

1: Efeito Joule

O calor e a eletricidade são duas formas de energia que mantém certas relações que passaremos a estudar.

Quando uma corrente elétrica passa por um condutor, o condutor se aquece. Esse fenômeno é chamado efeito Joule. Assim, todo mundo sabe que uma lâmpada se aquece quando funciona. E que os fogões elétricos, os fornos elétricos, etc. utilizam a corrente elétrica para produção de calor.

A quantidade de calor libertada pela passagem da corrente elétrica pode ser calculada pela aplicação do 1º princípio da Termodinâmica, também chamado princípio da equivalência. Seu enunciado é: “quando há transformação da quantidade de energia W na quantidade de calor Q , ou vice-versa, o quociente de W por Q é constante, quaisquer que sejam W e Q ”. Significa que:

$$\frac{W}{Q} = J(\text{constante})$$

Resulta: $Q = \frac{W}{J}$. O inverso de J se representa por A . Então:

$$Q = AW$$

J é chamado equivalente mecânico da unidade de quantidade de calor.

Unidades

No sistema CGS, W é avaliado em ergs e Q em pequenas calorias (símbolo, cal). Resulta para J o valor $4,18 \cdot 10^7 \text{ ergs} / cal$ e para A o valor $0,24 \cdot 10^{-7} cal / erg$.

No sistema MKS, W é avaliado em joules e Q em pequenas calorias. Resulta $J = 4,18 \text{ joule} / cal$ e $A = 0,24 cal / joule$.

Lei de Joule

Já vimos que, quando a corrente de intensidade I circula por um condutor de resistência R durante o tempo t , a energia necessária para que essa corrente circule vale:

$$W = RI^2t = Vit$$

Essa energia elétrica absorvida pela resistência elétrica é transformada totalmente em calor, isto é, a produção de calor é inerente à passagem da corrente (por isso é que é muito frequente dizermos energia “dissipada” por uma resistência). Em virtude das fórmulas $\frac{W}{Q} = J$ e $W = RI^2t = VIt$ a quantidade de calor despreendida é dada por uma das expressões:

$$Q = ARI^2t = AVIt$$

ou

$$Q = \frac{RI^2t}{J} = \frac{VIt}{J}$$

Qualquer uma dessas quatro expressões é chamada de lei de Joule.

Quando se usa o sistema CGSES deve-se avaliar R, I e V em ues CGS; t em seg; $A = 0,024 \cdot 10^{-7} \text{ cal / erg}$; Q em pequenas calorias.

Quando se usa o sistema MKS deve-se avaliar R em W; V em v; I em A; t em seg; $A = 0,24 \text{ cal/joule}$; Q em pequenas calorias.

Exemplo

Qual a quantidade de calor libertada durante 10 minutos pela passagem de uma corrente de 5 ampères por um condutor de resistência 2 ohms?

$$t = 10 \text{ min} = 600 \text{ seg}$$

$$R = 2 \Omega$$

$$I = 5 \text{ A}$$

$$A = 0,24 \text{ cal / joule}$$

$$Q = ARI^2t = 0,24 \cdot 2 \cdot 5^2 \cdot 600 \therefore Q = 7200 \text{ cal}$$

2: [Aplicações do efeito Joule](#)

As aplicações do efeito Joule são muitíssimo numerosas. Assinalaremos aqui algumas bastante comuns.

1. Determinação de J

Pode-se determinar J por processo elétrico. Coloca-se em um calorímetro uma resistência R conhecida (fig. 147). Faz-se passar por ela uma corrente de intensidade I conhecida, durante um tempo t. A energia absorvida pela resistência durante o tempo t é:

$$W = Ri^2t$$

Com o calorímetro se mede a quantidade de calor Q proveniente dessa energia W. Calcula-se J pelo quociente:

$$J = \frac{W}{Q}$$

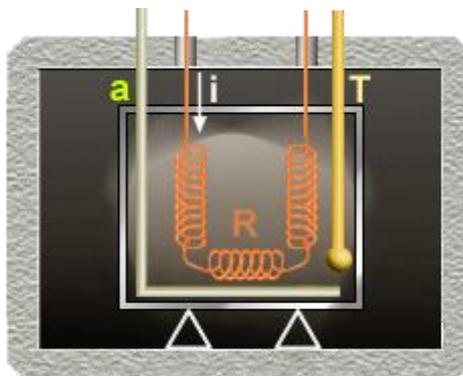


Figura 147

2. Amperímetro térmico

Amperímetros são instrumentos que medem a intensidade de corrente elétrica. Há vários tipos de amperímetros, baseados em vários fenômenos físicos. Um deles, que se baseia no efeito Joule, é o amperômetro térmico. Consiste em um fio metálico AB pelo qual se faz passar a corrente que se quer medir. Em comunicação com esse fio está um ponteiro. Quando a corrente passa, o condutor AB se aquece e se dilata. Sabemos que essa dilatação é diretamente proporcional à variação de temperatura; esta é diretamente proporcional à quantidade de calor, que por sua vez é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade da corrente. Então a dilatação do fio AB é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade da corrente. Com a dilatação do fio o ponteiro se desloca diante de uma escala. O construtor do amperômetro gradua essa escala de maneira que cada posição do ponteiro marque diretamente a corrente que passa pelo fio AB. Na figura 148 a curva pontilhada representa o fio AB já dilatado.

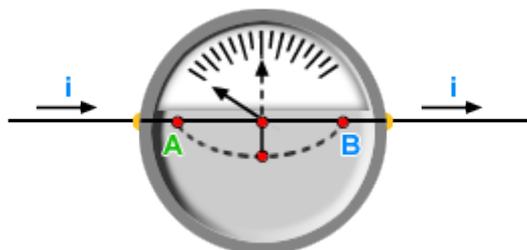


Figura 148

Esse amperômetro é cômodo porque mede a intensidade da corrente tanto quando ela passa num sentido como no outro. Além disso, é de construção barata.

Observação

Vemos que, para medirmos a intensidade da corrente que passa num trecho MN de um circuito o amperômetro deve estar ligado em série nesse trecho, para ser percorrido pela corrente a ser medida. Isso é uma regra geral: um medidor de intensidade de corrente deve ser ligado em série no trecho correspondente (fig. 149).



Figura 149

3. Fornos

Nos laboratórios e na indústria se usam fornos elétricos para obtenção de temperaturas elevadas. O forno contém uma resistência elétrica que liberta calor com a passagem da corrente. Ele é revestido externamente com uma substância que transmite mal o calor, como por exemplo, amianto (fig. 150). Desse modo, o calor libertado pela resistência fica todo no interior do forno.

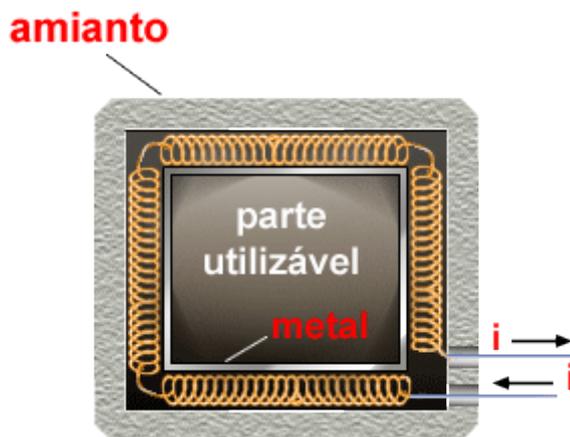


Figura 150

4. Aquecedores

Os aquecedores elétricos baseiam-se todos no efeito Joule, qualquer que seja a finalidade a que se destinam: pode ser um fogão elétrico, ou um aquecedor elétrico usado em laboratório, ou um “ferro de passar roupa”, ou um “chuveiro elétrico” (que é um aquecedor de água), etc..

5. Lâmpadas de incandescência

A lâmpada de incandescência consta de um fio de resistência R , chamado filamento, encerrado em um bulbo de vidro no qual se faz o vácuo. Uma extremidade do fio é ligada à rosca da lâmpada; a outra é ligada a um pedaço de metal A colocado na base da lâmpada (fig. 151). Quando “enroscamos” a lâmpada no seu suporte, o filamento fica ligado ao circuito elétrico através da rosca e da peça A . A quantidade de calor libertada pelo filamento aumenta a sua temperatura a ponto de ele ficar incandescente e emitir luz. Examine o leitor como está feita a ligação do filamento numa lâmpada de incandescência.

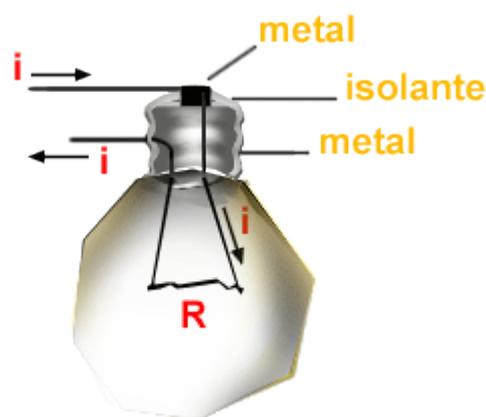


Figura 151

Autor: Roberto A. Salmeron

6. Fusíveis de segurança

Em uma instalação elétrica sempre são usados fios capazes de suportar uma certa intensidade de corrente. A corrente não deve atingir valores muito mais elevados do que o valor previsto porque senão o calor libertado por efeito Joule pode fundir os fios e estragar a instalação. Mas, num circuito podem acontecer certos acidentes que elevam o valor da corrente. Para proteger a instalação liga-se em série no circuito um pequeno condutor de chumbo F (fig. 152). Se por acaso o valor da corrente subir, o calor produzido funde antes o chumbo do que os outros condutores. O chumbo fundido interrompe o circuito e a corrente deixa de passar.

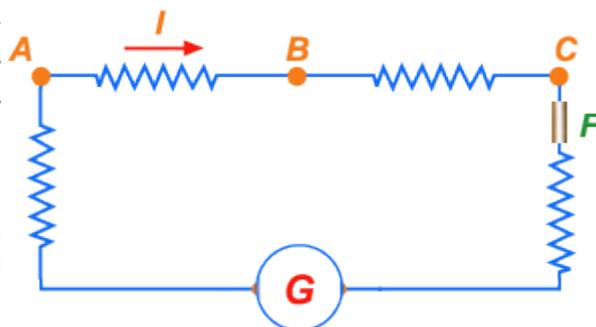


Figura 152

Esse condutor de chumbo é chamado fusível. No comércio encontram-se fusíveis cuja instalação é muito simples. Eles possuem uma rosca, análoga à rosca das lâmpadas de incandescência. E na base, também possuem uma peça metálica A isolada da rosca. O pedaço de chumbo é ligado entre a rosca e a peça A (fig. 153). Examine o leitor um fusível.



Figura 153

3: Efeito termoelétrico ou efeito Seebeck

Suponhamos que dois pedaços de certo metal a sejam soldados aos extremos A_1 e A_2 de um pedaço de metal b de natureza diferente (fig. 154). (Por exemplo: o metal a pode ser cobre, e o metal b pode-ser ferro). Se as duas soldas A_1 e A_2 forem mantidas a temperaturas diferentes t_1 e t_2 ,

aparecerá entre A_1 e A_2 uma diferença de potencial. Esse fenômeno é chamado efeito termoelétrico, ou efeito Seebeck. O conjunto dos dois metais é chamado par termoelétrico.

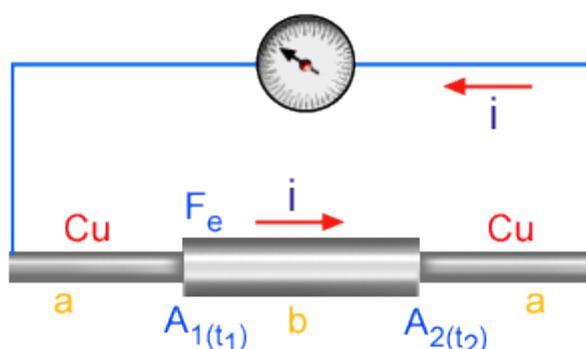


Figura 154

Para se manter as uniões A_1 e A_2 à temperaturas diferentes pode-se, por exemplo, manter A_1 no gelo fundente e aquecer A_2 com um maçarico. Para se perceber que existe a diferença de potencial entre A_1 e A_2 pode-se ligar um amperômetro sensível entre os pedaços de metal a; o amperômetro indicará a passagem de uma corrente elétrica.

Os dois metais podem também ser ligados como indica a figura 155, de modo que eles formam um circuito fechado. Neste caso, para se perceber a passagem da corrente basta aproximar-se uma agulha imantada. Ela será desviada de sua posição de equilíbrio, indicando assim que pelos condutores passa uma corrente elétrica (Veja tópico "[Dielétricos e constante dielétrica](#)").

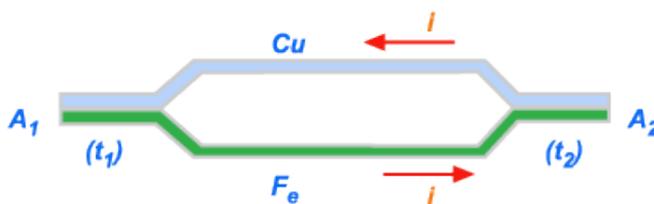


Figura 155

É importante notar que o fenômeno existe somente quando há diferença de temperatura entre as duas junções. Não havendo diferença de temperatura, mesmo que as duas junções sejam aquecidas não há termoeletricidade.

Lei

Para pequenas diferenças de temperatura e quando uma das junções é mantida à temperatura constante, a diferença de potencial entre A_1 e A_2 é proporcional à diferença de temperatura. Mas, para grandes diferenças de temperatura a diferença de potencial entre A_1 e A_2 é dada por uma lei do tipo:

$$V = a + b(t_1 - t_2) + c(t_1 - t_2)^2$$

em que a, b e c são constantes.

Repetimos que isso é verdadeiro quando uma das junções é mantida a temperatura constante. Pois, por exemplo, se uma junção é mantida a 0°C e a outra a 10°C , a diferença de potencial gerada não é a mesma que apareceria se uma fosse mantida a 100°C e a outra a 110°C , embora nos dois casos a diferença de temperatura seja de 10°C .

A diferença de potencial gerada no fenômeno termoelétrico é sempre muito pequena. Exemplo: num par constituído por cobre e ferro, uma diferença de temperatura de 100°C gera diferença de potencial de ordem de 0,001 volt.

4: Aplicações do efeito termoelétrico

1. Pilha termoelétrica

Um par termoelétrico é um gerador de eletricidade chamado pilha termoelétrica. Mas, as pilhas, em geral, não são formadas de um único par, mas, de muitos pares ligados em série (fig. 156). As junções ficam alternadamente de um lado e do outro. Desse modo as diferenças de potencial desenvolvidas pelos diversos pares são somadas.

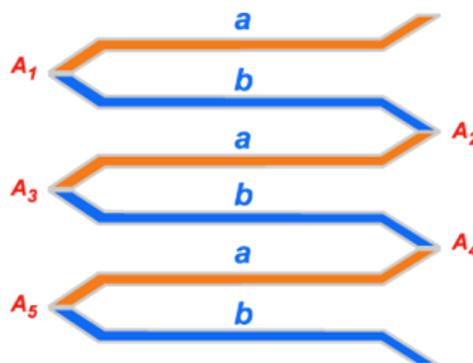


Figura 156

2. Medida de temperatura

Conhecida a diferença de temperatura entre as junções de um par termoelétrico, pode-se determinar a diferença de potencial gerada entre as junções. E, reciprocamente, conhecida a diferença de potencial gerada entre as junções pode-se determinar a diferença de temperatura entre elas. Podemos medir a temperatura t_1 de certo ambiente (por exemplo, de um forno), introduzindo nele uma junção A_1 de um par termoelétrico e mantendo a outra junção a uma temperatura t_2 conhecida. Temos a diferença de potencial V gerada entre as uniões. Aplicando a fórmula $V = a + b(t_1 - t_2) + b(t_1 - t_2)^2$ calculamos t_1 .

O par termoelétrico, quando usado para medida de temperaturas é chamado termômetro termoelétrico. É usado para medida de altas temperaturas, e constitui a mais importante aplicação do fenômeno termoelétrico.

5: Efeito Peltier

Suponhamos um par termoelétrico formado por dois metais de naturezas diferentes, a e b , ligados a um gerador G de modo a formar um circuito fechado (fig. 157). A experiência mostra que, quando passa corrente pelo par, a junção dos metais sofre aumento de temperatura quando a corrente passa num certo sentido, e diminuição de temperatura, quando a corrente passa em sentido oposto. Esse fenômeno é chamado efeito Peltier.

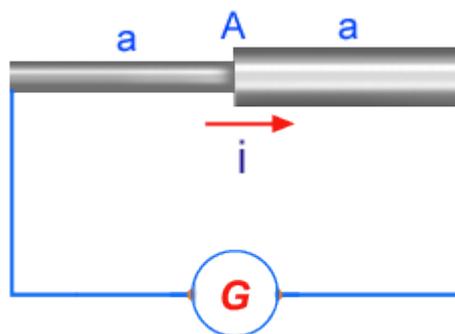


Figura 157efeito Peltier

O sentido em que a corrente deve passar para produzir aumento de temperatura na junção depende do par considerado. Assim, num par formado por uma barra de bismuto e uma de antimônio, quando a corrente passa do antimônio para o bismuto há elevação de temperatura da junção; quando passa do bismuto para o antimônio há queda de temperatura na junção.

Demonstração experimental

Com duas barras de antimônio, Sb, e uma de bismuto, Bi, formam-se dois pares termoelétricos: coloca-se a barra de bismuto no meio e uma de antimônio de cada lado (fig. 158).

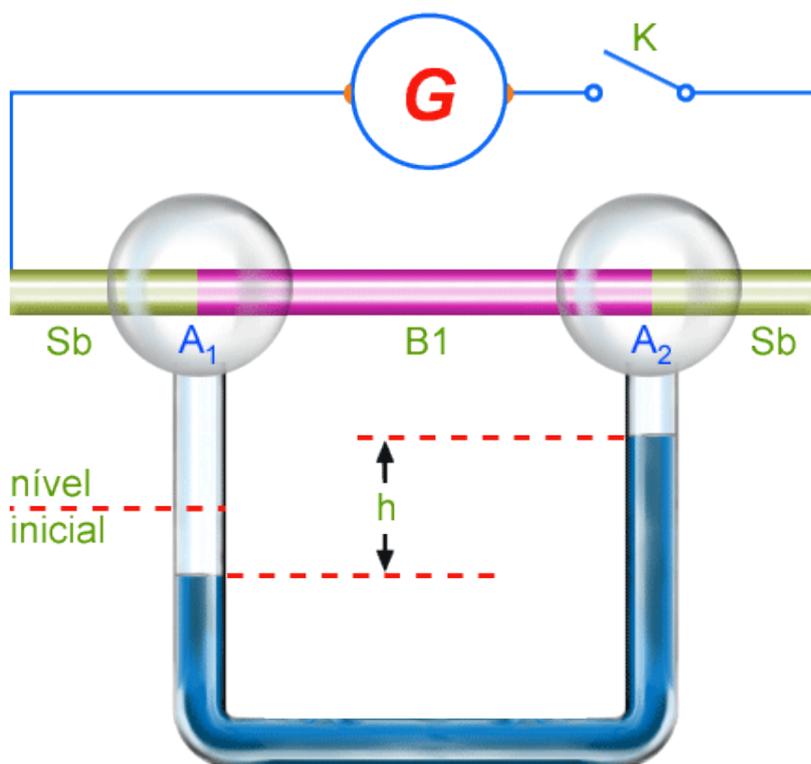


Figura 158

As uniões A_1 e A_2 ficam situadas em dois globos de vidro iguais e que estão unidos por um tubo em U. Nesse tubo se coloca um líquido qualquer. Quando o ar tem igual temperatura nos dois globos, também tem a mesma pressão, e o líquido tem o mesmo nível nos dois ramos.

Depois se ligam as extremidades do antimônio aos polos de um gerador G de maneira que passe corrente no sentido indicado na figura. Observa-se então que o líquido desce no ramo esquerdo e sobe no direito. Isso porque aumentou a pressão do ar no globo esquerdo, o que indica que houve aumento de temperatura em A_1 ; e diminuiu a pressão do ar no globo direito, o que indica que baixou temperatura em A_2 . A figura 159 é uma fotografia do aparelho que acabamos de descrever.

A figura 159 é uma fotografia do aparelho que acabamos de descrever.

6: Efeito termodielétrico

O físico brasileiro J. Costa Ribeiro descobriu o seguinte fenômeno. Quando um dielétrico sofre mudança de estado físico, aparece no dielétrico uma corrente elétrica. Por exemplo, quando um dielétrico é fundido, durante a fusão passa uma corrente elétrica da fase sólida para a fase líquida ou vice-versa, conforme o tipo de dielétrico. Esse fenômeno é chamado efeito termodielétrico.

7: Nota Histórica

James Prescott Joule, (1818 – 1889), inglês, quando ainda muito jovem foi discípulo de Dalton, de quem recebeu muita influência. Seus primeiros trabalhos foram sobre eletromagnetismo. Depois passou ao calor. E posteriormente dedicou-se ao estudo do calor desenvolvido pelas correntes elétricas.

O primeiro princípio da termodinâmica tinha sido enunciado pelo médico alemão Mayer, mas, de maneira pouco clara. Joule foi o primeiro a esclarecer o significado daquele princípio, e teve o grande mérito de ter sido o primeiro físico a medir o valor da relação constante entre o trabalho e o calor, relação que, em sua homenagem, se representa por J.

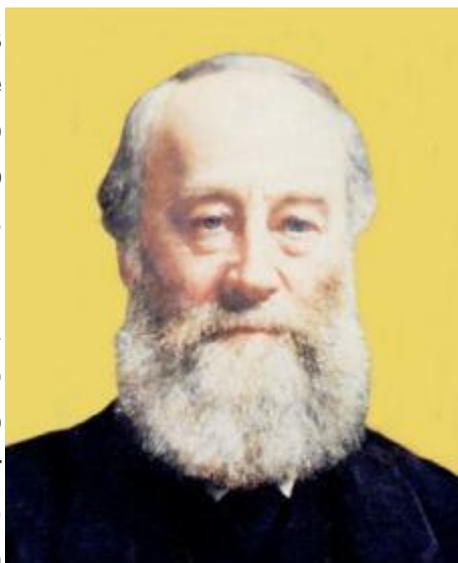


Figura de James Prescott Joule

Ele determinou experimentalmente que a quantidade de calor libertada por uma corrente elétrica é diretamente proporcional à resistência do condutor e ao quadrado da intensidade da corrente. Essa relação entre a quantidade de calor, a resistência do condutor e a intensidade da corrente é hoje chamada lei de Joule, conforme vimos no tópico "[Efeito Joule](#)".

Em teoria cinética dos gases realizou trabalhos interessantes: fez a primeira medida precisa da velocidade média das moléculas de um gás. Foi esse um

Autor: Roberto A. Salmeron

outro trabalho importante, porque foi uma das experiências precursoras da Física Atômica.