford a rejeitar a teoria do calórico.

O abandono da teoria do calórico esteve ligado também ao surgimento de um novo conceito, o de energia. O desenvolvimento desse conceito, originário da "força viva" de Leibniz (energia mecânica), resultou de trabalhos conduzidos independentemente em diversos campos e por vários pesquisadores.

### O Calor e a Mecânica

A unidade de energia utilizada atualmente leva o nome de um desses pesquisadores, James Prescott Joule, fabricante de cerveja e cientista amador, que foi o primeiro a efetuar medidas precisas sobre a criação de calor por atrito. Para isso, ele concebeu em 1843 um dispositivo arranjado de tal forma que a queda de um peso fazia girar, por meio de polias, uma roda de palhetas imersa em um fluido. O atrito devido à rotação das palhetas gerava um aumento da temperatura do fluido. Joule mostrou então que o produto do peso pela altura da queda - isto é, a "força viva" liberada por ocasião da queda - é proporcional à quantidade de calor associada ao aumento de temperatura do fluido. Joule concluiu assim pela existência de um "equivalente mecânico do calor" isto é, de uma grandeza constante que fixa a relação entre a "força viva" despendida por atrito e a quantidade de calor produzida. Uma vez que a "força viva" liberada pela queda do peso corresponde a um trabalho mecânico, disto decorre que o equivalente mecânico do calor se identifica com a constante de proporcionalidade que liga uma quantidade de trabalho mecânico a uma quantidade de calor. Essa constante é independente das particularidades da experiência, como por exemplo do tipo de fluido utilizado.

No sistema de unidades atualmente em uso, o equivalente mecânico do calor é igual a 4,2 joules (unidades de trabalho mecânico) por caloria, o que está próximo do valor obtido por Joule quando de suas experiências. A existência de tal equivalente mecânico do calor sugere que o calor e a "força viva" mecânica são na verdade uma mesma grandeza física, o valor 4,2 fixando a relação entre as unidades convencionais que servem para medir essa grandeza em circunstâncias diferentes. O calor não é, portanto, uma entidade física em si, e, se ele não passa de uma forma de trabalho mecânico, não poderia ser uma substância ou um fluido. Em 1840, Joule já havia mostrado que o calor criado em um circuito elétrico é proporcional ao quadrado da intensidade da corrente que atravessa o circuito. Logo, existia também um "equivalente elétrico do calor", do que Joule deduziu que os fenômenos elétricos também são uma manifestação da "força viva".

De início, os trabalhos de Joule provocaram um certo ceticismo e dois artigos que ele submeteu ao jornal da Royal Society of Sciences, em Londres, foram recusados.

Objetaram-lhe, em especial, que suas experiências não eram suficientemente precisas para permitir conclusões tão gerais. A importância de seus trabalhos foi reconhecida, contudo, alguns anos mais tarde, depois que outros pesquisadores chegaram a conclusões semelhantes.

Um desses pesquisadores foi Julius Robert Mayer, um médico que servia em um navio holandês que navegava no oceano Pacífico. Durante o verão de 1840, em uma escala na ilha de Java, na Indonésia, Mayer observou que o sangue das veias dos marinheiros europeus estava de um vermelho particularmente vivo. Como sabemos, este é um sinal de forte presença de oxigênio. Mayer então explicou esse fenômeno comparando o corpo humano a um motor térmico. De fato, os músculos do corpo humano fornecem um trabalho mecânico e emitem calor. Como a diferença de temperatura entre o corpo e o ar ambiente é mais fraca nos trópicos que na Europa, o fluxo de calor liberado pelo corpo no ar é reduzido. Isso significa que uma menor produção de calor é suficiente para manter o corpo a uma temperatura constante. O corpo desacelera então seu ritmo de atividade e requer menor quantidade de oxigênio para realizar a combustão química dos alimentos. Assim, o sangue das células musculares que retoma pelas veias rumo ao coração fica mais carregado de oxigênio, o que explica sua cor vermelho vivo.

A interpretação que Mayer deu de suas observações sobre a cor do sangue venoso está de acordo com um fato muito conhecido, isto é, que um clima quente diminui o apetite. Existe portanto uma relação entre a quantidade de alimento absorvida por um organismo e a quantidade de calor que ele produz. Mayer postulou então que essa relação se exprime matematicamente por uma proporção, ou seja, que a cada caloria produzida pelo corpo corresponde uma quantidade bem definida de alimento. Podemos chamar essa quantidade de alimento "equivalente químico do calor"; é essa equivalência que os nutricionistas utilizam em nossos dias quando falam de "valor calórico de um alimento".

Como Joule, Mayer acreditava na equivalência entre o trabalho mecânico e o calor, e considerava que o cálculo do calor produzido pelo corpo devia incluir o calor de atrito resultante do trabalho mecânico da atividade muscular. Uma vez que diversos equivalentes de calor são absorvidos e despendidos pelo corpo, Mayer concluiu que o corpo não produz um calor superior àquele que absorve por via alimentar, e portanto que o calor total despendido pelo corpo sob forma de equivalentes diversos - emissão de calor para o ar ambiente, trabalho mecânico, processo de formação ou de acumulação de gorduras - é igual à quantidade de equivalente químico de calor absorvida sob forma de alimento. De maneira análoga, postulou que o equivalente químico de alimento que aparece nas células verdes de uma planta é igual ao equivalente de calor absorvido pela planta sob forma de luz solar. (...)

(...)A existência de equivalentes mecânico, elétrico e químico do calor levou Mayer a postular a existência no universo de uma entidade física fundamental que se manifesta sob formas diversas - trabalho, calor, ligações químicas etc. - e à qual, sob a influência de Leibniz, deu o nome de "força". Segundo Mayer, Newton tinha feito um uso incorreto desse conceito, o qual, sempre segundo Mayer, devia ser reservado unicamente a essa entidade fundamental. No final, foi a "acepção newtoniana" que prevaleceu, e a "força" no sentido de Mayer é hoje chamada "energia", a partir de uma palavra grega que significa "ação". Essa terminologia foi originalmente introduzida por Hermann Von Helmholtz, que foi também o primeiro a enunciar de forma clara o princípio de conservação da energia. Segundo esse princípio, não há jamais criação ou destruição de energia, mas somente conversão de energia de uma forma em outra. Cada uma dessas manifestações está associada a um componente do leque dos fenômenos físicos. Assim, existe uma energia térmica, uma energia luminosa, uma energia potencial, ligada à posição e um campo de força (é a "força morta" de Leibniz), uma energia cinética, ligada ao movimento (é a "força viva" de Leibniz), uma energia eletromagnética e - esta é uma descoberta mais recente -

uma energia nuclear.

Em todas essas metamorfoses, a energia permanece conservada. Podemos portanto estabelecer um balanço energético para todo sistema físico, como estabelecemos um balanço financeiro de conta bancária: a energia que o sistema recebe do exterior menos a energia que deixa o sistema é igual à variação de energia do sistema. Disto deduzimos que a energia de um sistema isolado - isto é, que não troca nenhuma energia com o exterior - permanece constante. Como o universo é por definição um sistema isolado (pois não poderia ter um "exterior"), sua energia é constante e, por ocasião dos diversos processos físicos, sofre unicamente transformações. Apesar de sua elegância, essa generalização do princípio de conservação da energia para o universo inteiro - devida a Rudolf Clausius - deve ser considerada com prudência: os sistemas isolados que o físico costuma estudar são sistemas finitos. e o estado atual de nossos conhecimentos não nos permite afirmar que o universo não é um sistema infinito. Em um tal sistema, o conceito de energia total e, por consequência, o de conservação de energia, talvez não tenham nenhum sentido.

Era igualmente possível, no entanto, interpretar o princípio de conservação da energia em um sentido que reafirmava a teoria mecânica do calor. A conservação da "força viva" na mecânica era reconhecida desde o século XVII, e os trabalhos de Joule, Mayer e Helmholtz mostravam que essa "força" admite um equivalente de calor. Isso não significava, contudo, que ela própria fosse uma entidade física fundamental. Era possível considerá-la como uma propriedade matemática, deduzida de grandezas físicas reais - as massas e as velocidades das partículas materiais -, que permanecia conservada graças a um acaso ligado à forma das equações da mecânica. Desse ponto de vista, próximo do de Joule e Helmholtz, a existência de equivalentes da energia mostrava que os diversos fenômenos naturais - o calor, a luz, o magnetismo etc. - são em última análise devidos aos movimentos de partículas materiais e que o princípio de conservação da energia é idêntico ao princípio de conservação da "força viva". Assim, é sempre a "força viva" mecânica que é conservada, e a generalidade do princípio de conservação da energia traduz o fato de que toda a física nada mais é que mecânica. Estas duas interpretações do conceito de energia - a energia como substância e a energia como propriedade - conduziram respectivamente às duas visões do universo físico que deveriam se enfrentar no fim do século XIX: o energetismo e o mecanicismo.

Texto extraído do capítulo 5 (Energia e entropia)  
do livro Convite à Física de Yoav Ben Dov

---

## **Atividade II - Forças Entre Cargas Elétricas**

Material:

- 2 tubos de PVC de 1/2 polegada de espessura e 30cm de comprimento ou duas régua plásticas de 30cm de comprimento;
- suporte para pendurar um dos tubos ou uma das régua (esse suporte deve permitir a rotação do tubo ao longo de um plano paralelo ao seu comprimento);
- linha de pesca;
- pedaço de meia calça.
- Um ímã.

Procedimento:

Atrite o pedaço de seda no tubo que não está suspenso.  
Aproxime de uma das extremidades do tubo que está suspenso, o tubo atritado (sem encostar) e verifique o que acontece.

Aproxime de uma das extremidades do tubo que está suspenso, o ímã (sem encostar) e verifique o que acontece.

Atrite o pedaço de seda nos dois tubos ao mesmo tempo.

Aproxime de uma das extremidades do tubo que está suspenso, o tubo atritado (sem encostar) e verifique o que acontece.

---

## **Leitura nº 2: CARGA, FORÇA E ENERGIA ELÉTRICA**

O que aconteceria se existisse uma força universal como a gravidade, que varia inversamente com o quadrado da distância, mas fosse bilhões de bilhões de vezes maior que esta? Se tal força existisse e se ela fosse atrativa como a gravidade, o universo seria comprimido em uma bola apertada, com toda a matéria existente estando agrupada tão junta quanto possível. Mas suponha que essa força fosse repulsiva, com cada pedacinho de matéria repelindo qualquer outro pedacinho. Como seria, então? O universo seria uma nuvem gasosa em perpétua expansão. Suponha entretanto, que o universo consistisse de dois tipos de partículas - positivas e negativas, digamos. Suponha que as positivas repelisses as positivas, mas atraíssem as negativas. Negativas repelisses as negativas, mas atraíssem as positivas. Em outras palavras, tipos iguais de partículas se repeliriam, e tipos diferentes se atrairiam. Suponha que existisse um mesmo número de partículas de cada tipo, de modo que essa força intensa estivesse perfeitamente equilibrada! Como seria, então o universo? A resposta é muito simples: seria como este no qual vivemos. Pois essas partículas existem, e existe a tal força. Nós a chamamos de força elétrica.

Um grande número de partículas negativas e positivas se mantém juntas pela enorme atração da força elétrica. Nesses “enxames” compactos de partículas positivas e negativas uniformemente misturadas, as enormes forças elétricas equilibram-se quase que perfeitamente. Esses enxames são os átomos que constituem a matéria. Quando dois ou mais átomos se juntam formando uma molécula, ela também possui partículas positivas e negativas equilibradas. E quando trilhões de moléculas se combinam para formar um pedacinho de matéria, as forças elétricas de novo se equilibram. Não existe praticamente qualquer atração ou repulsão elétrica entre dois pedaços de matéria ordinária, porque cada um deles contém um mesmo número de partículas negativas e positivas. Entre a Terra e à Lua, por exemplo, não existe qualquer força elétrica resultante. A força da gravidade fraca e sempre atrativa, é que fica como a força dominante entre esses corpos.

As partículas positivas e negativas da matéria são os portadores de carga elétrica. Carga é a propriedade fundamental da matéria presente em todos os fenômenos elétricos. As partículas positivamente carregadas da matéria ordinária são os prótons e as negativamente carregadas são os elétrons. As forças atrativas entre essas partículas fazem com que elas se aglomerem em unidades incrivelmente pequenas - os átomos. (Os átomos também contêm partículas neutras, chamadas nêutrons.) Quando dois átomos se unem, o equilíbrio das forças atrativas e repulsivas não é perfeito. Os elétrons voam dentro do volume de cada átomo, deixando, assim, áreas onde cargas estão expostas. Os átomos podem, então, se atrair e formar uma molécula. De fato, todas as forças de ligação que mantêm juntos os átomos, formando moléculas, são de natureza elétrica. Qualquer um que planeje estudar química deve primeiro conhecer alguma coisa sobre atração e repulsão de átomos, e antes de estudar isso, deveria também conhecer algo sobre os átomos. Eis aqui alguns fatos importantes sobre os átomos.

1. átomos são compostos de um *núcleo* positivamente carregado, rodeado por elétrons negativamente carregados.

2. Os elétrons de todos os átomos são idênticos. Cada um deles possui a mesma quantidade de carga negativa e a mesma massa.
3. Prótons e nêutrons constituem o núcleo. (A forma mais comum de hidrogênio que não contém nêutron algum no núcleo é a única exceção.) Os prótons são cerca de 1.800 vezes mais massivos do que os elétrons, mas carregam consigo a mesma quantidade de carga positiva que os elétrons possuem de carga negativa. Os nêutrons possuem uma massa ligeiramente maior do que a dos prótons e não possuem carga elétrica.
4. Normalmente, os átomos possuem o mesmo número de prótons e elétrons, de modo que possuem carga elétrica líquida nula.

Por que os prótons não puxam para o núcleo os elétrons com carga oposta à sua, existentes no átomo? Você poderia pensar que a resposta é a mesma razão porquê os planetas não são puxados para dentro do Sol pela força da gravidade - ou seja, os elétrons estão orbitando os núcleos. Essa explicação planetária infelizmente não funciona para os elétrons. Quando o núcleo foi descoberto (1911), os cientistas sabiam que os elétrons não poderiam estar orbitando tranquilamente em torno do núcleo como a Terra orbita o Sol. Em apenas cerca de um centésimo de milionésimo de segundo, de acordo com a física clássica, o elétron deveria espiralar para dentro do núcleo, emitindo radiação eletromagnética enquanto isso. Portanto, uma nova teoria era necessária, e a teoria que nasceu é a *mecânica quântica*. Ao descrever o movimento eletrônico, nós ainda usamos a terminologia antiga, *órbita* e *orbital*. Uma palavra mais adequada é *camada*, que sugere que os elétrons estão espalhados numa região esférica. Hoje, a mecânica quântica nos diz que a estabilidade do átomo tem a ver com o caráter ondulatório dos elétrons. Um elétron se comporta como se fosse uma onda e deve ocupar uma dada quantidade de espaço relacionada com seu comprimento de onda. O tamanho atômico é determinado pelo tamanho do "campo disponível para se movimentar" que um elétron requer.

Outro quebra-cabeças sobre os átomos é: por que os prótons do núcleo não se repelem e terminam se afastando? O que mantém íntegro o núcleo? A resposta é que, além das forças elétricas, dentro do núcleo existem as forças nucleares não-elétricas ainda mais intensas, que mantêm os prótons juntos apesar da repulsão elétrica. E também os nêutrons desempenham um papel, ao aumentar a distância entre os prótons.

Em um átomo neutro, existe o mesmo número de elétrons e prótons, de modo que a carga líquida é nula. As positivas cancelam exatamente as negativas. Se um elétron for removido de um átomo, então ele não mais será neutro. O átomo terá, neste caso, uma carga positiva (um próton) a mais em relação às negativas (os elétrons), e se diz que ele está positivamente carregado ou eletrizado". Um átomo carregado é chamado de *íon*. Um *íon positivo* possui uma carga líquida positiva. Um *íon negativo*, ou seja, um átomo com um ou mais elétrons extras, é negativamente carregado.

Os objetos materiais são formados por átomos, o que significa que eles são constituídos de elétrons e prótons (e nêutrons). Os objetos normalmente possuem um número igual de elétrons e prótons, sendo, portanto, eletricamente neutros. Mas se existir um ligeiro desequilíbrio nos números, o objeto será eletricamente carregado. O desequilíbrio é gerado quando elétrons são adicionados ou removidos de um objeto. Embora os elétrons mais próximos ao núcleo, os mais internos, estejam ligados muito fortemente aos núcleos, os mais afastados, os mais externos estão fracamente ligados e podem facilmente desalojados. Quanto trabalho é necessário para remover um elétron do núcleo varia de uma substância para outra. Os elétrons estão mais fortemente ligados em materiais como borracha ou plástico do que no seu cabelo, por exemplo. Portanto, quando você passa um pente no seu cabelo, os elétrons se transferem deste para o pente. O pente então, passa a ter um excesso de elétrons e se diz que está *negativamente carregado*. Seu cabelo, por sua vez, ficará com uma deficiência de elétrons e se diz que está positivamente carregado. Num outro exemplo, se você esfregar



um bastão de vidro ou plástico com um pedaço de seda, o bastão se tornará positivamente carregado. A seda tem uma maior afinidade por elétrons do que o vidro ou o plástico. Os elétrons são, portanto, arrancados do bastão e transferidos para a seda.

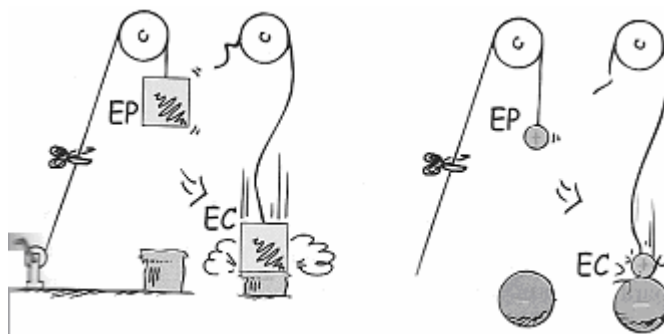
Assim, vemos que um objeto que tenha um número desigual de elétrons e prótons está eletricamente carregado. Se ele possui mais elétrons do que prótons, ele está negativamente carregado. Se possui alguns elétrons a menos que prótons, ele está positivamente carregado.

É importante notar que quando algo é eletricamente carregado, nenhum elétron é criado ou destruído. Eles são simplesmente transferidos de um material para outro. A carga é *conservada*. Em cada evento, seja ele em larga escala ou ao nível atômico ou molecular, sempre se verificou que o princípio da conservação da carga se aplica. Jamais se encontrou um caso sequer de criação ou destruição de carga elétrica. A conservação da carga é um dos fundamentos da física.

Qualquer objeto eletricamente carregado possui um excesso ou uma deficiência no número total de elétrons - os elétrons não podem ser divididos em frações de si mesmo. Isso significa que a carga de um objeto é um número múltiplo da carga de um elétron. A carga é "granulosa", ou seja, formada por unidades elementares chamadas de quanta. Dizemos que a carga está quantizada, com o quantum mínimo de carga sendo a carga do elétron (ou do próton). Todos os objetos eletricamente carregados possuem uma carga que é um múltiplo inteiro da carga de um elétron.

Podemos eletrizar objetos transferindo elétrons de um lugar para outro. Podemos fazer isso por *contato* físico, como ocorre quando as substâncias são friccionadas uma na outra, ou simplesmente se tocam. Ou podemos redistribuir a carga de um objeto simplesmente colocando um objeto eletricamente carregado próximo a ele - isso é chamado de *indução*.

Quando estudamos energia, aprendemos que um objeto possui energia potencial gravitacional em virtude de sua localização no interior do campo gravitacional. Analogamente, um objeto eletrizado possui uma energia potencial em virtude de sua localização no interior de um campo elétrico. Da mesma forma como é necessário trabalho para erguer um objeto massivo contra o campo gravitacional da Terra, trabalho também é necessário para uma partícula carregada contra o campo elétrico gerado por um outro corpo eletrizado. Esse trabalho altera a energia potencial elétrica da partícula carregada. Considere partícula com carga elétrica positiva localizada a uma certa distância de uma esfera positivamente eletrizada. Se você empurrar a partícula para mais próximo da esfera, você gastará energia para vencer a repulsão elétrica existente; ou seja, você realizará trabalho ao empurrar a partícula eletrizada contra o campo elétrico gerado pela esfera. Esse trabalho aumenta a energia da partícula. Chamamos de energia potencial elétrica a energia que a partícula possui em virtude de sua localização. Se a partícula for solta, ela acelera, se afastando da esfera, enquanto sua energia potencial elétrica vai sendo convertida em cinética.



Adaptado do capítulo 22 (Eletrostática)  
do livro Física Conceitual de  
Paul G. Hewit

### **Atividade III - Circuito Simples**

Material:

- 1 pilha;
- 1 pequeno pedaço de fio cabinho (tipo fio de telefone);
- 1 lâmpada de lanterna.

Procedimento:

Usando esse material, sem cortar o fio em dois pedaços, acenda a lâmpada.

Questão: Quais os elementos básicos de um circuito elétrico?

---

### **Leitura nº 3: Fusíveis, Lâmpadas e Chuveiros: Estudo dos Aparelhos Resistivos**

Os elementos resistivos têm em comum o fato de produzirem essencialmente aquecimento quando de seu funcionamento. Como representantes desse grupo analisaremos fusíveis, lâmpadas e chuveiros.

Os fusíveis, por exemplo, são constituídos de modo a suportarem diferentes valores máximos de corrente e dessa forma funcionarem como protetores da instalação elétrica, pois não. Permitem valores de corrente além do limite especificado pelo fabricante. Pode-se observar que o filamento de um fusível de 10A é mais fino que o de 20A. Em cada caso, esses números indicam a máxima corrente que cada fusível pode suportar sem "queimar".

Assim, se a espessura do filamento do fusível for compatível com uma corrente máxima de 10A e por um motivo qualquer a corrente exceder este valor, a temperatura atingida pelo filamento será suficiente para fundir o material (liga metálica contendo estanho), e desta forma a corrente será interrompida.

As lâmpadas incandescentes são usualmente constituídas de um filamento encerrado em um bulbo de vidro onde há um gás à baixa pressão. O filamento é normalmente feito de tungstênio, pois esse material apresenta alto ponto de fusão.

Essas lâmpadas de filamento, classificadas no grupo dos resistivos, podem apresentar diferentes potências quando submetidas à mesma tensão. Ao examinarmos um conjunto de lâmpadas produzidas para operarem na mesma tensão, mas com potências diferentes e que sejam procedentes de um mesmo fabricante<sup>1</sup>, notamos que as lâmpadas de filamentos mais espessos desenvolvem maior potência.

Nos chuveiros, as ligações inverno/verão também correspondem, para uma mesma tensão, a distintas potências. Neste caso, a espessura do fio enrolado (resistor) comumente chamado de resistência é uniforme. Nota-se no entanto que as ligações inverno/verão são obtidas usando-se comprimentos diferentes do resistor. Na ligação "inverno" utiliza-se um pequeno pedaço do condutor enrolado, enquanto que na ligação "verão" usa-se um pedaço maior deste mesmo fio.

O manuseio e a observação de fusíveis, lâmpadas, chuveiros e outros aparelhos considerados resistivos revela a simplicidade de sua construção: em geral a parte que aquece é um pedaço de fio (enrolado).

Nas lâmpadas de mesma tensão, tais fios apresentam espessuras diferentes para as diferentes potências. Nos fusíveis, o fio de estanho é mais espesso para os de maior

---

<sup>1</sup> O filamento de lâmpadas procedentes de diferentes fabricantes possui formatos distintos, o que dificulta possíveis comparações.

amperagem, enquanto que nos chuveiros é o comprimento do fio enrolado que muda ao passar da ligação de "verão" para "inverno".

## As Partes Metálicas dos Aparelhos Elétricos

Ao discutirmos, na seção anterior, o comportamento dos fusíveis, lâmpadas e chuveiros, focalizamos a nossa atenção nas partes desses aparelhos responsáveis pela transformação de energia elétrica em térmica. Não é por coincidência que tal transformação ocorre no resistor, que é a parte metálica. Os metais têm um papel importante nos aparelhos elétricos porque permitem o estabelecimento de corrente no seu interior, e é isso que possibilita a conversão de energia. Tal comportamento faz com que eles sejam classificados como condutores.

Em geral, os aparelhos empregam, além dos fios metálicos, materiais que parecem não ter a mesma função do ponto de vista elétrico. O fusível de rosca, por exemplo, contém uma parte de porcelana; o vidro é utilizado nas lâmpadas e, ao desmontarmos um chuveiro, encontramos várias partes feitas de borracha, plástico ou baquelite. Esses materiais não-metálicos, por serem eletricamente passivos no uso doméstico, também são importantes nos aparelhos resistivos. Eles têm a função de isolar algumas partes desses aparelhos, impedindo que a corrente se estabeleça em locais não desejados. Por isso são genericamente denominados isolantes elétricos.

A presença de condutores e isolantes é comum tanto nos aparelhos quanto nas instalações elétricas. Os metais mais empregados como condutores são: o cobre, nos motores e instalações residenciais; o latão (liga de cobre e zinco), nos soquetes, tomadas, interruptores e plugues; o tungstênio, no filamento das lâmpadas; o estanho, nos fusíveis e pontos de contato das lâmpadas; a liga de níquel-cromo, nas "resistências" do chuveiro, da torneira elétrica e aquecedores; e o alumínio, nas antenas de rádio e televisão.

Entre os isolantes encontramos os plásticos, nas capas de fios, botões, invólucros de aparelhos, tomadas plugues; o baquelite, nos interruptores, tomadas, soquetes; porcelana, nos fusíveis, soquetes, suporte das chaves da caixa de luz; o vidro, no invólucro de lâmpadas, no fusível de cartucho; e o verniz, na capa dos fios que constituem o enrolamento de motores.

## Modelo Clássico de Corrente Elétrica

Podem ocorrer inúmeras questões, quando manuseamos, observamos e desmontamos alguns aparelhos elétricos. O que significa ligar um aparelho elétrico? Por que existe corrente em um aparelho ligado? No que consiste a corrente elétrica? Como ocorre o aquecimento? Tais questões somente podem ser respondidas considerando-se o que acontece no interior do fio quando se estabelece nele uma corrente elétrica. Isso significa que elas não podem ser respondidas pelas observações diretas dos circuitos elétricos, já que não conseguimos ver o que está acontecendo dentro do fio. Um pedaço de fio em um circuito ligado tem a mesma aparência externa que um desligado. Por outro lado, existem evidências de efeitos devidos à corrente, como, por exemplo, o aquecimento nos fios, ou, ainda, um choque elétrico.

Se formos ao dicionário buscar o significado da palavra modelo, vamos encontrar, entre outros, o seguinte: "conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou comportamento de um sistema físico pelo qual se procura explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema".

Um aspecto interessante dessa explicação é que os modelos são concebidos no interior de teorias. No nosso caso, estamos interessados em compreender no que consiste a corrente elétrica em um metal. Os metais, do ponto de vista microscópico, são formados por íons e a corrente elétrica é associada a um tipo de movimento de elétrons

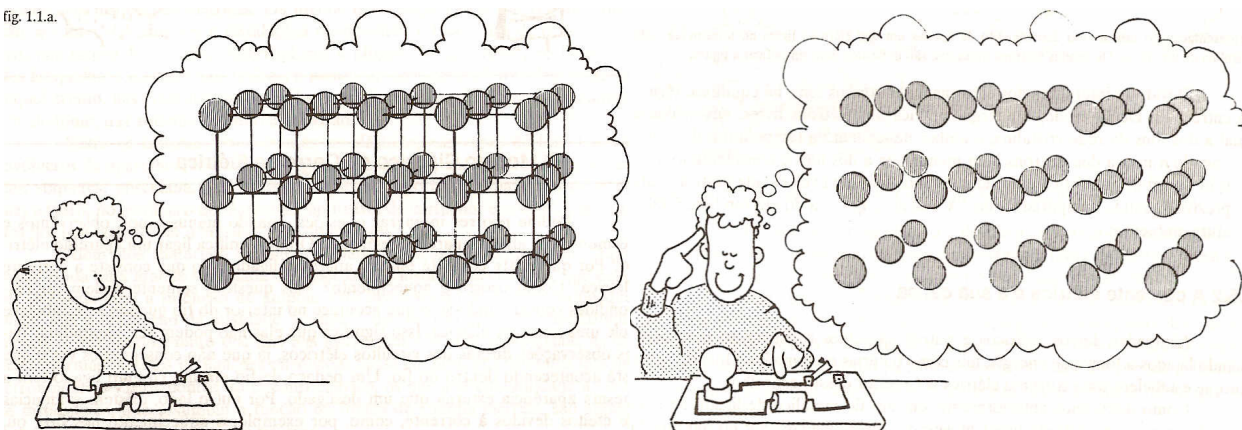
nos espaços entre esses íons. Desse modo, o nosso modelo envolve, necessariamente, a teoria que descreve as interações entre elétrons e íons. Atualmente, a teoria aceita para descrever o comportamento de partículas elementares é o da Mecânica Quântica. Entretanto, nos restringiremos a outro modelo mais simples, baseado na Mecânica Clássica, elaborado pelo físico alemão Paul Drudde, em 1900, e desenvolvido pelo físico austríaco Anton Lorentz, em 1909. É importante notar que, apesar de simples, esse modelo é bastante realístico, porque até as versões quânticas atuais preservam muitas características do modelo clássico que será apresentado aqui.

## O metal sem corrente

Um átomo isolado de um metal qualquer é eletricamente neutro. Por exemplo, um átomo de cobre é constituído por um núcleo que contém 29 prótons cercados por 29 elétrons, o da prata contém 47 prótons e 47 elétrons.

Já um fio metálico contém um número muito grande de partículas e por isso a sua estrutura é diferente. No interior do metal, cada átomo perde, em geral, um ou dois elétrons, tornando-se, portanto, íons positivos. Tais íons se arranjam de modo bastante regular, constituindo uma rede cristalina tridimensional tal como ilustra a figura 1.1.

fig. 1.1.a.



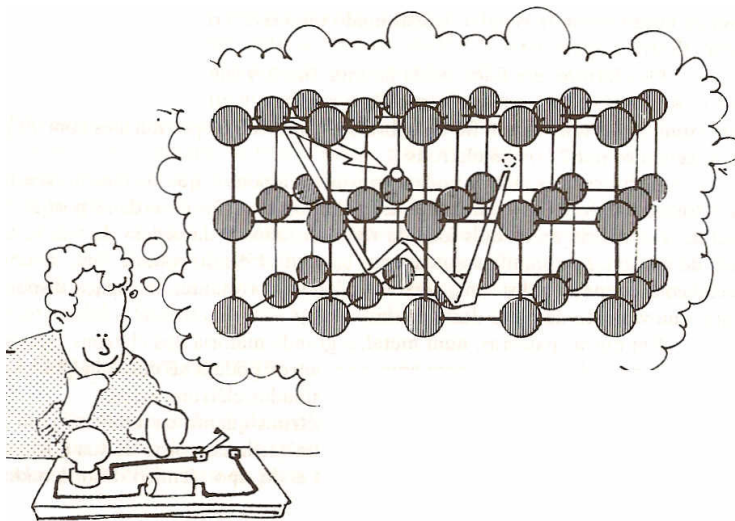
As esferas representam os íons, e as linhas ilustram o caráter tridimensional da rede, não tendo significado físico. Por isso a rede se parece mais com o desenho da fig. 1.1.b ao lado.

Os elétrons perdidos pelos átomos ficam vagando pelos espaços entre os íons. Desse modo, o fio metálico continua eletricamente neutro. Assim, por exemplo, os íons de um fio de cobre são constituídos por núcleos com 29 prótons, cercados por 27 ou 28 elétrons.

A dureza dos metais poderia nos levar a pensar que os íons no seu interior formam estruturas compactas. Entretanto, isso não é verdade porque, nos metais, a distância entre dois íons da rede cristalina é da ordem de três vezes o raio de um íon. Isso significa que apenas cerca de 15% do volume total de um fio metálico é ocupado pelos íons, correspondendo, o restante, ao espaço disponível para o movimento de parte dos elétrons.

Em outras palavras, num metal, a grande maioria dos elétrons está presa nas vizinhanças dos núcleos, enquanto que outros podem se deslocar por todo o seu interior. Por isso esses últimos são denominados elétrons livres.

À temperatura ambiente tanto os elétrons quanto os íons estão em movimento de origem térmica. Enquanto cada íon oscila em torno de sua posição de equilíbrio, o movimento de um elétron livre é do tipo térmico desordenado ou aleatório, tal como o de moléculas gasosas em recipientes fechados. A “dança” de um elétron está representada na figura 1.2.



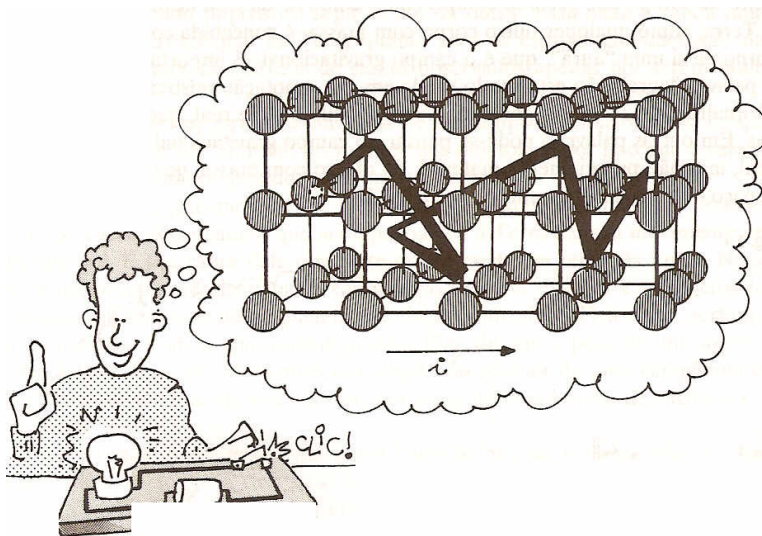
*Fig.2 Representação do movimento desordenado de apenas um dos elétrons livres no interior da rede cristalina de um metal. Os demais elétrons livres não são indicados para simplificar a figura.*

Devido às interações dos elétrons livres com os íons, há equilíbrio térmico entre eles. Desse modo a energia cinética dos elétrons livres, em média, é igual a dos íons da rede cristalina, e ambas dependem da temperatura do material. Sendo a massa dos elétrons bem menor que a dos íons e considerando a interação de natureza elétrica entre eles, os íons têm uma velocidade praticamente desprezível, quando comparada à de 100.000 m/s, que é a do elétron livre à temperatura ambiente.

### A corrente elétrica e a sua causa

Lâmpadas, ferros elétricos e outros aparelhos resistivos só funcionam quando ligados a fontes de energia, tais como baterias ou tomadas. Quando isso é feito, se estabelece uma corrente elétrica no interior desses aparelhos.

Como discutimos anteriormente, em um fio metálico desligado de uma fonte de energia, os elétrons livres movem-se desordenadamente no interior da rede cristalina. Tal movimento não constitui a corrente elétrica, pois ela está associada a um outro movimento dos elétrons livres na direção do fio, e superposto ao movimento aleatório de origem térmica. Esse movimento adicional ocorre porque, ao ligarmos o fio a uma fonte de energia, aparece uma força de origem elétrica que age sobre cada um dos elétrons livres e dos íons da rede. Como os íons possuem grande massa e interagem entre si, praticamente não se movem, enquanto que os elétrons livres, ao serem acelerados por essa mesma força, acabam produzindo o referido movimento adicional que é a corrente elétrica nos metais.



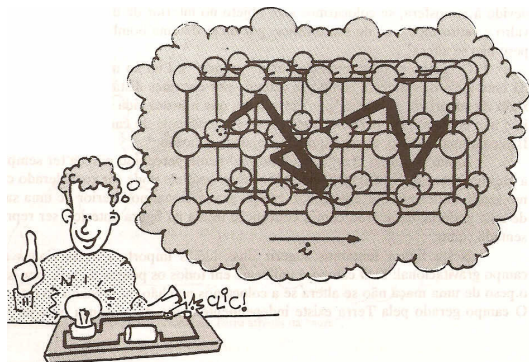
*Fig. 3: Representação do movimento adicional de apenas um dos elétrons livres.*

Essa força de natureza elétrica é devida à existência de um campo elétrico no interior do fio quando o mesmo é conectado à fonte de energia. (...)

(...) Quando ligamos um fio elétrico a uma bateria, estabelece-se dentro dele um campo elétrico

que é uniforme e preenche todo o interior do fio. Do mesmo modo que o campo gravitacional pode agir sobre uma massa, esse campo elétrico agirá sobre todas as

partículas carregadas (íons e elétrons) presentes no fio, causando forças sobre elas. Em particular, ele agirá sobre cada um dos elétrons livres ocasionando as forças responsáveis pela corrente elétrica. Assim, é o campo no interior do fio o responsável pelo movimento que se superpõe à agitação térmica.



(...)

*Fig.3: Representação do campo elétrico no interior da rede cristalina através do sombreado.*

(...) Muitos dos aparelhos elétricos utilizados em nossas casas funcionam ligados a tomadas. Quando isso ocorre, a corrente em seu interior é do tipo alternada<sup>2</sup>, já que o movimento de avanço dos elétrons livres alterna constantemente seu sentido, ora para um lado ora para o lado oposto. Isto quer

dizer que, assim como o campo elétrico, conseqüentemente a força que atua sobre os elétrons também alterna seu sentido. Nesse caso, temos um campo elétrico que varia com o tempo.

Em nossa residência, a freqüência da alternância da corrente é de sessenta vezes por segundo (60Hz). Para visualizarmos o que ocorre no interior do fio convém notar que o tempo de 1/60 s, que para a nossa vivência é muito pequeno, do ponto de vista de eventos na escala atômica é bastante grande. Por exemplo, ele é suficiente para que os elétrons livres ultrapassem a ordem de 20.000 espaçamentos da rede cristalina em cada sentido de alternância.

### O aquecimento nos condutores (Efeito Joule)<sup>3</sup>

Vamos agora interpretar, de acordo com o modelo clássico, o processo de aquecimento nos condutores. Nos chuveiros, torneiras elétricas, aquecedores, em todos os aparelhos elétricos, classificados como resistivos, o aquecimento provocado pela corrente constitui a razão de seu funcionamento<sup>4</sup>.

Segundo o modelo que estamos utilizando, ao fecharmos o circuito, os elétrons livres, sob a ação do campo elétrico ficam sujeitos a uma força elétrica que os acelera na direção desse campo. Esse movimento induzido pelo campo elétrico é superposto ao movimento caótico devido aos muitos choques dos elétrons com a rede cristalina.

Vamos nos deter agora ao que acontece com um elétron entre um choque e outro. Quando o circuito está fechado, a força elétrica que acelera os elétrons livres na direção do campo elétrico está sempre presente, fazendo com que a energia cinética desses elétrons aumente no intervalo de tempo entre dois choques. Com a ocorrência de um choque, esta energia é em parte transferida aos íons da rede.

Em outras palavras, o campo elétrico causa um aumento na energia cinética dos elétrons livres, que é transferida à rede cristalina por meio de choques, fazendo com que ela vibre mais intensamente, representando um aumento da energia interna. Esse aumento da vibração é percebido macroscopicamente como aumento de temperatura do fio, que passa a se comportar como fonte de calor para o ambiente.

A discussão que efetuamos, baseada no modelo clássico, permite-nos compreender, do ponto de vista qualitativo, o processo de funcionamento de um aparelho

<sup>2</sup> A corrente elétrica nos aparelhos ligados à tomada ou diretamente à rede elétrica é do tipo alternada. Os valores indicados nesses aparelhos pelos fabricantes, entretanto, referem-se aos valores da corrente elétrica que eles necessitariam caso funcionassem com corrente do tipo contínua (corrente eficaz).

<sup>3</sup> Nota do professor deste curso.

<sup>4</sup> Nos fios de cobre, meio pelo qual a energia elétrica chega até os aparelhos, este efeito também ocorre, mas em geral ele representa uma pequena parte da energia elétrica consumida e é considerado perda de energia.

resistivo. Em síntese, o que ocorre é o seguinte: ao ligarmos um fio metálico a uma fonte de energia externa aparece em seu interior um campo elétrico. A ação desse campo sobre os elétrons livres se dá através da força elétrica, acelerando-os e aumentando sua energia cinética que é transferida aos íons da rede por meio de choques. Esses choques aumentam a energia cinética de vibração da rede, o que é percebido como aumento de temperatura.

Do ponto de vista da energia, a fonte externa fornece energia aos elétrons que transferem essa energia à rede cristalina que por sua vez a transfere na forma de calor ou radiação luminosa para o meio ambiente.

Até o momento, discutimos apenas os aspectos qualitativos do problema. Entretanto, mesmo antes de discutirmos os detalhes dos aspectos quantitativos, o modelo utilizado antecipa a existência de *algum* tipo de relação entre os vários efeitos. Sendo o valor do campo elétrico dependente da tensão, quanto maior ela for, maior será a intensidade da força exercida pelo campo sobre os elétrons livres, proporcionando maior variação da energia cinética entre dois choques, ocasionando maior aquecimento. Isso nos permite interpretar, por exemplo, o fato de um chuveiro, projetado para funcionar na tensão 220V, produzir menos aquecimento quando instalado na tensão 110V.

Texto extraído da parte 1 (Aparelhos Resistivos) do livro "Física 3 - Eletromagnetismo" do GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física)