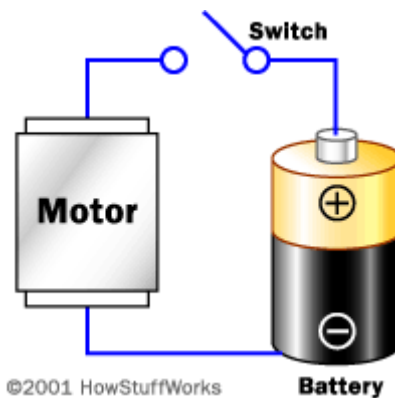


Aula 12 – Efeito Joule

Efeito Joule: quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, há a transformação da energia potencial elétrica em energia térmica (calor). É uma consequência das colisões entre os elétrons (portadores de carga) e os íons do metal condutor de eletricidade. As colisões transferem energia dos elétrons para os íons, que aumentam sua agitação térmica e, conseqüentemente, a temperatura do condutor.

Suponhamos que, entre os pontos a e b haja um receptor de corrente elétrica (“caixa-preta”), e que uma bateria mantenha a ddp constante entre os pontos a e b



Energia potencial elétrica: se um elemento de carga dq move-se num condutor devido a uma ddp V entre dois pontos, a e b, a energia potencial elétrica diminui de uma quantidade infinitesimal

$$dU = V dq$$

Num intervalo de tempo dt , se passa uma corrente elétrica i entre os pontos a e b, $dq = i dt$. Logo $dU = V i dt$. Como a energia se conserva, este decréscimo de energia é compensado por um acréscimo de energia no circuito por meio da bateria.

Potência elétrica: taxa de variação da energia elétrica com o tempo

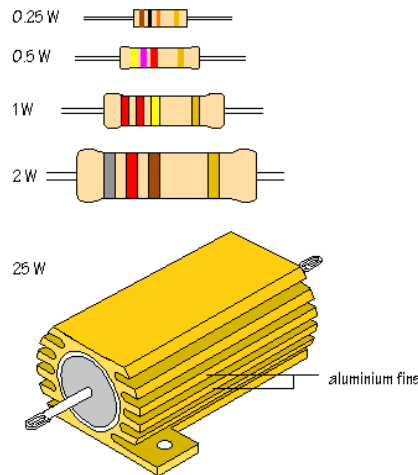
$$P = \frac{dU}{dt} = Vi$$

Unidade no S.I.: $[P] = [U]/[t] = J/s = \text{Watt (W)}$

Obs.: essa fórmula é geral: vale para qualquer receptor de energia elétrica, não somente um resistor.

Se o receptor for um resistor $V = R i$, logo $P = V i = (R i) i$ ou $P = V (V / R)$, donde

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



Obs.: cada resistor tem um limite de potência que pode dissipar com segurança. Alguns resistores que dissipam uma potência muito alta podem ter chicanas metálicas para facilitar a condução do calor gerado para o ar (o efeito das chicanas é aumentar a área em contacto com o ar)

Problema resolvido: Um resistor cilíndrico de raio 5,0 mm e comprimento 2,0 cm é feito de um material cuja resistividade é de $3,5 \times 10^{-5} \Omega \cdot m$, Quais são (a) a densidade de corrente e (b) a ddp quando a potência dissipada no resistor é 1,0 W?

Solução: (a) Como $P = R i^2$, $A = \pi r^2$, e $R = \rho L / A$

$$J = \frac{i}{A} = \frac{\sqrt{P/R}}{A} = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{PA}{\rho L}} = \sqrt{\frac{P}{\rho LA}} = \sqrt{\frac{1,0}{3,5 \times 10^{-5} \times 0,02 \times \pi \times 0,005^2}} = 1,34 \times 10^5 \frac{A}{m^2}$$

(b) Como $P = Vi$

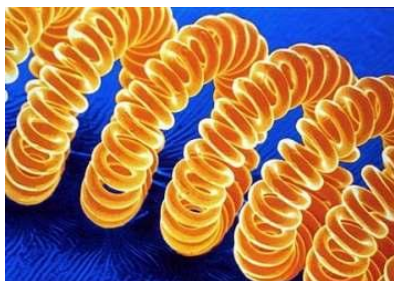
$$V = \frac{P}{i} = \frac{P}{JA} = \frac{1,0}{1,34 \times 10^5 \times \pi \times 0,005^2} = 9,4 \times 10^{-2} V$$

Problema proposto: Um estudante deixou seu rádio portátil de 9,0 V e 7,0 W ligado das 9 h às 14 h. Que quantidade de carga passou através do rádio? Resposta: 14 MC

Problema suplementar: Os faróis de um carro em movimento “puxam” 10 A do alternador de 12 V (o qual é acionado pelo motor). Suponha que o alternador tenha eficiência de 80 %, ou seja, a potência elétrica de saída corresponde a 80 % da potência mecânica de entrada. Calcule a potência necessária para que as luzes dos faróis acendam. Resposta: 150 W.



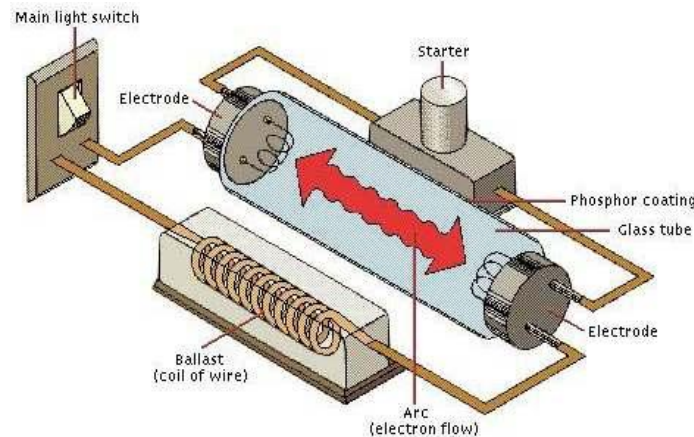
Lâmpada incandescente: Se uma corrente elétrica suficientemente intensa passa por um filamento condutor, ele se aquece devido ao Efeito Joule e, num dado instante, chega a brilhar. A lâmpada elétrica incandescente foi inventada em 1879 e envolveu o trabalho de muitos pesquisadores e inventores, dentre os quais destaca-se Thomas Alva Edison. Ele e seus assistentes experimentaram mais de 1.600 tipos de materiais, buscando um filamento eficiente e econômico. A sua melhor lâmpada utilizava filamentos de bambu carbonizados. As lâmpadas incandescentes atuais utilizam um fio de tungstênio encerrado num bulbo de vidro. Esse fio tem diâmetro inferior a 0,1 mm e é enrolado segundo uma hélice cilíndrica. Passando corrente elétrica no filamento, ele se aquece a uma temperatura da ordem de 3.000 ° C (o ponto de fusão do tungstênio é 3422 ° C). O filamento torna-se, então, incandescente e começa a emitir luz.



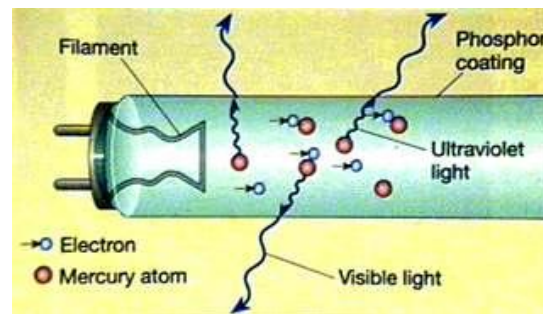
No interior da lâmpada não pode haver ar, pois do contrário o filamento se oxida e incendeia-se. Antigamente fazia-se vácuo no interior do bulbo, porém isso facilitava a sublimação do filamento (passagem do estado sólido para o estado de vapor). Passaram, então, a injetar um gás inerte, em geral o argônio ou criptônio. A lâmpada incandescente é uma lâmpada de baixo rendimento, gera muito mais calor do que luz. Apenas 5% da energia, aproximadamente, é transformada em luz. Para obter diferentes luminosidades, o fabricante altera, geralmente, a espessura do filamento: quanto maior a espessura menor a resistência elétrica (lembre que $R = \rho L/A$) e, para uma mesma ddp, maior a corrente elétrica; portanto, maior será a luminosidade.

Lâmpada Fluorescente: Em condições normais, o ar e os gases dificilmente conduzem correntes elétricas se estiverem sob pressões muito altas (como, por exemplo, a

atmosférica). Gases e vapores rarefeitos, contudo, permitem a passagem de eletricidade com relativa facilidade, produzindo efeitos luminosos que encontram grande número de aplicações práticas.



Dentro do envoltório de vidro de uma lâmpada fluorescente há argônio e vapor de mercúrio, rarefeitos. Em cada extremidade do tubo há um eletrodo sob a forma de um filamento, revestido com um óxido. Quando se liga a lâmpada, os filamentos se aquecem e emitem elétrons; isso inicia a ionização do gás. Um starter (disparador) interrompe então o circuito, automaticamente, e desliga o aquecimento dos filamentos. O reator, ligado à lâmpada, produz imediatamente um impulso de alta voltagem, que inicia a descarga no argônio. Essa descarga aquece e vaporiza o mercúrio, cuja maior quantidade está inicialmente sob estado líquido.



Os elétrons provenientes do filamento chocam-se com as moléculas de gás mercúrio contidas no tubo, o que produz não só a excitação como também a ionização dos átomos. Ionizados, os átomos do gás são acelerados pela diferença de potencial entre os terminais do tubo, e ao se chocarem com outros átomos provocam outras excitações. O retorno desses átomos ao estado fundamental ocorre com a emissão de luz visível e radiação ultravioleta (invisível). A radiação ultravioleta, ao se chocar com o revestimento fluorescente do tubo (fósforo), produz luz visível. Empregando-se misturas de materiais fotoluminescentes diversos é possível obter diferentes tons de luz de branca. A composição do revestimento das lâmpadas fluorescentes é cuidadosamente estudada de modo a fornecer o tom de branco mais adequado para lojas, escritórios ou residências. Como nas lâmpadas fluorescente a maior parte da energia

fornecida é transformada em luz, seu rendimento pode ser até cinco vezes maior do que o das lâmpadas incandescentes, que produzem muito mais calor.



O rendimento de uma lâmpada é a razão entre a potência luminosa (em lumens) e a potência elétrica (em watt). Uma lâmpada incandescente *de 100 W* produz 1200 lumens, logo seu rendimento é de 12 lumens/W. Uma lâmpada fluorescente de mesma potência luminosa consome somente 20 W, com rendimento de 60 lumens/W, logo cinco vezes maior.

Consumo de energia elétrica: Na prática, o Joule como unidade de elétrica é substituído pelo kilowatt-hora (kWh), o fator de conversão sendo

$$1kW.h = 1000W \times 1h = 1000W \times 3600s = 3,6 \times 10^6 J = 3,6MJ$$

No Brasil, o custo do kW.h varia de acordo com a região, e com a faixa de consumo. Para consumidores residenciais no estado do Paraná, o kWh custa R\$ 0,44 (tarifa básica COPEL). Desta forma é possível calcular o consumo de qualquer aparelho elétrico a partir do seu tempo de utilização.

Tabela de potências médias de eletrodomésticos (Creder, pg. 76)

Aparelho	Potência (W)	Aparelho	Potência (W)
Aquecedor de ambiente	1000	Geladeira comum	200
Aquecedor tipo "boiler"	1500	Geladeira duplex ou freezer	500
Aspirador de pó	200	Grill	1000
Barbeador	50	Liquidificador	200
Batedeira	100	Máquina de costura	100
Chuveiro	2500	Máquina de lavar roupas	500
Circulador de ar	150	Rádio	50
Enceradeira	300	Secador de cabelo	1000
Exaustor	300	Secador de roupa	600
Ferro de engomar	1000	Televisor	200
Fogão elétrico	5000	Torneira elétrica	2500
Forno de microondas	1200	Torradeira	1000
		Ventilador	150

Problema resolvido: Uma lâmpada incandescente de 100 W é ligada a uma tomada padrão de 120 V. (a) Quanto custa para deixar a lâmpada acesa durante um mês? (b) Qual é a resistência da lâmpada? (c) Qual é a corrente na lâmpada?

Solução: (a) 1 mês = 31 dias = 31 x 24 horas = 744 horas

$$E = P t = 0,1 kW \times 744 h = 74,4 kW.h$$

cujos custos são $74,4 \times R\$ 0,44 = R\$ 32,73$.

$$(b) R = V^2/P = 120^2/100 = 144 \Omega$$

$$(c) i = (P/R)^{1/2} = (100/144)^{1/2} = 0,833 A$$

Problema proposto: Calcule o consumo diário de eletricidade de uma residência na qual foram utilizados os seguintes eletrodomésticos: chuveiro por duas horas, televisor por dez horas, secador de roupas por 20 minutos, forno de microondas por duas horas, ferro de engomar por meia hora, geladeira comum por 24 horas. Resposta: R\$ 6,55.

Conservação de energia: a energia elétrica é integralmente convertida em calor:

1. Calor sensível: provoca aumento de temperatura do meio

$$E = Pt = Q = mc(T_f - T_i)$$

Q: calor (em J. Se usarmos caloria, lembrar que 1 cal = 4,186 J.)

m: massa (em kg)

c: calor específico (em J/kg.K. Conversão: 1 cal/g.°C = 4190 J/kg.K)

Para a água c = 1,0 cal/g.°C

T_{i,f}: temperaturas inicial e final (em K)

2. Calor latente: provoca mudança de estado físico, sem alteração de temperatura

$$E = Pt = Q = mL$$

m: massa (em kg)

L: calor latente de fusão, vaporização, etc. (em J/K. 1 cal/g = 4190 J/kg)

Para a água o calor latente de fusão é 333 kJ/kg, e de vaporização 2256 kJ/kg.

Problema resolvido: Um "rabo-quente" (ou mergulhão) é feito de fio de Nicromo ($\rho = 5,00 \times 10^{-7} \Omega.m$) com seção transversal de área $2,60 \times 10^{-6} m^2$. (a) Qual o comprimento de fio se desejamos uma potência de 5000 W ao ser ligado numa ddp de 120 V? (b) Usando-se o rabo-quente para aquecer 200 g de água inicialmente a 20° C, quanto tempo levará para a água atingir o ponto de ebulição (100 °C)?

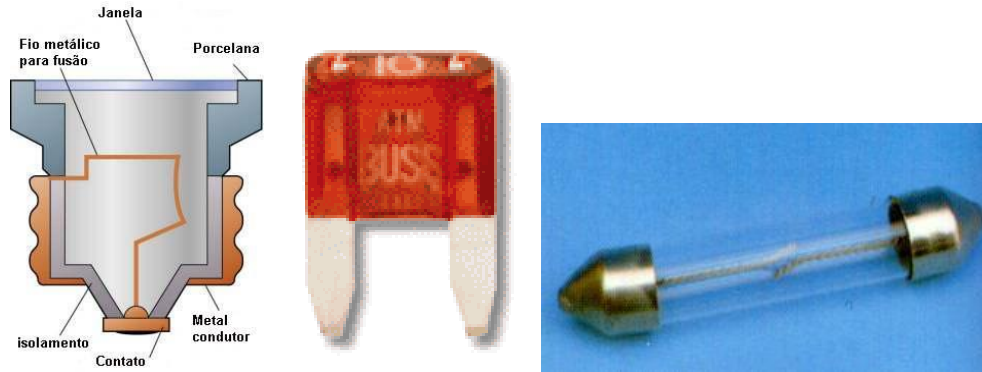
Solução: (a) Como $P = V^2/R$ temos que $R = V^2/P = 120^2/5000 = 2,88 \Omega$

$$L = \frac{RA}{\rho} = \frac{2,88 \times 2,60 \times 10^{-6}}{5,00 \times 10^{-7}} = 15m$$

$$(b) t = \frac{mc(T_f - T_i)}{P} = \frac{0,2 \times 4190 \times (373 - 293)}{5000} = 13,41s$$

Problema proposto: Uma bobina de fio Nicromo transportando corrente está imersa num líquido contido num calorímetro. Quando a ddp pela bobina é de 12 V e a corrente que a percorre é de 5,2 A, o líquido ferve, evaporando-se a uma taxa de 21 mg/s. Calcular o calor latente de vaporização do líquido, em cal/g. Resposta: 710 cal/g.

Fusíveis: são dispositivos que protegem os circuitos elétricos contra danos causados por sobrecargas de corrente, que podem provocar até incêndios, explosões e outros efeitos. O funcionamento do fusível baseia-se no princípio segundo o qual uma corrente que passa por um condutor gera calor proporcional ao quadrado de sua intensidade. Quando a corrente atinge a intensidade máxima tolerável, o calor gerado não se dissipa com rapidez suficiente, derretendo um componente e interrompendo o circuito.

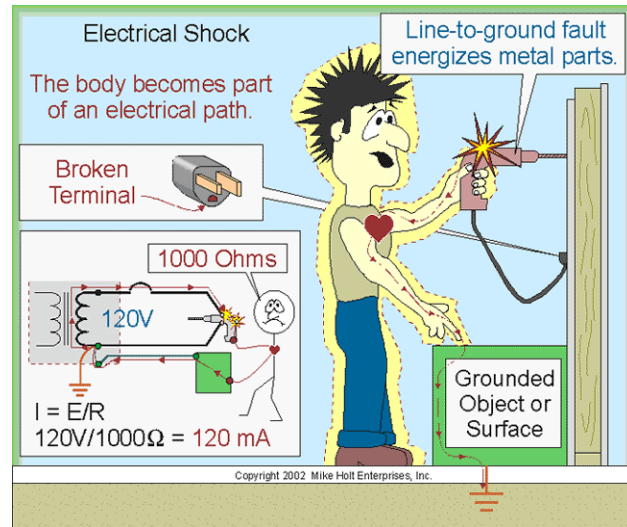
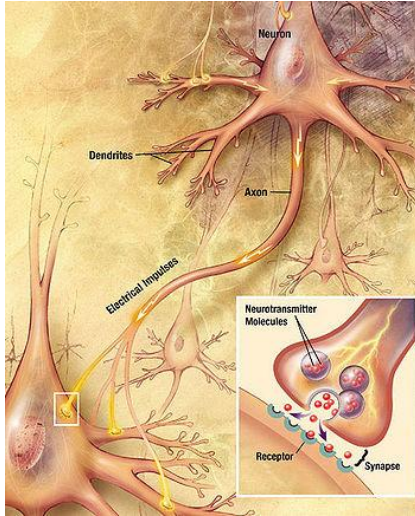


O tipo mais simples (praticamente em desuso) é composto basicamente de um recipiente tipo soquete, em geral de porcelana, cujos terminais são ligados por um fio curto, que derrete quando a corrente que passa por ele atinge determinada intensidade. O chumbo e o estanho são dois metais utilizados para esse fim. O chumbo se funde a 327°C e o estanho, a 232°C . Se a corrente for maior do que aquela que vem especificada no fusível: 10A, 20A, 30A, etc, o seu filamento derrete. Quanto maior for a corrente especificada pelo fabricante, maior a espessura do filamento. Assim, se a espessura do filamento do fusível suporta no máximo uma corrente de 10A e por um motivo qualquer a corrente exceder esse valor, a temperatura atingida pelo filamento será suficiente para derretê-lo, e desta forma a corrente é interrompida.

Os fusíveis se encontram normalmente em dois lugares nas instalações elétricas de uma residência: no quadro de distribuição e junto do relógio medidor. Além disso eles estão presentes no circuito elétrico dos aparelhos eletrônicos, no circuito elétrico do carro, etc. O fusível de cartucho, manufaturado e lacrado em fábrica, consiste de um corpo oco não condutivo, de vidro ou plástico, cujo elemento condutor está ligado interiormente a duas cápsulas de metal, os terminais, localizados nas extremidades.

Efeitos fisiológicos de correntes elétricas

A condução ao longo de uma célula neuronal é um processo basicamente elétrico. Na fibra nervosa (axônio) os impulsos elétricos associados são conduzidos por meio de processos bio-físico-químicos complicados. Se uma corrente elétrica da ordem de 0,1 A passa pelo corpo humano, ela pode ser fatal, pois interferirá em processos nervosos essenciais, como os que ocorrem no coração, provocando parada cardíaca. Se uma corrente de 0,01 A passa pelo braço ou perna, ocorrerá uma ação forte e convulsiva dos músculos com dor aguda, que costumamos chamar de “choque elétrico”.



Uma corrente de 0,02 A provoca paralisia muscular e a pessoa não consegue geralmente largar o condutor energizado (“gruda” no mesmo). Essa mesma corrente, se passar pelo peito, pode provocar fibrilação ventricular, uma grave patologia onde o coração vibra de forma descoordenada sem conseguir bombear o sangue. Curiosamente, correntes superiores a 0,1 A não provocam esse fenômeno, pois o músculo cardíaco fica “preso” numa certa posição. Este é o princípio de funcionamento dos desfibriladores elétricos: o coração pára de bater e há uma chance dele voltar a bater normalmente quando a corrente é interrompida.

Os fluidos corporais são bons condutores devido à presença de íons, mas a resistência elétrica da pele é relativamente elevada, variando de 500 kΩ (pele seca) a 1000 Ω (pele úmida), e dependendo ainda da área de contacto. Nesse último caso, para termos um choque elétrico devido a uma corrente de 0,1 A, a ddp necessária é:

$$V = iR = 0,1 \times 1000 = 100 \text{ V.}$$

Os efeitos fisiológicos perigosos do choque elétrico são (a) interferência com o sistema nervoso, (b) dor provocada pela ação muscular convulsiva, (c) queimaduras produzidas pelo aquecimento (Efeito Joule).