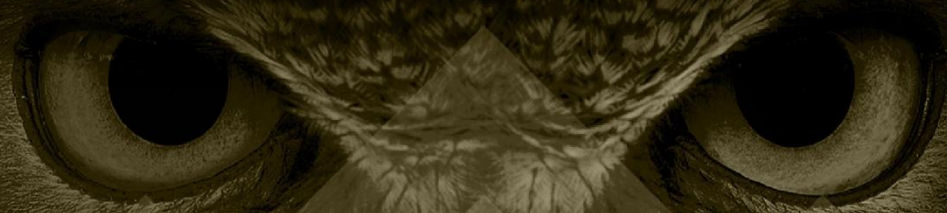


CURSO INTENSIVO 2022



Física

ITA - 2022

**Estudo da corrente elétrica e a
1ª lei de Ohm**

Prof. Toni Burgatto



Sumário

INTRODUÇÃO	3
1. CORRENTE ELÉTRICA	3
1.1. A origem da corrente elétrica	4
1.2. Gerador elétrico	5
1.3. O sentido e a intensidade da corrente elétrica	6
1.4. Gráfico $i \times t$	8
1.4.1. Corrente contínua constante	9
1.4.2. Corrente contínua pulsante	9
1.4.3. Corrente alternada	9
1.5. A velocidade de deriva ou de arraste do elétron	11
1.6. Densidade de corrente (j)	13
1.7. O princípio da continuidade da corrente elétrica	15
1.7.1. Bipolo elétrico	16
1.8. Potência elétrica	17
1.8.1. Valores nominais	18
1.9. Resistência elétrica	19
1.10. A primeira Lei de Ohm	20
1.10.1. Curva característica de um condutor ôhmico	21
1.11. Efeito Joule	22
2. LISTA DE EXERCÍCIOS	23
3. GABARITO SEM COMENTÁRIOS	29
4. LISTA DE EXERCÍCIOS COMENTADA	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	46
7. VERSÃO DE AULA	47

Introdução

Nessa aula iniciaremos o estudo de Eletrodinâmica. Esse tema possui grande incidência em todos os vestibulares. Nesse início, estudaremos apenas os conceitos básicos de corrente elétrica e de resistência elétricas.

Apesar dos temas não apresentarem grande incidência no vestibular do ITA, esses assuntos são básicos para resolução de circuitos, disciplinas que nossas provas adoram.

Fique atento para relacionar o Efeito Joule com Termodinâmica, através da dissipação de potência e aquecimento de líquidos.

Além disso, abordaremos dois tópicos não tão comuns no ensino médio brasileiro: velocidade de deriva dos elétrons livres e densidade de corrente. Estude com calma e será um assunto tranquilo.

Caso tenha alguma dúvida entre em contato conosco através do fórum de dúvidas do Estratégia ou se preferir:



@proftoniburgatto

1. Corrente elétrica

Por definição, corrente elétrica nada mais é que o movimento ordenado, ou seja, o movimento com direção e sentido preferenciais, de **portadores** de carga elétrica.

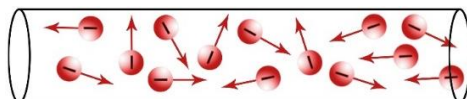


Figura 1: Elétrons livres em movimento não ordenado (caótico).

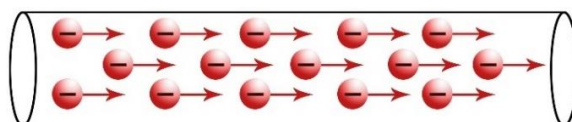


Figura 2: Elétrons livres em movimento ordenado.

Para gerar uma corrente elétrica mensurável num material, é necessário que ele seja condutor elétrico. Vimos em Eletrostática que existem três tipos de condutores:

1. Os metais e a grafite: os portadores móveis de carga são elétrons livres;

2. As soluções eletrolíticas: os portadores móveis são íons positivos e íons negativos:

3. Os gases ionizados: neles os portadores móveis podem ser íons positivos, íons negativos e elétrons livres.

Observação: é possível ocorrer corrente elétrica no vácuo, que não são produzidas por portadores do meio, mas por portadores lançados no meio. Geralmente, há um lançamento de elétrons (raios catódicos), semelhante ao que acontece nos tubos de imagem de televisão antiga (cinescópios) e nos osciloscópios catódicos utilizados em laboratórios.

1.1. A origem da corrente elétrica

Afinal, o que provoca essa movimentação dos portadores de carga nos materiais condutores?

Para melhor compreensão, vamos tomar duas placas metálicas paralelas A e B , de tal forma que elas possuem potenciais V_A e V_B , respectivamente, com $V_A > V_B$, conforme figura abaixo.



Figura 3: Placas A e B carregadas com potenciais V_A e V_B , tal que $V_A > V_B$.

Podemos dizer que o saldo de cargas elétricas positivas em A é maior que em B . Dessa forma, se ligarmos as duas placas por meio de um fio metálico, então os elétrons livres irão se deslocar de B para A , isto é, do menor para o maior potencial elétrico, gerando uma corrente elétrica no fio.

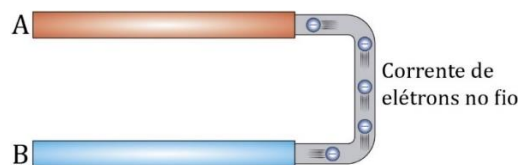


Figura 4: Fluxo da corrente de elétrons no fio que conecta as placas.

Com isso, quando os elétrons livres começam a sair de B , o potencial V_B começa a aumentar e, simultaneamente, quando os elétrons livres chegam em A , o potencial V_A começa a diminuir. Esse movimento dos elétrons livres ocorre até o momento em que os potenciais elétricos em A e em B se igualam. Assim, concluímos que:

A corrente elétrica é provocada por uma **diferença de potencial elétrico** (abreviadamente **ddp**), ou tensão elétrica.

Além da explicação do surgimento da corrente elétrica pela diferença de potencial, podemos justificar esse fenômeno utilizando o conceito de campo elétrico e força elétrica.

Se ligamos um fio condutor entre as placas A e B , um campo elétrico \vec{E} é criado no interior do fio, orientado do maior para o menor potencial, como vimos em eletrostática. Devido ao fato de a carga dos elétrons livres ser negativa, a força elétrica \vec{F}_{el} que surge nelas tem sentido oposto ao campo.

Com isso, os elétrons livres começam a migrar de B para A , gerando a corrente elétrica no fio. Note que **o fio não está em equilíbrio eletrostático**.

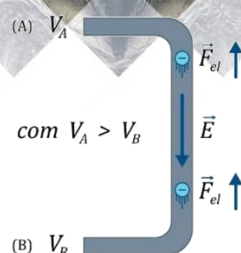


Figura 5: Força elétrica atuando sobre os elétrons livres e campo elétrico no interior do condutor.

Como vimos em Eletrostática, o módulo do campo elétrico está diretamente relacionado com o potencial elétrico. Para um campo uniforme, vimos que a relação é dada por:

$$U = E \cdot d$$

Em que U representa a diferença de potencial. Dessa forma, podemos ver que quando a corrente elétrica cessa, isto é, a diferença de potencial é zero, então o campo elétrico no interior do condutor também será nulo, resultado que já conhecemos, pois neste instante o condutor entra em equilíbrio eletrostático.

1.2. Gerador elétrico

Um gerador elétrico ou fonte elétrica tem por função manter uma diferença de potencial elétrico constante, permitindo, assim, a movimentação contínua e ordenada dos portadores de carga.

Da eletrostática, lembramos que a energia potencial eletrostática (ou elétrica) E_p de uma partícula carregada com carga elétrica q , em uma posição onde o potencial elétrico é de V , é expressa por: $E_p = q \cdot V$.

Em eletrodinâmica, muitas vezes não estamos interessados nos potenciais dos polos do gerador, mas sim na diferença entre esses potenciais, já que é a diferença de potencial que garante a corrente elétrica.

Podemos fazer uma analogia de um gerador elétrico com uma bomba hidráulica. Como vimos na aula 16, a água flui da região de alta pressão para a região de baixa pressão, cessando o movimento quando a diferença de pressão desaparece (os níveis do líquido se igualam).

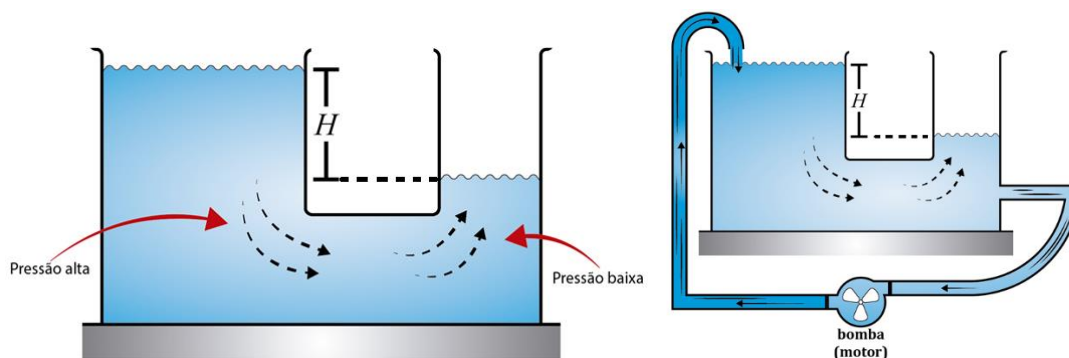


Figura 6: Tanques com água em desnível. Para manter o desnível é necessário uma bomba hidráulica para manter a diferença de pressão.

1.3. O sentido e a intensidade da corrente elétrica

Quando os cientistas conheceram o fenômeno da corrente elétrica no começo do século XIX, eles conheceram também outros fenômenos, como o calor que flui de corpos de maior temperatura para corpos de menor temperatura e o fluxo de água dos rios que é estabelecido das regiões mais altas para as regiões mais baixas.

Dessa forma, eles pensaram que a corrente elétrica surgia da diferença de potencial e deveria ser um fluxo de cargas que se dirige do maior para o menor potencial. As cargas que obedecem a essa lógica são cargas positivas e, por isso, eles concluíram na época que a corrente elétrica era um fluxo de cargas positivas que se moviam do maior para o menor potencial.

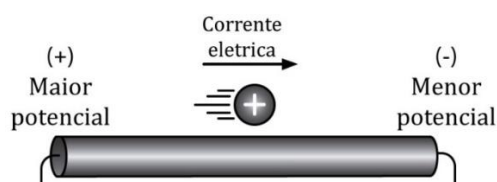


Figura 7: A corrente elétrica se estabelece do maior para o menor potencial, então, trata-se de um fluxo de cargas positivas.

Porém, no início do século XX, com o avanço dos modelos atômicos, logo se descobriu que a corrente elétrica na realidade era um fluxo de elétrons livres. Como já havia passado cerca de 100 anos e já se haviam estabelecidos diversos modelos e aspectos técnicos, que se baseavam na corrente como fluxo de cargas positivas, então, foi convencionado não trocar este sentido. Entretanto, foi criada uma equivalência entre os portadores de carga.

A carga negativa ($-q$) que se move em um sentido deve ser substituída por uma carga positiva ($+q$) em sentido oposto com igual velocidade, e este é um dos aspectos quantitativos relacionados à corrente elétrica.

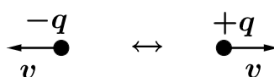


Figura 8: Convenção para movimentação dos portadores de carga na corrente elétrica.

Portanto, devemos considerar que a corrente elétrica em um condutor é o movimento das cargas positivas que se dirigem de maior para o menor potencial.

Tenha em mente que os portadores de carga podem ser elétrons livres, íons positivos e íons negativos. O tipo de portadores de carga dependerá se o condutor é um metal, um líquido ou um gás.

Apesar de considerar que a corrente elétrica vai do maior para o menor potencial em um metal, em seu interior os portadores de carga (elétrons livres) vão do menor potencial para o maior potencial elétrico, como mostrado na figura abaixo:

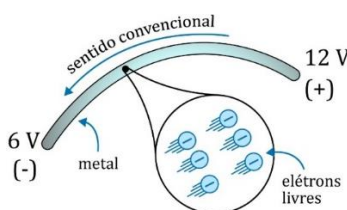


Figura 9: Movimento dos elétrons livres e o sentido convencional da corrente elétrica.

De acordo com a convenção, quando consideramos uma corrente elétrica qualquer, tenderemos a substituir as cargas negativas reais em movimento por cargas positivas imaginárias que se movem em sentido contrário, de tal forma que se pode presumir que qualquer corrente é constituída unicamente por cargas positivas. Essa corrente imaginária que criamos, que equivale a corrente real, é denominada **corrente convencional**.

Para o exemplo de um líquido, os portadores de carga são íons positivos e negativos que se movem em direções opostas. Dessa forma, os íons negativos são substituídos por íons positivos em sentido contrário, estabelecendo o sentido da corrente convencional da corrente.

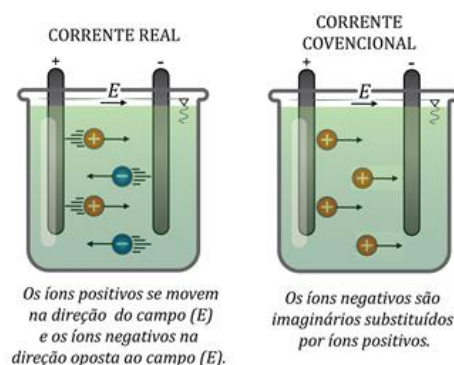


Figura 10: Esquema representativo da corrente iônica em um líquido.

Semelhante aos condutores líquidos, podemos estender a ideia de condução para substâncias gasosas, como por exemplo o que ocorre em tubos fluorescentes.

Os efeitos da corrente elétrica se manifestam em diferentes níveis, com maior ou menor intensidade. Por exemplo, vamos conectar uma lâmpada aos terminais de uma bateria com força eletromotriz \mathcal{E}_1 :

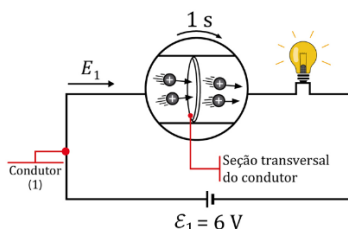


Figura 11: Representação da corrente elétrica (cargas positivas se movendo do maior para o menor potencial). Para uma corrente elétrica de baixa intensidade o brilho é fraco.

Quando aumentamos a força eletromotriz \mathcal{E}_2 , observamos que a lâmpada bilha com mais intensidade.

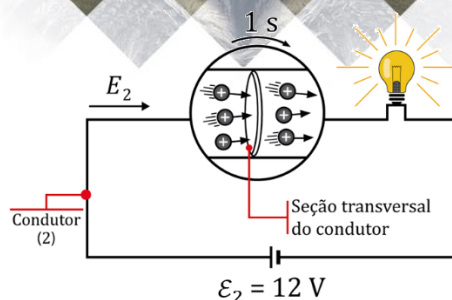


Figura 12: Representação da corrente elétrica (cargas positivas se movendo do maior para o menor potencial). Para uma corrente elétrica de alta intensidade o brilho é maior.

Os experimentos mostram que a intensidade da corrente elétrica depende da carga que atravessa o circuito em 1 segundo. Para os casos mostrados, com $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$, em um mesmo intervalo de tempo (1 segundo) passaram mais portadores de carga pela seção transversal do condutor (2). Portanto, a corrente elétrica no condutor (2) é maior que no condutor (1).

Para medir a corrente elétrica se estabeleceu uma magnitude escalar denominada intensidade de corrente elétrica (i). No caso da corrente ser contínua, sua magnitude mostra a quantidade de carga que atravessa a seção transversal do condutor por unidade de tempo. Matematicamente, temos:

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

Em que $|\Delta Q|$ é o valor da quantidade de carga e Δt é o intervalo de tempo. A unidade de corrente no SI é o ampère (A). Então:

$$1 A = \frac{1 C}{1 s}$$

O que significa $i = 3 A$? Se a corrente é contínua (constante), então significa que passam 3 C de cada pela seção transversal do condutor a cada 1 s.

1.4. Gráfico $i \times t$

Em muitos casos, devemos analisar como a corrente elétrica está variando com o tempo. Podemos ter diversas curvas que representam a intensidade i de uma corrente elétrica qualquer em função do tempo t , como no gráfico abaixo:

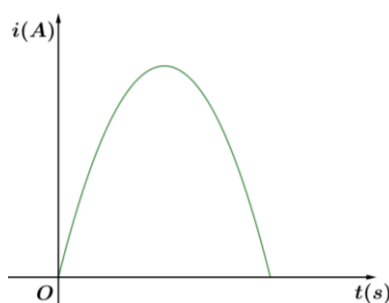


Figura 13: Gráfico de uma corrente elétrica qualquer que atravessa uma seção transversal de um condutor.

Quando representamos a corrente dessa forma, surge uma propriedade muito interessante:

A área compreendida entre a curva e o eixo do tempo, calculada para um intervalo de tempo de interesse, é numericamente igual ao módulo da carga elétrica que atravessou uma secção transversal do condutor.

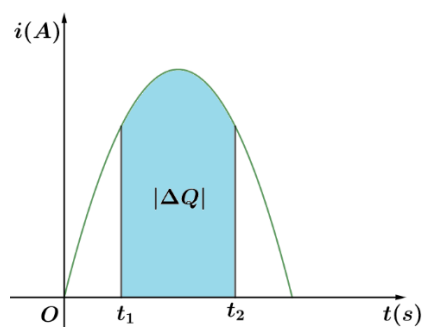


Figura 14: No gráfico $i \times t$, tem-se que $|\Delta Q| = \text{"área"}$.

Podemos classificar as correntes elétricas de acordo com a forma do gráfico $i \times t$.

1.4.1. Corrente contínua constante

Chamamos de corrente contínua constante aquela que mantém sua intensidade e sentido constantes no decorrer do tempo. Graficamente, tem-se que:



Figura 15: Corrente contínua constante.

1.4.2. Corrente contínua pulsante

É aquela cuja intensidade possui máximos e mínimos, periodicamente, embora o sentido permaneça inalterado.

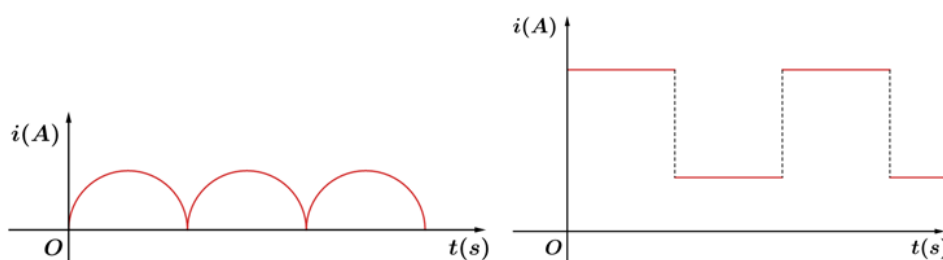


Figura 16: Exemplos de correntes contínuas pulsantes.

1.4.3. Corrente alternada

É aquela cujo sentido é invertido periodicamente.

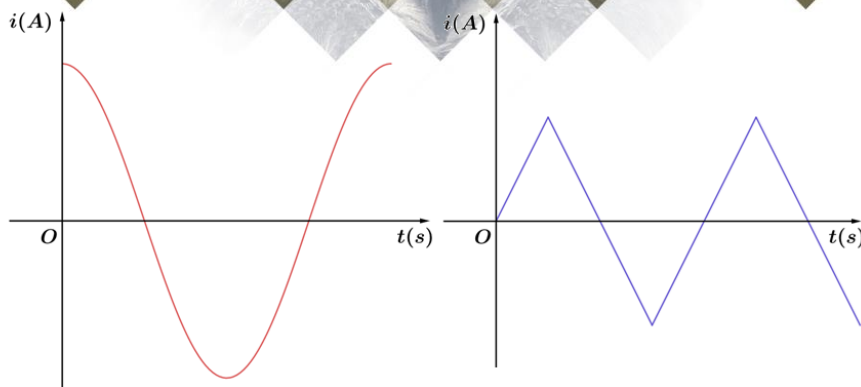
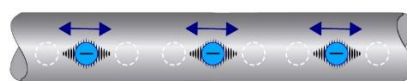


Figura 17: Exemplos de correntes alternadas.

Note que, em um condutor metálico percorrido por corrente contínua, os elétrons livres sempre caminham no mesmo sentido. No caso do condutor ser percorrido por uma corrente alternada, os elétrons livres oscilam em torno de determinadas posições:



Corrente alternante.

Figura 18: Movimento dos elétrons na corrente alternada.

Essa situação ocorre em uma rede elétrica residencial quando algum aparelho é ligado a ela. Provavelmente você deve ter ouvido falar que a rede elétrica no Brasil tem uma frequência de 60 Hz (lê-se sessenta hertz).

Isso quer dizer que, por exemplo, quando você liga uma lâmpada na sua casa, o valor algébrico da corrente estabelecida varia conforme o gráfico da figura abaixo:

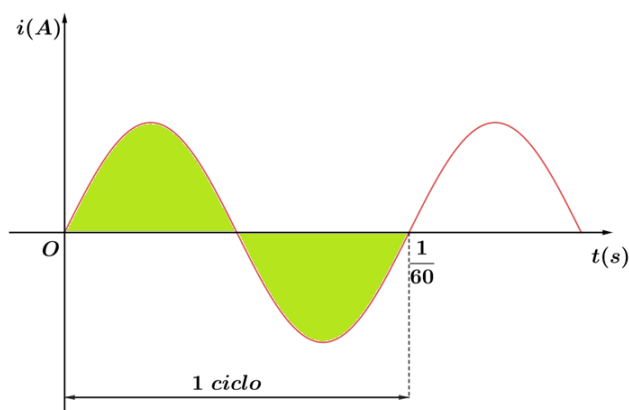


Figura 19: Exemplo gráfico de uma corrente alternada, em que a frequência de oscilação é de 60 Hz.

Perceba que uma variação completa de i demora $1/60$ s. Por isso, dizemos que ocorreram 60 ciclos a cada segundo. Então, a frequência da rede elétrica é igual a 60 ciclos por segundo, em outras palavras, 60 Hz.

1.5. A velocidade de deriva ou de arraste do elétron

Quando apertamos um interruptor de uma lâmpada, o circuito elétrico é fechado e parece que repentinamente a luz começa a brilhar e, por isso, somos levados a pensar que a corrente elétrica é muito rápida.

Entretanto, não é bem assim que acontece. Na verdade, os elétrons livres se encontram em todo filamento do condutor e o campo elétrico da fonte elétrica se estabelece rapidamente no fio, arrastando todos os elétrons livres.

Dessa forma, o campo acelera os elétrons livres em direção paralela as linhas de campo, mas antes de ter uma velocidade considerável, os elétrons se chocam com os íons metálicos que impedem a movimentação dos portadores de carga e parte da energia é transferida para os íons. É por isso que os fios se esquentam quando atravessados por uma corrente elétrica.

Por causa dessa dificuldade de locomoção, a velocidade de deriva dos elétrons é muito pequena. Por exemplo, em um sistema elétrico de um automóvel a velocidade de deriva é próxima de 10^{-4} m/s . Neste ritmo, um elétron levaria cerca de três horas para percorrer um cabo de 1 metro de comprimento.

Quando não há um campo elétrico no interior de um condutor, os elétrons se movimentam livremente de modo aleatório, semelhante as moléculas de um gás em um recipiente. Na temperatura ambiente, os elétrons têm uma rapidez da ordem de 10^6 m/s .

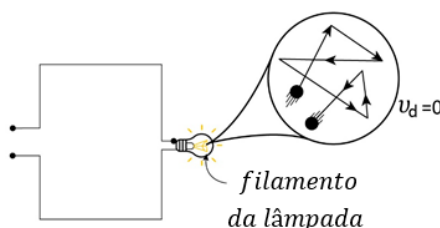


Figura 20: Elétrons em movimento aleatório, pois não há um campo no interior do condutor.

Neste caso, não há corrente elétrica no filamento de luz, já que o movimento dos elétrons é aleatório e não existe um fluxo líquido de cargas em uma direção específica ($v_d = 0$).

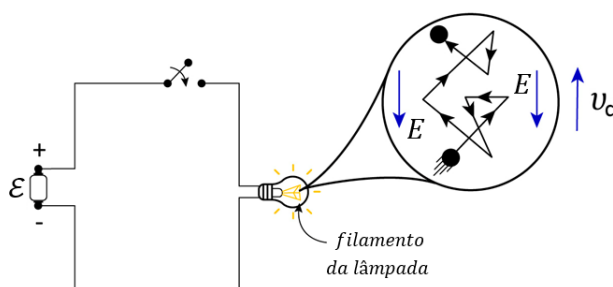


Figura 21: Estabelecimento do campo elétrico no interior do condutor e a velocidade de deriva dos elétrons livres.

Quando se estabelece o campo elétrico no interior do condutor, os elétrons livres são arrastados por esse campo. Entretanto, devido aos choques dos elétrons com os átomos do metal, o movimento resultante é um pouco complicado, gerando um zigue-zague.

Apesar dos choques, os elétrons se movem lentamente ao longo do condutor. Assim, o trabalho feito pelo campo elétrico supera a energia perdida nas colisões e como resultado temos uma corrente elétrica estável.

Vamos relacionar a intensidade da corrente elétrica com o movimento dos portadores de carga. Para ilustrar essa relação, considere um pedaço de um condutor de comprimento L , de área de secção transversal A e de concentração eletrônica (número de elétrons livres por volume) N .

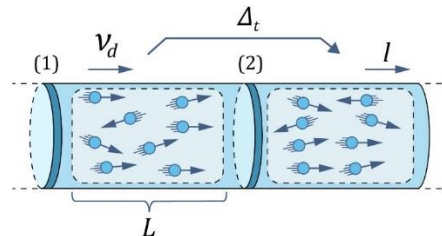


Figura 22: Volume definido em uma região de um condutor onde há movimento ordenado de portadores de carga.

No volume do condutor limitado por 1 e 2, o número de elétrons é dado por:

$$\#elétrons = N \cdot volume = N \cdot (A \cdot L)$$

Então, a quantidade de carga neste volume é de:

$$|Q| = \#elétrons \cdot |q_e| \Rightarrow |Q| = N \cdot A \cdot L \cdot |q_e|$$

Em que $|q_e|$ é o valor da carga elementar. Se as partículas se movem da esquerda para a direita com velocidade média v_d , então após um intervalo de tempo Δt , todas as partículas que existem no volume considerado deverão passar através da secção 2. Então:

$$v_d = \frac{L}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{v_d}$$

A intensidade da corrente elétrica é dada por:

$$i = \frac{|\Delta Q|}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{N \cdot A \cdot L \cdot |q_e|}{\frac{L}{v_d}} \Rightarrow i = N \cdot A \cdot v_d \cdot |q_e|$$

Portanto, a velocidade de deriva dos elétrons é de:

$$v_d = \frac{i}{N \cdot A \cdot |q_e|}$$

Em que:

- i : intensidade de corrente (A);
- $|q_e|$: carga elementar igual a $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
- N : concentração eletrônica (m^{-3}); e
- A : área da secção transversal (m^2).

Se a área da secção transversal é constante, então a corrente elétrica é diretamente proporcional a velocidade de deriva.

ESCLARECENDO!

**1)**

Em um fio de cobre, a intensidade da corrente é de 1 A e a área da secção transversal do condutor é de 10^{-6} m^2 . Além disso, o número de elétrons em um 1 m^3 de cobre é de $8,5 \cdot 10^{28}$. Calcule a velocidade de deriva dos elétrons livres.

Comentários:

A velocidade de deriva é dada por:

$$v_d = \frac{i}{|q_e| \cdot N \cdot A}$$

A concentração eletrônica pode ser calculada por:

$$N = \frac{\text{\#elétrons}}{\text{volume}} = \frac{8,5 \cdot 10^{28}}{1\text{ m}^3} = 8,5 \cdot 10^{28}\text{ m}^{-3}$$

$$\therefore v_d = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,5 \cdot 10^{28} \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \boxed{v_d = 7 \cdot 10^{-5}\text{ m/s}}$$

1.6. Densidade de corrente (\vec{j})

Quando analisamos com mais detalhe o fluxo de cargas, pode haver casos em que o movimento é não uniforme em toda a secção transversal do condutor. Por isso, é necessário caracterizar a magnitude de cargas que atravessa uma determinada área em o fluxo é uniforme. Chamamos essa magnitude de densidade de corrente.

Se o fluxo de cargas é uniforme em toda secção do condutor (corrente contínua), a densidade de corrente é dada por:

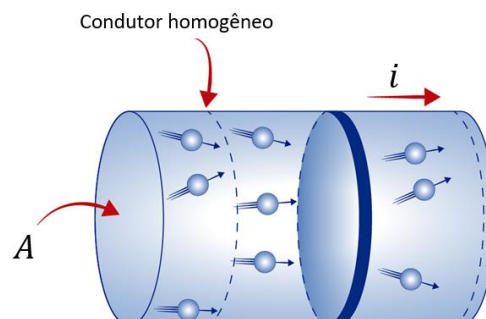


Figura 23: Condutor homogêneo em que a corrente de intensidade i atravessa a secção transversal de área A .

$$j = \frac{i}{A}$$

A unidade de densidade de corrente no SI é A/m^2 . Se o fluxo de cargas pela área da secção transversal do condutor não é uniforme, então devemos tomar uma pequena parte de área (ΔA), de modo que o fluxo de cargas que atravessa ela pode ser considerada uniforme.

Dessa forma, a intensidade de corrente que passa pela área considerada (ΔA) é igual a Δi . Então, a densidade de corrente neste lugar será expressa por:

$$j = \frac{\Delta i}{\Delta A}$$

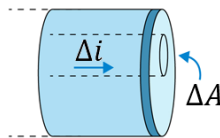


Figura 24: Definição de densidade de corrente para uma pequena área de secção transversal.

Note que para definir a densidade de corrente, além de conhecer a magnitude, devemos saber a direção e o sentido do fluxo de carga na região transversal. Por isso, a densidade de corrente é uma grandeza vetorial cuja direção é definida pelo fluxo líquido das cargas positivas no elemento de área considerado:

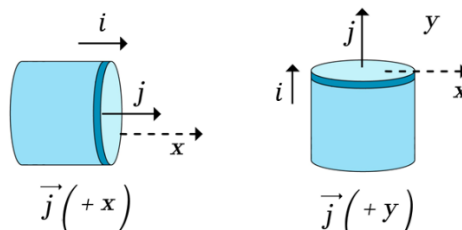
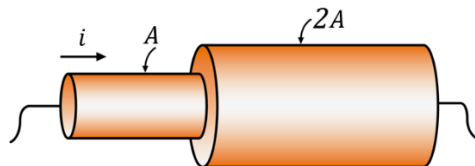


Figura 25: Densidade de corrente é uma grandeza vetorial.



2)

A figura em questão mostra um condutor que altera sua área de secção transversal. Determine a razão j_1/j_2 .



Comentários:

Na primeira parte do condutor, temos:

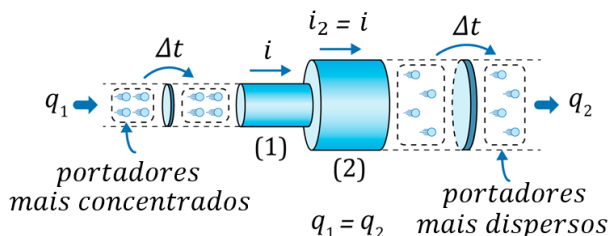
$$j_1 = \frac{i}{A}$$

Na segunda parte, tem-se:

$$j_2 = \frac{i}{2A}$$

Não sabemos quanto é i_2 . Assim, devemos ter em mente que a carga que flui pelo condutor não se acumula em nenhuma parte do condutor. Logo, não há acúmulo nem perda de cargas quando elas atravessam o condutor.

Portanto, a quantidade de carga que entra na primeira parte do condutor é igual a quantidade de carga que entra na outra região do condutor ($q_1 = q_2$) em um mesmo intervalo de tempo. Tal fato também é conhecido como conservação da carga elétrica. Então, podemos afirmar que $i = i_2$. Esquemáticamente, temos:



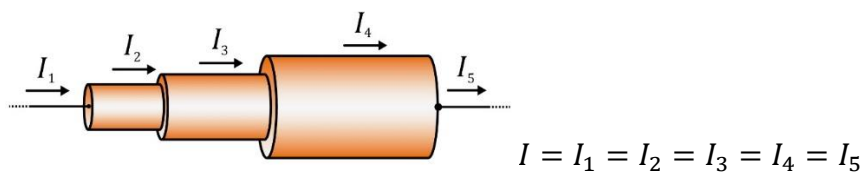
Portanto:

$$\frac{j_1}{j_2} = \frac{\frac{i}{A}}{\frac{i}{2A}} \Rightarrow \boxed{\frac{j_1}{j_2} = 2}$$

Ou seja, $j_1 > j_2$.

Este resultado nos mostra que a quantidade de carga que flui se encontra mais concentrada (maior densidade de corrente) na região onde secção transversal é menor (primeira parte do condutor). Na segunda parte, as partículas se encontram mais dispersas (menor a densidade de corrente), mas a quantidade de carga que atravessa a secção transversal em cada parte do conduto, para um mesmo intervalo de tempo, é a mesma.

Observação: de um modo geral, se um condutor apresenta secções transversais de diferentes áreas, em cada trecho do condutor, as intensidades de correntes são iguais, alterando apenas a densidade de corrente:



1.7. O princípio da continuidade da corrente elétrica

Como vimos anteriormente no tópico sobre densidade de corrente, ainda que o condutor tenha seção transversal variável, a corrente que atravessa ele é a mesma.

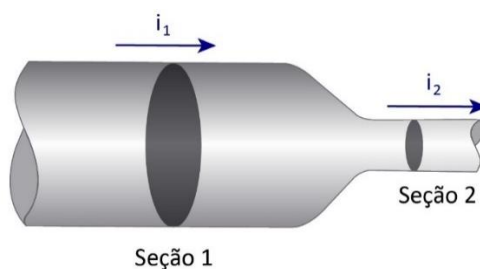


Figura 26: Secção de área transversal variável.

Consequentemente, caso o caminho da corrente elétrica sofra uma fragmentação, a soma das correntes em cada “galho” será igual à corrente total antes da ramificação.

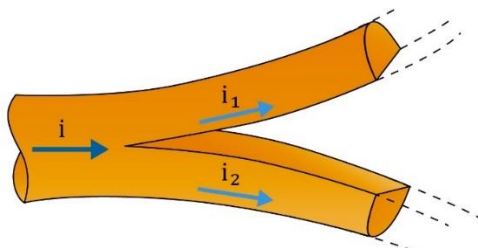


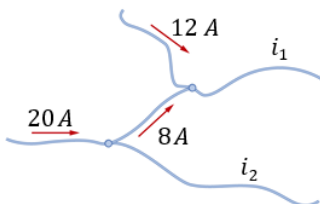
Figura 27: Ramificação da corrente de acordo com a divisão sofrida pelo condutor.

ESCLARECENDO!



3)

A figura ilustra fios de cobre interligados:



Determine os valores de i_1 e i_2 :

Comentários:

Pelo princípio da continuidade da corrente elétrica, temos:

$$\begin{cases} 12 + 8 = i_1 \\ 20 = 8 + i_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i_1 = 20 \text{ A} \\ i_2 = 12 \text{ A} \end{cases}$$

1.7.1. Bipolo elétrico

Um bipolo elétrico é qualquer dispositivo que contenha dois terminais elétricos que são capazes de ser ligados a um circuito elétrico. Se o bipolo está inserido em um circuito, a corrente elétrica entra por um dos seus terminais e sai pelo outro.

De um modo geral, um bipolo pode consumir ou fornecer energia a um circuito elétrico. Alguns exemplos de bipolos são: resistores, lâmpadas, geradores, ferro de passar roupa, entre outros.

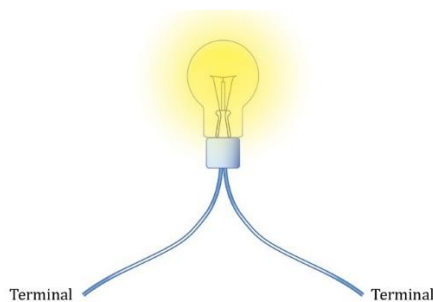


Figura 28: Lâmpada ligada acesa, exemplo de bipolo elétrico.

1.8. Potência elétrica

Para melhor entendimento do conceito de potência elétrica, vamos tomar uma lâmpada incandescente, um bipolo elétrico submetido a uma diferença de potencial constante U fornecida por uma pilha, sendo percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i , como na figura abaixo:

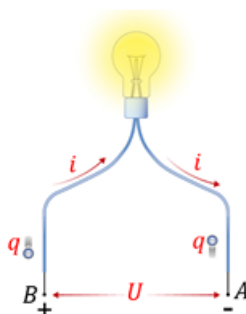


Figura 29: Corrente elétrica, movimento dos elétrons e diferença de potencial no bipolo elétrico.

Durante um intervalo de tempo Δt , a lâmpada ganha uma quantidade de energia térmica ΔE , que é igual à energia potencial elétrica perdida por uma carga q que passou pelo bipolo. Então, a potência recebida pelo dispositivo é de:

$$Pot = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Como já vimos, a unidade de potência no SI é o **watt** (símbolo: W) e vale a equivalência:

$$1 W = 1 J/s$$

Em outras palavras, se uma lâmpada trabalha com uma potência de 40 W, por exemplo, significa que ela recebe 40 J de energia a cada segundo.

Olhando novamente para a lâmpada da figura 31, note que a energia recebida pela lâmpada, no intervalo de tempo Δt considerado, é justamente a variação da energia potencial elétrica que a carga q sofreu ao ir de A para B:

$$\Delta E = E_{PA} - E_{PB}$$

Como vimos em Eletrostática, a energia potencial elétrica é expressa por:

$$E_P = q \cdot V$$

Portanto:

$$\Delta E = q \cdot V_A - q \cdot V_B = q \cdot (V_A - V_B)$$

Perceba que $q < 0$ e $V_A - V_B < 0$, então, $q \cdot (V_A - V_B) > 0$. Então, podemos reescrever a variação da energia como:

$$\Delta E = |q| \cdot |V_A - V_B|$$

Em que iremos chamar de U o módulo da diferença de potencial entre os pontos A e B ($U = |V_A - V_B|$). Portanto, ΔE pode ser escrita por:

$$\Delta E = |q| \cdot U$$

Lembre-se que na eletrodinâmica muitas vezes é mais interessante conhecer a diferença de potencial do que conhecer o potencial em cada ponto.

Pela definição de potência ($Pot = \frac{\Delta E}{\Delta t}$) e de corrente ($i = \frac{|q|}{\Delta t}$), então:

$$Pot = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{|q| \cdot U}{\Delta t} = \frac{|q|}{\Delta t} \cdot U \therefore \boxed{Pot = i \cdot U}$$

1.8.1. Valores nominais

É muito comum os bipolos elétricos especificarem seus **valores nominais** de potência e de tensão. A **potência nominal** é a potência elétrica consumida pelo dispositivo quando submetido à **tensão nominal**, que é a tensão da rede elétrica para a qual o aparelho foi fabricado.

Por exemplo, uma lâmpada de 60 W – 110 V. Esses são os valores nominais informados ao usuário, mostrando que a lâmpada trabalha com a potência igual a 60 W, quando submetida a uma ddp igual a 110 V.

Se essa lâmpada for ligada a uma tensão superior a nominal, ela dissipará uma potência maior e brilhará mais intensamente, mas sua vida útil será reduzida. Por outro lado, se a lâmpada for ligada a uma tensão inferior a nominal, a potência dissipada será menor e o seu brilho menos intenso.

Os valores nominais dos dispositivos elétricos são de extrema importância para projetar uma instalação elétrica. Para garantir a segurança do edifício, utilizamos um dispositivo chamado de **disjuntor**, que é responsável por garantir que os bipolos elétricos não queimem.

Afinal, o que significa os 220 volts ou os 110 volts em sua casa? Como já mencionamos, a corrente elétrica que chega em sua residência é alternada e possui frequência igual a 60 Hz. Isso provém do fato da diferença de potencial U ($U = V_A - V_B$) entre os terminais de sua tomada também ser alternada.



Figura 30: Representação de uma tomada simples.

Graficamente, temos que U em função do tempo, para uma tomada de 220 volts, deve variar, aproximadamente, da seguinte forma:

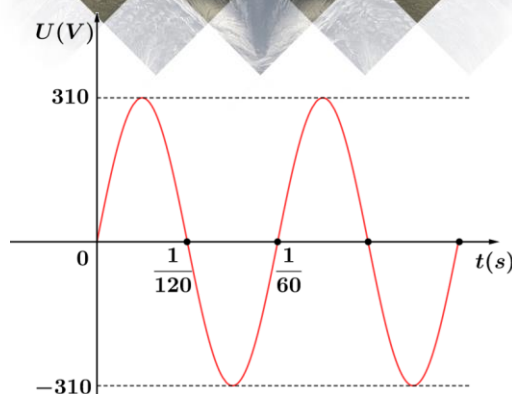


Figura 31: Gráfico de distribuição da rede de tensão alternada de 220 V pelo tempo.

Isso quer dizer que nos primeiros $1/120$ s, V_A é maior que V_B e $U > 0$. Nos próximos $1/120$ s, V_A será menor que V_B e $U < 0$. Mas por que os valores de máximos da ddp U são -310 V e $+310$ V (aproximadamente), se nossa tomada é de 220 V?

Na realidade os 220 V não existem. Eles são apenas uma tensão constante e fictícia que chamamos de **tensão eficaz**, na qual o seu aparelho elétrico produziria o mesmo efeito se estivesse trabalhando na **tensão real**, que varia entre -310 V e $+310$ V. Também chamamos a tensão real de tensão de pico.

A tensão eficaz é calculada como o valor quadrático médio da tensão de pico e elas estão relacionadas pela seguinte expressão:

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

Note que:

$$V_{ef} = \frac{310}{\sqrt{2}} \cong 219,2 \text{ V}$$

Vale lembrar que em uma transmissão elétrica ocorre diversas perdas e trata-se de um sistema bem mais complexo que o visto aqui.

De modo análogo, em uma tomada de 110 V, a ddp real varia entre -155 V e $+155$ V, aproximadamente.

1.9. Resistência elétrica

Quando um condutor é submetido a uma tensão elétrica U , ele é percorrido por uma corrente elétrica i . Define-se resistência elétrica como o quociente:

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

A unidade de medida dessa grandeza física escalar no SI é o ohm (símbolo: Ω).

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

Note que um condutor não precisa apresentar R constante necessariamente, isto é, a sua resistência pode variar com a corrente, temperatura, geometria do condutor etc. Assim, é muito importante conhecer a **curva característica** $U \times i$:

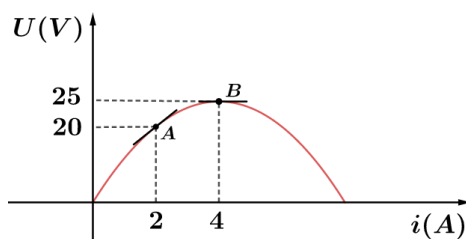


Figura 32: Gráfico da curva característica de um bipolo qualquer.

De acordo com a definição de resistência, vemos que ela é diretamente proporcional à ddp e inversamente proporcional à corrente. Para determinar a resistência elétrica em cada ponto da curva, devemos aplicar a definição de resistência, efetuando a divisão U/i no ponto desejado. Por exemplo, para os pontos A e B da curva característica logo acima, temos:

$$\begin{cases} R_A = \frac{20}{2} = 10 \, \Omega \\ R_B = \frac{25}{4} = 6,25 \, \Omega \end{cases}$$

1.10. A primeira Lei de Ohm

Vamos tomar um pedaço de um fio condutor e submetê-lo a uma diferença de potencial de valor crescente e muito bem conhecida. Mantendo a temperatura constante, medimos a intensidade da corrente elétrica que passa pelo condutor.

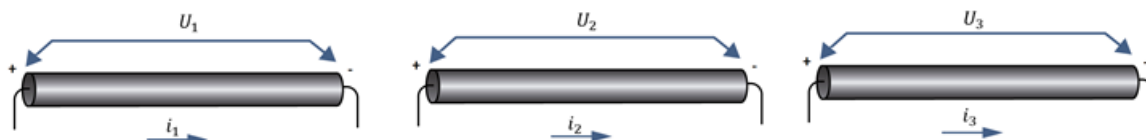


Figura 33: Fio condutor percorrido por corrente.

Note que quando aumentamos a diferença de potencial U , também aumentamos a intensidade do campo elétrico gerado no interior do condutor. Por isso, os elétrons alcançam velocidades maiores.

Dessa forma, experimentalmente, temos:

$$\frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \frac{U_3}{i_3} = \dots = \text{constante}$$

Como podemos ver, a corrente elétrica que atravessa o dispositivo é diretamente proporcional a tensão aplicada entre os seus terminais.

Quando é válida a proporcionalidade entre U e i , caso dos metais, eles são chamados de **condutores ôhmicos**, e a expressão $\frac{U}{i} = R$, com R constante em uma temperatura inalterada é denominada **Primeira Lei de Ohm**, graças aos trabalhos do físico alemão Georg Simon Ohm (1787 – 1854). Podemos enunciar essa lei da seguinte maneira:

Em um condutor ôhmico, quando mantido a uma determinada temperatura constante, a intensidade da corrente elétrica (i) é diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada (U) entre seus terminais:

$$\frac{U}{i} = R \Rightarrow U = R \cdot i$$

Em outras palavras, condutores ôhmicos são aqueles que apresentam resistência constante, a uma temperatura constante.

Não confunda resistores ôhmicos com a definição de resistência elétrica. Condutores que não obedecem à Primeira Lei de Ohm são ditos condutores não ôhmicos, entretanto, conhecendo a curva característica $U \times i$ do dispositivo, podemos determinar a resistência elétrica em cada ponto de interesse.

O símbolo de resistência elétrica em esquemas de circuitos elétricos é:



Figura 34: Simbologia de resistência elétrica em circuitos.

Os fatores que ocasionam e influenciam na resistência elétrica serão abordados na Segunda Lei de Ohm, assunto da próxima aula. Como já demos um pequeno *spoiler*, um dos fatores é a temperatura. É por isso que enunciamos a Primeira Lei de Ohm considerando que a temperatura era constante.

1.10.1. Curva característica de um condutor ôhmico

Como vimos, em um condutor ôhmico mantido à temperatura constante, a resistência elétrica é constante. Dessa forma, se plotarmos um gráfico da tensão pela corrente, temos:

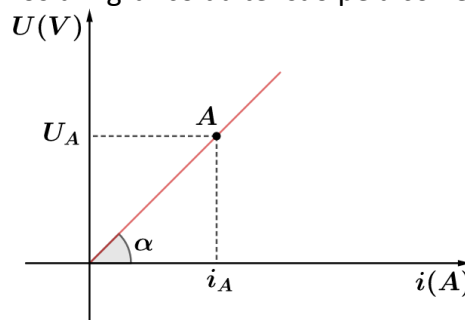


Figura 35: Gráfico da tensão pela corrente elétrica no condutor ôhmico.

Note que a resistência independe da tensão aplicada nos terminais do condutor ou da corrente que o atravessa. Ela só depende da temperatura que no nosso caso foi considerada constante. Algumas propriedades que você deve gravar da curva característica de um condutor ôhmico:

- É sempre uma reta, que necessariamente passa pela origem dos eixos.
- $0 < \alpha < 90^\circ$.
- $R = \text{constante} = \frac{U_A}{i_A} = \text{ao valor da tangente de } \alpha$.

É comum aparecer os múltiplos da unidade ohm:

- $k\Omega = 10^3 \Omega$ (quiloohm).
- $M\Omega = 10^6 \Omega$ (megaohm).

Às vezes, também utilizamos o submúltiplo $m\Omega$ (miliohm), que é igual a $10^{-3} \Omega$.

Como mencionamos, a resistência elétrica é definida como $R = \frac{U}{i}$, mesmo para não ôhmicos. Mas o quociente $\frac{U}{i}$ não será mais uma constante, ainda que a temperatura seja mantida constante. Como vimos, para cada ponto teremos uma resistência elétrica diferente. Podemos exemplificar um condutor não ôhmico através do gráfico de um diodo, um semiconductor que possui grande importância na conversão de corrente alternada em corrente contínua.

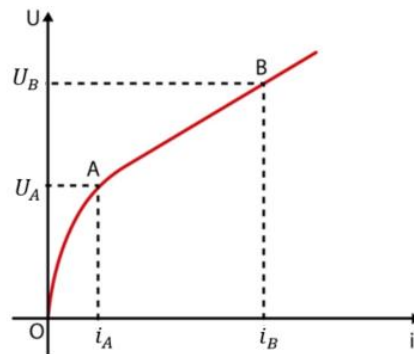


Figura 36: Curva característica $U \times i$ de um diodo.

Nas duas condições A e B, a resistência elétrica é dada por:

$$R_A = \frac{U_A}{i_A} \text{ e } R_B = \frac{U_B}{i_B}$$

Nunca calcule a tangente no ponto A e no ponto B para determinar a resistência elétricas nesses pontos.

Chamamos de **condutância elétrica** de um condutor, representada pela letra G , o inverso da resistência elétrica:

$$G = \frac{1}{R}$$

A unidade de condutância elétrica no SI é o **siemens** (símbolo: S):

$$1 S = \frac{1}{\Omega} = 1 \Omega^{-1}$$

1.11. Efeito Joule

Como já vimos, quando um fio condutor é submetido a uma diferença de potencial, um campo elétrico se estabelece no interior dele. Com isso, os elétrons são acelerados de tal maneira que eles ganham velocidade no sentido do campo.

Entretanto, logo em seguida, esses elétrons colidem com átomos do metal e perdem velocidade. Como ainda há campo elétrico, os elétrons livres ganham novamente velocidade naquele sentido, permitindo que eles colidam novamente com outros átomos, e assim sucessivamente.

Dessa forma, o condutor permite que os elétrons livres se movam em seu interior, mas impõe uma grande resistência a esse movimento. É como se você estivesse em um show de rock, no meio do pessoal e desejasse ir comprar uma bebida. Naturalmente, você (elétron) esbarraria em diversas pessoas (átomos do metal), teria seu movimento dificultado por elas, mas a cada instante estaria mais próxima de comprar sua bebida.

Quando os elétrons livres se chocam com os átomos do metal, os átomos passam a oscilar com amplitudes maiores, o que acarreta a elevação da temperatura do fio.

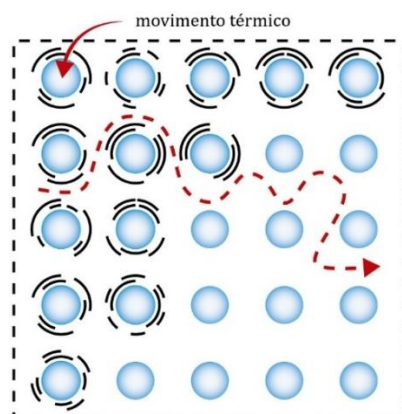


Figura 37: Representação do movimento térmico devido aos choques dos elétrons.

Como já vimos no cálculo da velocidade de deriva, o movimento da nuvem de elétrons é tão dificultado pela presença dos átomos que a ordem de grandeza da velocidade de deriva é de 10^{-4} m/s .

Essa velocidade é atingida quase que instantaneamente após a ligação do fio a um gerador elétrico e se mantém estável. Assim, toda energia potencial elétrica perdida pelos elétrons durante as colisões é convertida em energia térmica. É comum dizer que **a energia potencial elétrica é dissipada no condutor**. Esse fenômeno de transformação da energia potencial elétrica em energia térmica recebe o nome de **Efeito Joule**.

Vale lembrar que o movimento dos elétrons é bem lento, mas se inicia quase instantaneamente em todos os pontos do condutor, porque a velocidade de propagação do campo elétrico é muito alta, próxima a velocidade da luz (veremos mais sobre isso futuramente em magnetismo).



2. Lista de exercícios

1.

Considere as seguintes afirmativas a respeito de um segmento AB de um fio metálico por onde passa uma corrente elétrica contínua e constante.

- I. a corrente elétrica em AB é um fluxo de elétrons.
- II. a carga elétrica total de AB é nula.
- III. há uma diferença de potencial elétrico entre os extremos de AB.

Quais destas afirmativas são verdadeiras?

- a) somente I
- b) somente II
- c) somente III
- d) somente I e II
- e) I, II e III

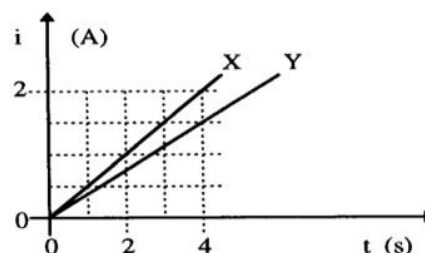
2.

Mediante estímulo, $2 \cdot 10^5$ íons de K^+ atravessam a membrana de uma célula nervosa em 1,0 milissegundo. Calcule a intensidade dessa corrente elétrica, sabendo-se que a carga elementar é $1,6 \cdot 10^{-19} C$.

3.

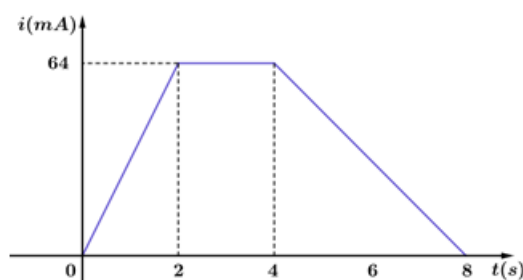
O gráfico representa a intensidade de corrente elétrica i em função do tempo t em dois condutores, X e Y. Sendo q_x e q_y as cargas elétricas que, durante os quatro primeiros segundos, passam respectivamente por uma seção transversal dos condutores X e Y, qual a diferença $q_x - q_y$?

- a) 1 C
- b) 2 C
- c) 3 C
- d) 6 C
- e) 8 C



4. (IME)

A intensidade da corrente elétrica em um condutor metálico varia, com o tempo, de acordo com o gráfico a seguir.



Sendo o módulo da carga elementar $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$, determine:

- a) a carga elétrica que atravessa uma seção do condutor em 8 s
- b) o número de elétrons que atravessa uma seção do condutor durante esse mesmo tempo
- c) a intensidade média da corrente entre os instantes 0 s e 8 s

5. (AFA-2001)

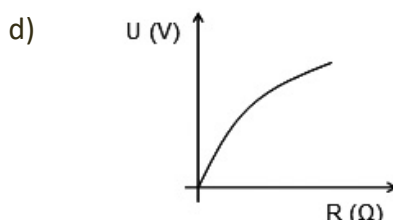
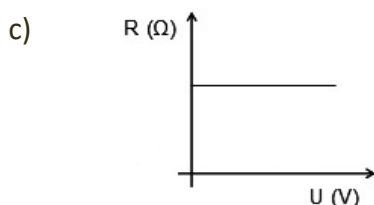
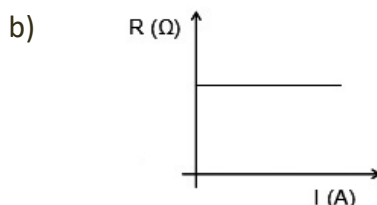
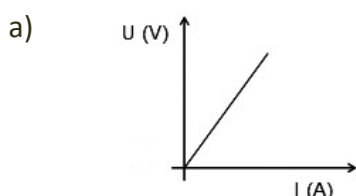
Uma pequena esfera condutora, isolada eletricamente, é carregada com uma quantidade de carga Q . Em seguida essa esfera é aterrada através de um resistor de $0,25 \Omega$. A carga da esfera é

descarregada em $0,5\text{ s}$ através da resistência, que dissipa uma potência de $0,5\text{ W}$. A carga Q , em coulombs, vale

- a) 2 b) 4 c) $\sqrt{2}$ d) $\sqrt{2}/2$

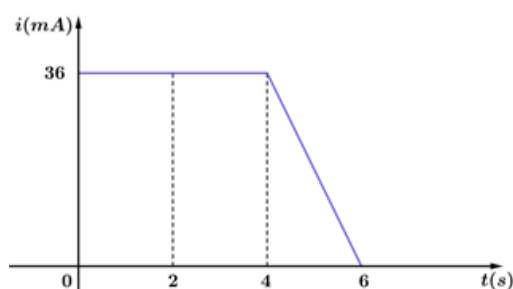
6.

Aplica-se uma diferença de potencial aos terminais de um resistor que obedece à Lei de Ohm. Sendo U a diferença de potencial, R a resistência do resistor e I a corrente elétrica, qual dos gráficos abaixo não representa o comportamento deste resistor?



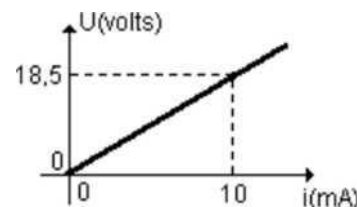
7.

O gráfico abaixo mostra como a corrente elétrica, no interior de um condutor metálico, varia com o tempo. Determine a carga elétrica que atravessa uma seção do condutor em 6 (seis) segundos?



8.

O gráfico das diferenças de potencial nos extremos de um dispositivo elétrico, em função das intensidades de corrente, foi o seguinte:



- a) Qual o tipo de dispositivo elétrico em questão?
b) Qual a resistência elétrica desse dispositivo quando percorrido por uma corrente de intensidade $2,0 \cdot 10^{-3}\text{ A}$?

9.

A bateria de um carro, de fem de 12 V , é usada para acionar um rádio de 12 V , que necessita de 2 A para o seu funcionamento, e para manter acesas duas lâmpadas de farol de 12 V e 48 W cada uma.

- a) Qual a intensidade de corrente elétrica fornecida pela bateria para alimentar o rádio e as duas lâmpadas?

b) Qual a carga, em coulombs, perdida pela bateria em uma hora?

10.

Com o objetivo de criar novas partículas, a partir de colisões entre prótons, está sendo desenvolvido, no CERN (Centro Europeu de Pesquisas Nucleares), um grande acelerador (LHC). Nele, através de um conjunto de imãs, feixes de prótons são mantidos em órbita circular, com velocidades muito próximas à velocidade c da luz no vácuo. Os feixes percorrem longos tubos, que juntos formam uma circunferência de 27 km de comprimento, onde é feito vácuo. Um desses feixes contém $N = 3,0 \cdot 10^{14}$ prótons, distribuídos uniformemente ao longo dos tubos, e cada próton tem uma energia cinética E de $7,0 \cdot 10^{12} \text{ eV}$. Os prótons repassam inúmeras vezes por cada ponto de sua órbita, estabelecendo, dessa forma, uma corrente elétrica no interior dos tubos. Analisando a operação desse sistema, estime:

a) A energia cinética total E_c , em joules, do conjunto de prótons contidos no feixe.

b) A velocidade V , em km/h, de um trem de 400 toneladas que teria uma energia cinética equivalente à energia do conjunto de prótons contidos no feixe.

c) A corrente elétrica I , em ampères, que os prótons em movimento estabelecem no interior do tubo onde há vácuo.

NOTE E ADOTE:

$q = \text{Carga elétrica de um próton} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

$c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$1 \text{ elétron-volt} = 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

ATENÇÃO! Não utilize expressões envolvendo a massa do próton, pois, como os prótons estão a velocidades próximas à da luz, os resultados seriam incorretos.

11.

Medidas elétricas indicam que a superfície terrestre tem carga elétrica total negativa de, aproximadamente, 600.000 coulombs. Em tempestades, raios de cargas positivas, embora raros, podem atingir a superfície terrestre. A corrente elétrica desses raios pode atingir valores de até 300.000 A. Que fração da carga elétrica total da Terra poderia ser compensada por um raio de 300.000 A e com duração de 0,5 s?

a) 1/2

b) 1/3

c) 1/4

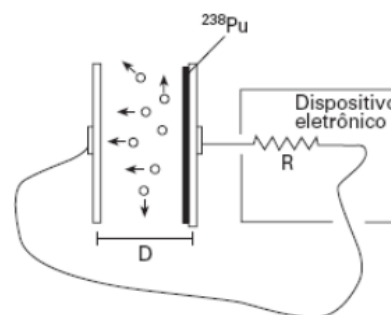
d) 1/10

e) 1/20

12.

O plutônio (^{238}Pu) é usado para a produção direta de energia elétrica em veículos espaciais. Isso é realizado em um gerador que possui duas placas metálicas, paralelas, isoladas e separadas por uma pequena distância D . Sobre uma das placas deposita-se uma fina camada de ^{238}Pu , que produz $5 \cdot 10^{14}$ desintegrações por segundo.

O ^{238}Pu se desintegra, liberando partículas alfa, 1/4 das quais alcança a outra placa, onde são absorvidas. Nesse processo, as partículas alfa transportam uma carga positiva Q e deixam uma carga $-Q$ na placa de onde saíram, gerando uma corrente elétrica entre as placas, usada para alimentar um dispositivo eletrônico, que se comporta como uma resistência elétrica $R = 3,0 \cdot 10^9 \Omega$. Estime



- a) a corrente I , em ampères, que se estabelece entre as placas.
- b) a diferença de potencial V , em volts, que se estabelece entre as placas.
- c) a potência elétrica P_E , em *watts*, fornecida ao dispositivo eletrônico nessas condições.

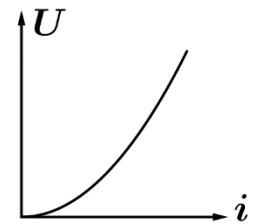
NOTE E ADOTE

O ^{238}Pu é um elemento radioativo, que decai naturalmente, emitindo uma partícula alfa (núcleo de 4He).

Carga Q da partícula alfa = $2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

13.

O gráfico a seguir mostra como varia a tensão elétrica em um resistor mantido a uma temperatura constante em função da corrente elétrica que passa por esse resistor.

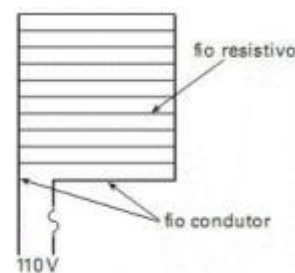
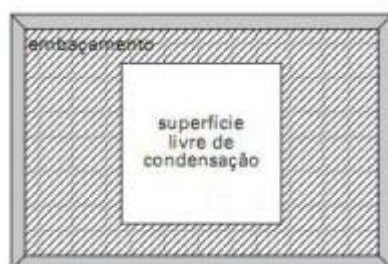


Com base nas informações contidas no gráfico, é correto afirmar que:

- a) a corrente elétrica no resistor é diretamente proporcional à tensão elétrica.
- b) a resistência elétrica do resistor aumenta quando a corrente elétrica aumenta.
- c) a resistência do resistor tem o mesmo valor qualquer que seja a tensão elétrica.
- d) dobrando-se a corrente elétrica através do resistor, a potência elétrica consumida quadruplica.
- e) o resistor é feito de um material que obedece a Lei de Ohm.

14.

Semelhante ao desembaçador de vidros de um carro, existe no mercado um desembaçador especial para espelhos de banheiro, frequentemente embaçados pela condensação do vapor de água que preenche o ambiente após um banho. A ideia do dispositivo é secar uma área do espelho para que esse possa ser utilizado mesmo após ter sido usado o chuveiro.



Suponha que a resistência elétrica não sofra alteração significativa de seu valor com a mudança de temperatura.

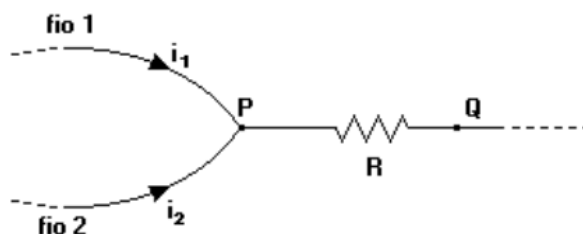
- a) Atrás do espelho, colado sobre o vidro, encontra-se o circuito esquematizado, originalmente construído para ser utilizado sob uma diferença de potencial de 110 V . Determine o que ocorrerá com a corrente elétrica se o desembaçador for ligado a uma diferença de potencial de 220 V .
- b) Determine o novo valor da potência dissipada, supondo que dois dos fios resistivos tenham sido rompidos durante a montagem do espelho e que o desembaçador não danificado dissipe 40 W quando ligado em 110 V .

15.

Um resistor de resistência R está inserido entre os pontos P e Q de um circuito elétrico, como mostra a figura adiante.

Se as correntes que passam pelos fios 1 e 2, que chegam a P , são, respectivamente, i_1 e i_2 , a diferença de potencial entre P e Q será igual a:

- a) $(i_1 + i_2)/R$
- b) $(i_1 + i_2)R/(i_1 \cdot i_2)$
- c) $R/(i_1 + i_2)$
- d) $(i_1 \cdot i_2)R/(i_1 + i_2)$
- e) $R(i_1 + i_2)$



16. (ITA – 1997)

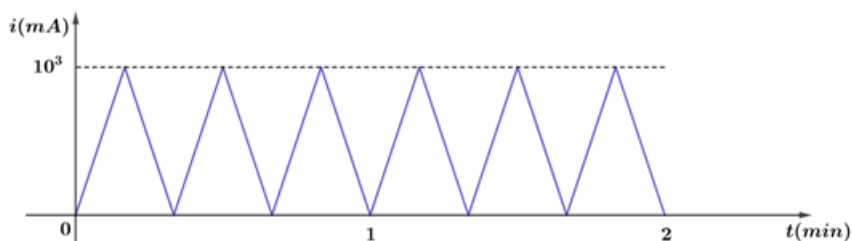
A casa de um certo professor de Física do ITA, em São José dos Campos, tem dois chuveiros elétricos que consomem $4,5 \text{ kW}$ cada um. Ele quer trocar o disjuntor geral da caixa de força por um que permita o funcionamento dos dois chuveiros simultaneamente com um aquecedor elétrico ($1,2 \text{ kW}$), um ferro elétrico ($1,1 \text{ kW}$) e 7 lâmpadas comuns (incandescentes) de 100 W .

Disjuntores são classificados pela corrente máxima que permitem passar. Considerando que a tensão da cidade seja de 220 V , o disjuntor de menor corrente máxima que permitirá o consumo desejado é então de:

- a) 30 A
- b) 40 A
- c) 50 A
- d) 60 A
- e) 80 A

17.

No interior de um condutor homogêneo, a intensidade de corrente elétrica varia com o tempo, como mostra o diagrama abaixo.

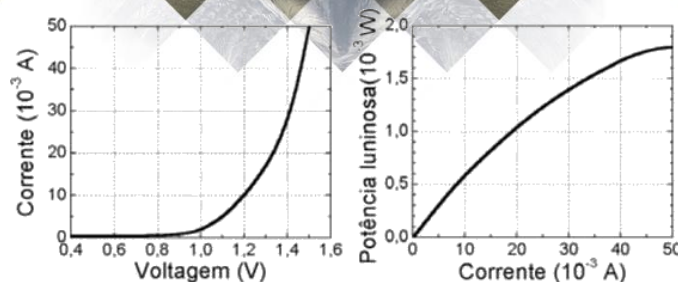


Pode-se afirmar que o valor médio da intensidade de corrente, entre os instantes 1 min e 2 min , é de:

- a) $\frac{1}{6} \text{ A}$
- b) $\frac{10^3}{6} \text{ A}$
- c) 500 A
- d) $0,5 \text{ A}$
- e) $0,05 \text{ A}$

18.

Um LED (do inglês Light Emiting Diode) é um dispositivo semicondutor para emitir luz. Sua potência depende da corrente elétrica que passa através desse dispositivo, controlada pela voltagem aplicada. Os gráficos abaixo representam as características operacionais de um LED com comprimento de onda na região do infravermelho, usado em controles remotos.



- a) Qual é a potência elétrica do diodo, quando uma tensão de 1,2 V é aplicada?
- b) Qual é a potência de saída (potência elétrica transformada em luz) para essa voltagem? Qual é a eficiência do dispositivo?
- c) Qual é a eficiência do dispositivo sob uma tensão de 1,5 V?

19.

Dentre as medidas de emergência para contenção do consumo de energia elétrica, o governo cogitou reduzir de 5% o valor atual da tensão da rede. Considerando que, para uma alteração dessa ordem, a resistência de uma lâmpada de filamento pode ser considerada constante, determine a porcentagem de redução que esta providência traria

- a) no valor da corrente que passa pela lâmpada e
- b) no valor da potência dissipada pela lâmpada.

20. (ITA)

Mediante chave seletora, um chuveiro elétrico tem a sua resistência graduada para dissipar 4,0 kW no inverno, 3,0 kW no outono, 2,0 kW na primavera e 1,0 kW no verão. Numa manhã de inverno, com temperatura ambiente de 10°C , foram usados 10,0 l de água desse chuveiro para preencher os 16 % do volume faltante do aquário de peixes ornamentais, de modo a elevar sua temperatura de 23°C para 28°C . Sabe-se que 20 % da energia é perdida no aquecimento do ar, a densidade da água é $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ e calor específico da água é $4,18 \text{ J/gK}$. Considerando que a água do chuveiro foi colhida em 10 minutos, em que posição se encontrava a chave seletora? Justifique.

21.

Um condutor de cobre de seção transversal igual a 2 mm^2 conduz uma corrente elétrica de intensidade igual a 0,5 A. Determine a velocidade de deriva dos elétrons. Considere que o cobre possui um elétron livre por átomo.

Adote: densidade do cobre de $8,82 \text{ g/cm}^3$ e massa molar (Cu) igual a 63,5 g/mol.

GABARITO

**3. Gabarito sem comentários**

1. E
2. $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ A}$

3. A
4. a) $\Delta Q = 320 \text{ mC}$ b) $n = 2 \cdot 10^{18} \text{ elétrons}$ c) $i_m = 40 \text{ mA}$
5. D
6. D
7. 180 mC
8. a) ôhmico b) $1,85 \text{ k}\Omega$
9. a) 4 A b) 36.000 C
10. a) $3,4 \cdot 10^8 \text{ J}$ b) $148 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ c) $0,53 \text{ A}$
11. C
12. a) $200 \mu\text{A}$ b) $6,0 \cdot 10^5 \text{ V}$ c) $1,2 \cdot 10^2 \text{ W}$
13. B
14. a) a corrente também dobrará b) 32 W
15. E
16. D
17. D
18. a) $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ W}$ b) $6 \cdot 10^{-4} \text{ W}$ e 5% c) $2,4\%$
19. a) 5% b) $9,75\%$
20. 3853 kW
21. $0,184 \cdot 10^{-3} \text{ m/}$

ESCLARECENDO!



4. Lista de exercícios comentada

1.

Considere as seguintes afirmativas a respeito de um segmento AB de um fio metálico por onde passa uma corrente elétrica contínua e constante.

- I. a corrente elétrica em AB é um fluxo de elétrons.
- II. a carga elétrica total de AB é nula.
- III. há uma diferença de potencial elétrico entre os extremos de AB.

Quais destas afirmativas são verdadeiras?

- a) somente I
- b) somente II
- c) somente III
- d) somente I e II
- e) I, II e III

Comentários:

I. CORRETA. Como visto em teoria, a corrente elétrica é o movimento ordenado dos elétrons livres de um metal.

II. CORRETA. A quantidade de cargas no fio AB não se altera, há apenas uma movimentação das cargas.

III. CORRETA. Se existe uma corrente elétrica contínua e constante no fio, isso ocorre porque há uma diferença de potencial entre os terminais do condutor.

Gabarito: E

2.

Mediante estímulo, $2 \cdot 10^5$ íons de K^+ atravessam a membrana de uma célula nervosa em 1,0 milissegundo. Calcule a intensidade dessa corrente elétrica, sabendo-se que a carga elementar é $1,6 \cdot 10^{-19} C$.

Comentários:

Pela definição de corrente elétrica, sabemos que:

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

Assim, precisamos saber qual a quantidade de carga que atravessa a membrana. Para isso, basta ver que a carga associada a cada íon de K^+ é a própria carga elementar. Portanto:

$$\Delta Q = \# \text{íons} \cdot e$$

$$\Delta Q = 2 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,2 \cdot 10^{-14} C$$

Logo:

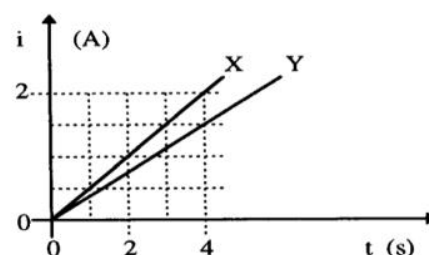
$$i = \frac{3,2 \cdot 10^{-14}}{1 \cdot 10^{-3}} = 3,2 \cdot 10^{-11} A$$

Gabarito: $3,2 \cdot 10^{-11} A$

3.

O gráfico representa a intensidade de corrente elétrica i em função do tempo t em dois condutores, X e Y. Sendo q_x e q_y as cargas elétricas que, durante os quatro primeiros segundos, passam respectivamente por uma seção transversal dos condutores X e Y, qual a diferença $q_x - q_y$?

- a) 1 C
- b) 2 C
- c) 3 C
- d) 6 C
- e) 8 C



Comentários:

Como vimos, a área do gráfico $i \times t$ é numericamente igual a carga. Então:

$$q_x = \frac{4 \cdot 2}{2} = 4 C \text{ e } q_y = \frac{1,5 \cdot 4}{2} = 3 C$$

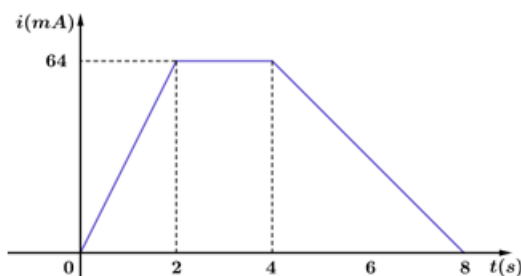
Portanto:

$$q_x - q_y = 4 - 3 = 1 \text{ C}$$

Gabarito: A

4. (IME)

A intensidade da corrente elétrica em um condutor metálico varia, com o tempo, de acordo com o gráfico a seguir.



Sendo o módulo da carga elementar $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, determine:

- a carga elétrica que atravessa uma seção do condutor em 8 s
- o número de elétrons que atravessa uma seção do condutor durante esse mesmo tempo
- a intensidade média da corrente entre os instantes 0 s e 8 s

Comentários:

a) Como bem sabemos, a carga elétrica que atravessa a seção é dada pela área do gráfico, então:

$$\Delta Q = \frac{64 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{2} + (4 - 2) \cdot 64 \cdot 10^{-3} + \frac{64 \cdot 10^{-3} \cdot (8 - 4)}{2}$$

$$\Delta Q = 64 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 2 + 2) \Rightarrow \boxed{\Delta Q = 320 \text{ mC}}$$

Fique atento aos eixos dos gráficos. A corrente no gráfico está em $\text{mA} = 10^{-3} \text{ A}$.

b) Pela quantização da carga, temos:

$$\Delta Q = n \cdot |q_e| \Rightarrow 320 \cdot 10^{-3} = n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \Rightarrow \boxed{n = 2 \cdot 10^{18} \text{ elétrons}}$$

c) A intensidade média da corrente entre 0 e 8 s é aquela corrente média que atravessaria a mesma quantidade de carga. Portanto:

$$\Delta Q = i_m \cdot \Delta t \Rightarrow 320 \cdot 10^{-3} = i_m \cdot 8 \Rightarrow i_m = 40 \cdot 10^{-3} \text{ A} \Rightarrow \boxed{i_m = 40 \text{ mA}}$$

Gabarito: a) $\Delta Q = 320 \text{ mC}$ b) $n = 2 \cdot 10^{18} \text{ elétrons}$ c) $i_m = 40 \text{ mA}$

5. (AFA-2001)

Uma pequena esfera condutora, isolada eletricamente, é carregada com uma quantidade de carga Q . Em seguida essa esfera é aterrada através de um resistor de $0,25 \Omega$. A carga da esfera é descarregada em $0,5 \text{ s}$ através da resistência, que dissipa uma potência de $0,5 \text{ W}$. A carga Q , em coulombs, vale

- 2
- 4
- $\sqrt{2}$
- $\sqrt{2}/2$

Comentários:

A potência elétrica é dada por:

$$P = U \cdot i$$

E a primeira lei de Ohm em um resistor diz que:

$$U = R \cdot i$$

Combinando as duas equações, temos:

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

Dessa forma, podemos determinar a corrente que passa pelo resistor:

$$0,5 = 0,25 \cdot i^2 \Rightarrow i = \sqrt{2} \text{ A}$$

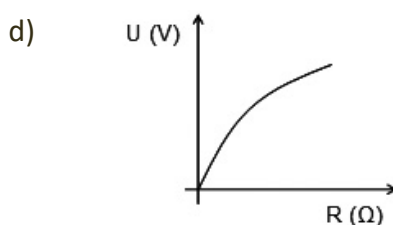
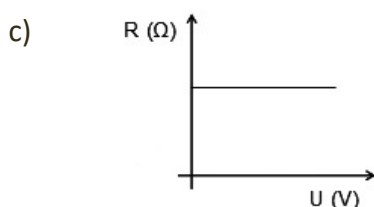
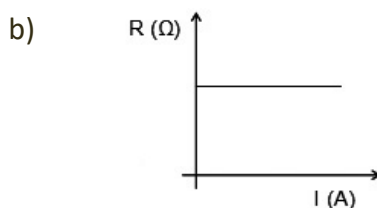
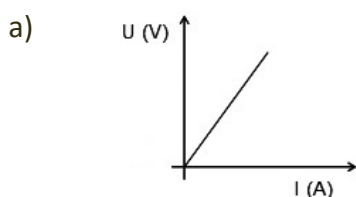
A corrente elétrica que passa pela resistência é justamente a movimentação das cargas da esfera que foi aterrada. Então:

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = i \cdot \Delta t \Rightarrow Q = \sqrt{2} \cdot 0,5 \Rightarrow \boxed{Q = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ C}}$$

Gabarito: D

6.

Aplica-se uma diferença de potencial aos terminais de um resistor que obedece à Lei de Ohm. Sendo U a diferença de potencial, R a resistência do resistor e I a corrente elétrica, qual dos gráficos abaixo não representa o comportamento deste resistor?



Comentários:

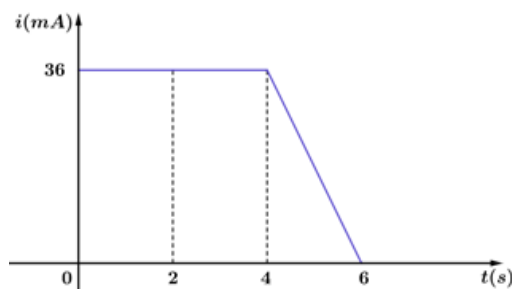
Pela definição de um resistor ôhmico, sabemos que ela é constante a uma determinada temperatura fixada. Portanto, a letra a) está de acordo com a teoria. Além disso, a letra b) e a letra c) também estão, pois nelas a resistência permanece constante, mesmo variando a corrente e a tensão. A

única alternativa que apresenta erro no gráfico é a alternativa d, pois a resistência varia com a tensão. Portanto, a única alternativa que não está correta é a letra d.

Gabarito: D

7.

O gráfico abaixo mostra como a corrente elétrica, no interior de um condutor metálico, varia com o tempo. Determine a carga elétrica que atravessa uma seção do condutor em 6 (seis) segundos?



Comentários:

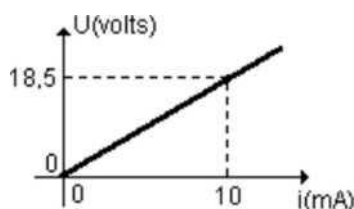
A carga que atravessa a seção do condutor em 6s é dada pela área do gráfico que é um trapézio. Logo:

$$\Delta Q = \left(\frac{4 + 6}{2} \right) \cdot 36 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{\Delta Q = 180 \text{ mC}}$$

Gabarito: 180 mC

8.

O gráfico das diferenças de potencial nos extremos de um dispositivo elétrico, em função das intensidades de corrente, foi o seguinte:



- Qual o tipo de dispositivo elétrico em questão?
- Qual a resistência elétrica desse dispositivo quando percorrido por uma corrente de intensidade $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ A}$?

Comentários:

a) Pela curva característica $U \times i$ sabemos que se trata de um dispositivo ôhmico, já que apresenta resistência elétrica constante, seguindo a primeira lei de Ohm.

b) Como o dispositivo elétrico em questão é ôhmico, sabemos que a resistência é numericamente igual ao coeficiente angular da reta apresentada. Portanto:

$$R = \frac{18,5}{10 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{R = 1,85 \text{ k}\Omega}$$

Gabarito: a) ôhmico b) 1,85 kΩ

9.

A bateria de um carro, de *fem* de 12 V, é usada para acionar um rádio de 12 V, que necessita de 2 A para o seu funcionamento, e para manter acesas duas lâmpadas de farol de 12 V e 48 W cada uma.

- Qual a intensidade de corrente elétrica fornecida pela bateria para alimentar o rádio e as duas lâmpadas?
- Qual a carga, em coulombs, perdida pela bateria em uma hora?

Comentários:

a) A intensidade de corrente elétrica para alimentar o rádio é de 2 A e para manter cada lâmpada é de:

$$P = U \cdot i \Rightarrow 48 = 12 \cdot i \Rightarrow \boxed{i = 4 \text{ A}}$$

Portanto, a corrente total requerida é de:

$$i_T = 2 + 4 + 4 = 10 \text{ A}$$

b) Em 1 h = 3600 s, temos a seguinte quantidade de cargas:

$$\Delta Q = i_T \cdot \Delta t = 10 \cdot 3600 \Rightarrow 36.000 \text{ C}$$

Nas próximas aulas, veremos como funcionam os circuitos elétricos e os geradores. Nessa questão foi considerado que a bateria é ideal e que os dispositivos foram ligados em paralelo. Fique tranquilo se você não é familiarizado com esses termos. Tudo ficará bem claro nas próximas aulas.

Gabarito: a) 4 A b) 36.000 C

10.

Com o objetivo de criar novas partículas, a partir de colisões entre prótons, está sendo desenvolvido, no CERN (Centro Europeu de Pesquisas Nucleares), um grande acelerador (LHC). Nele, através de um conjunto de ímãs, feixes de prótons são mantidos em órbita circular, com velocidades muito próximas à velocidade c da luz no vácuo. Os feixes percorrem longos tubos, que juntos formam uma circunferência de 27 km de comprimento, onde é feito vácuo. Um desses feixes contém $N = 3,0 \cdot 10^{14}$ prótons, distribuídos uniformemente ao longo dos tubos, e cada próton tem uma energia cinética E de $7,0 \cdot 10^{12} \text{ eV}$. Os prótons repassam inúmeras vezes por cada ponto de sua órbita, estabelecendo, dessa forma, uma corrente elétrica no interior dos tubos. Analisando a operação desse sistema, estime:

- A energia cinética total E_c , em joules, do conjunto de prótons contidos no feixe.
- A velocidade V , em km/h, de um trem de 400 toneladas que teria uma energia cinética equivalente à energia do conjunto de prótons contidos no feixe.
- A corrente elétrica I , em ampères, que os prótons em movimento estabelecem no interior do tubo onde há vácuo.

NOTE E ADOTE:

$q = \text{Carga elétrica de um próton} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}.$

$c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$

$1 \text{ elétron-volt} = 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$

ATENÇÃO! Não utilize expressões envolvendo a massa do próton, pois, como os prótons estão a velocidades próximas à da luz, os resultados seriam incorretos.

Comentários:

a) Se a energia cinética de cada próton é de $7,0 \cdot 10^{12} \text{ eV}$, então a energia de $3,0 \cdot 10^{14}$ prótons é de:

$$E_C = N \cdot E \Rightarrow E_C = 3,0 \cdot 10^{14} \cdot 7,0 \cdot 10^{12} \Rightarrow E_C = 2,1 \cdot 10^{27} \text{ eV}$$

Como cada eV corresponde a $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, então:

$$E_C = 2,1 \cdot 10^{27} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \Rightarrow \boxed{E_C = 3,4 \cdot 10^8 \text{ J}}$$

b) Se um trem de 400 toneladas tivesse essa energia cinética, então sua velocidade teria intensidade igual a:

$$E_C = \frac{M \cdot V^2}{2} \Rightarrow 3,4 \cdot 10^8 = \frac{400 \cdot 10^3 \cdot V^2}{2} \Rightarrow \boxed{V = 41,2 \text{ m/s}}$$

Em km/h :

$$V = 41,2 \cdot 3,6 \Rightarrow \boxed{V = 148 \text{ km/h}}$$

c) A corrente elétrica I que é desejada corresponde a carga elétrica que atravessa por uma dada secção transversal do LHC, no referido intervalo de tempo:

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

Do enunciado, sabemos que a velocidade dos prótons é igual a velocidade da luz no vácuo. Então o tempo que o feixe de prótons leva para percorrer a circunferência L do LHC é dada por:

$$c = \frac{L}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{c}$$

Relacionando as duas equações temos:

$$\Delta t = \frac{L}{c} = \frac{\Delta Q}{I} \Rightarrow \boxed{I = \frac{c \cdot \Delta Q}{L}}$$

Portanto a corrente é dada por:

$$I = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot (3,0 \cdot 10^{14} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})}{27 \cdot 10^3} \Rightarrow \boxed{I = 0,53 \text{ A}}$$

Gabarito: a) $3,4 \cdot 10^8 \text{ J}$ b) 148 km/h c) $0,53 \text{ A}$

11.

Medidas elétricas indicam que a superfície terrestre tem carga elétrica total negativa de, aproximadamente, 600.000 coulombs. Em tempestades, raios de cargas positivas, embora raros, podem atingir a superfície terrestre. A corrente elétrica desses raios pode atingir valores de até 300.000 A. Que fração da carga elétrica total da Terra poderia ser compensada por um raio de 300.000 A e com duração de 0,5 s?

- a) 1/2 b) 1/3 c) 1/4 d) 1/10 e) 1/20

Comentários:

Para uma corrente de 300.000 A com duração de 0,5 s, a carga elétrica que transita é de:

$$\Delta Q = i \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta Q = 300.000 \cdot 0,5 \Rightarrow \Delta Q = 150.000 \text{ C}$$

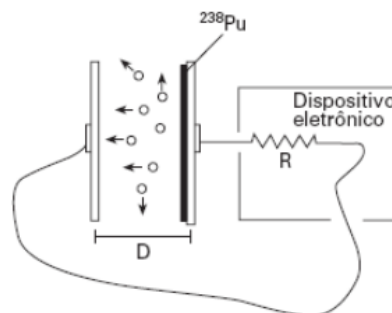
Portanto, a fração de carga elétrica é de:

$$\eta = \frac{150.000}{600.000} = \frac{1}{4}$$

Gabarito: C

12.

O plutônio (^{238}Pu) é usado para a produção direta de energia elétrica em veículos espaciais. Isso é realizado em um gerador que possui duas placas metálicas, paralelas, isoladas e separadas por uma pequena distância D . Sobre uma das placas deposita-se uma fina camada de ^{238}Pu , que produz $5 \cdot 10^{14}$ desintegrações por segundo.



O ^{238}Pu se desintegra, liberando partículas alfa, 1/4 das quais alcança a outra placa, onde são absorvidas. Nesse processo, as partículas alfa transportam uma carga positiva Q e deixam uma carga $-Q$ na placa de onde saíram, gerando uma corrente elétrica entre as placas, usada para alimentar um dispositivo eletrônico, que se comporta como uma resistência elétrica $R = 3,0 \cdot 10^9 \Omega$. Estime

- a) a corrente I , em ampères, que se estabelece entre as placas.
b) a diferença de potencial V , em volts, que se estabelece entre as placas.
c) a potência elétrica P_E , em watts, fornecida ao dispositivo eletrônico nessas condições.

NOTE E ADOTE

O ^{238}Pu é um elemento radioativo, que decai naturalmente, emitindo uma partícula alfa (núcleo de 4He).

Carga Q da partícula alfa = $2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Comentários:

a) Pela definição de corrente elétrica, temos que:

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

Sabemos que 1 segundo, $5 \cdot 10^{14}$ partículas são desintegradas e que 1/4 delas alcançam a outra placa. Então, a variação da carga 1 segundo é de:

$$\Delta Q = 5 \cdot 10^{14} \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{1}{4}$$

$$\Delta Q = 4 \cdot 10^{-5} \text{ C} = 40 \cdot 10^{-6} = 40 \mu\text{C}$$

Portanto a corrente devida as cargas que chegam a outra placa é de:

$$i_1 = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{40 \mu\text{C}}{1 \text{ s}} = 40 \mu\text{A}$$

Quando a partícula deixa a placa com uma carga $-Q$ é equivalente a uma corrente elétrica de intensidade:

$$i_2 = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = \frac{5 \cdot 10^{14} \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,0} \Rightarrow i_2 = 16 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 160 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 160 \mu\text{A}$$

Portanto, a corrente total é de:

$$i_T = i_1 + i_2$$

$$i_T = 40 \mu\text{A} + 160 \mu\text{A} = 200 \mu\text{A}$$

Poderíamos interpretar que a corrente entre as placas seja apenas formada pelas cargas que saem da pastilha de ^{238}Pu e atingem a placa esquerda. Nesse caso, a corrente seria apenas $40 \mu\text{A}$.

Entretanto, a corrente externa que passa no resistor continua sendo $200 \mu\text{A}$.

b) Pela primeira lei de Ohm, temos:

$$U = R \cdot i_T \Rightarrow U = 3 \cdot 10^9 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \boxed{U = 6,0 \cdot 10^5 \text{ V}}$$

c) A potência elétrica no equipamento é calculada por:

$$P = i_T \cdot U$$

$$P = 200 \cdot 10^{-6} \cdot 6,0 \cdot 10^5 \Rightarrow \boxed{P = 1,2 \cdot 10^2 \text{ W}}$$

Observação:

Vamos examinar o campo elétrico entre as placas, bem como a ddp entre elas. Sabemos que o campo gerado por uma placa é dado por:

$$|\vec{E}| = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon}$$

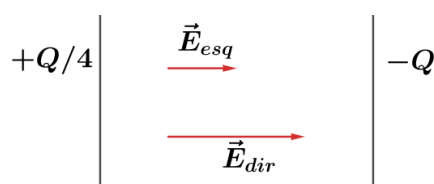
Lembrando que $\sigma = Q/A$. Então para a placa da esquerda, temos:

$$\sigma_{esq} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4A} = \frac{\sigma}{4} \Rightarrow |\vec{E}_{esq}| = \frac{\sigma}{4 \cdot 2 \cdot \epsilon}$$

Para a placa da direita, temos:

$$\sigma_{dir} = \frac{Q}{A} \Rightarrow |\vec{E}_{dir}| = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon}$$

Lembrando que o campo é uma grandeza vetorial, temos:



Portanto, o campo resultante no interior das placas é de:

$$|\vec{E}_{res}| = |\vec{E}_{esq}| + |\vec{E}_{dir}| = \frac{\sigma}{4 \cdot 2 \cdot \epsilon} + \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon} = \frac{5}{4} \cdot \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon}$$

Dessa forma, a diferença de potencial entre as placas pode ser dada por:

$$U = E \cdot D$$

$$U = \frac{5}{4} \cdot \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon} \cdot D = \frac{5}{4} \cdot \frac{Q}{A \cdot 2 \cdot \epsilon} \cdot D = \left(\frac{5}{4} \cdot Q\right) \cdot \frac{D}{2 \cdot A \cdot \epsilon}$$

Observe que $\frac{D}{2 \cdot A \cdot \epsilon}$ é constante. Esse resultado mostra que a ddp é diretamente proporcional a $\frac{5}{4} \cdot Q$. Como a corrente elétrica é diretamente proporcional à ddp, então ela também é proporcional a $\frac{5}{4} \cdot Q$.

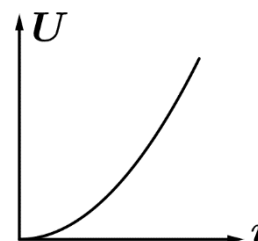
Gabarito: a) 200 μA b) $6,0 \cdot 10^5 V$ c) $1,2 \cdot 10^2 W$

13.

O gráfico a seguir mostra como varia a tensão elétrica em um resistor mantido a uma temperatura constante em função da corrente elétrica que passa por esse resistor.

Com base nas informações contidas no gráfico, é correto afirmar que:

- a corrente elétrica no resistor é diretamente proporcional à tensão elétrica.
- a resistência elétrica do resistor aumenta quando a corrente elétrica aumenta.
- a resistência do resistor tem o mesmo valor qualquer que seja a tensão elétrica.
- dobrando-se a corrente elétrica através do resistor, a potência elétrica consumida quadruplica.
- o resistor é feito de um material que obedece a Lei de Ohm.



Comentários:

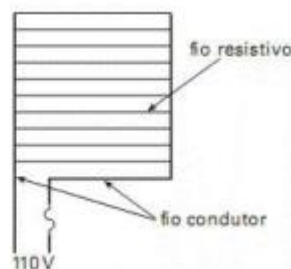
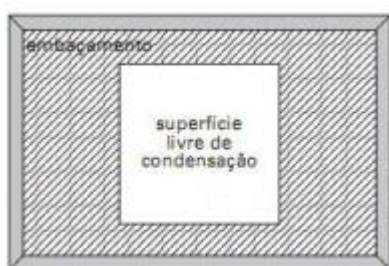
Note que a curva característica mostra que o resistor não é ôhmico, já que a resistência não é constante, dado que a temperatura é constante. Assim as alternativas A, C e E estão erradas. Da definição de resistência ($R = \frac{U}{i}$) e pela curva mostrada na questão, quando a corrente aumenta, a tensão aumenta mais ainda.

Dessa forma, o quociente $\frac{U}{i}$ continua crescendo com o aumento da corrente. Portanto, a alternativa B está correta. Na alternativa D, ele relaciona a potência elétrica no resistor como se ele fosse ôhmico, o que não é verdade. Portanto, esta alternativa está errada.

Gabarito: B

14.

Semelhante ao desembaçador de vidros de um carro, existe no mercado um desembaçador especial para espelhos de banheiro, frequentemente embaçados pela condensação do vapor de água que preenche o ambiente após um banho. A ideia do dispositivo é secar uma área do espelho para que esse possa ser utilizado mesmo após ter sido usado o chuveiro.



Suponha que a resistência elétrica não sofra alteração significativa de seu valor com a mudança de temperatura.

a) Atrás do espelho, colado sobre o vidro, encontra-se o circuito esquematizado, originalmente construído para ser utilizado sob uma diferença de potencial de 110 V. Determine o que ocorrerá com a corrente elétrica se o desembaçador for ligado a uma diferença de potencial de 220 V.

b) Determine o novo valor da potência dissipada, supondo que dois dos fios resistivos tenham sido rompidos durante a montagem do espelho e que o desembaçador não danificado dissipe 40 W quando ligado em 110 V.

Comentários:

a) Sabemos que a potência elétrica em um bipolo elétrico é dada por:

$$Pot = U \cdot i$$

Portanto, se a ddp dobra, então a corrente também dobrará.

b) Cada fio resistivo dissipa a mesma potência. Se em condições normais o desembaçador dissipa 40 W e temos 10 fios resistivos. Portanto, cada fio resistivo dissipa 4 W. Como 2 fios foram perdidos, a potência dissipada pelo desembaçador será de $40 - 2 \cdot 4 = 32 \text{ W}$. Note que isso é possível pois todos os fios resistivos estão submetidos a mesma diferença de potencial.

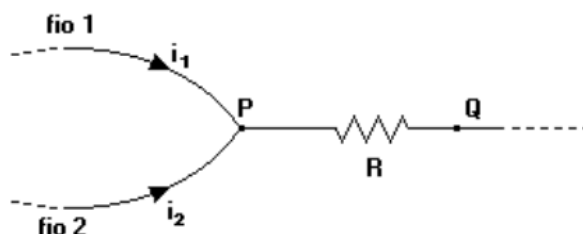
Gabarito: a) a corrente também dobrará b) 32 W

15.

Um resistor de resistência R está inserido entre os pontos P e Q de um circuito elétrico, como mostra a figura adiante.

Se as correntes que passam pelos fios 1 e 2, que chegam a P , são, respectivamente, i_1 e i_2 , a diferença de potencial entre P e Q será igual a:

- a) $(i_1 + i_2)/R$
- b) $(i_1 + i_2)R/(i_1 \cdot i_2)$
- c) $R/(i_1 + i_2)$
- d) $(i_1 \cdot i_2)R/(i_1 + i_2)$
- e) $R(i_1 + i_2)$



Comentários:

A corrente pela que passa pela resistência R é a soma das correntes antes de chegar no nó P . aplicando a primeira lei de Ohm no resistor R , temos:

$$U = R \cdot i = R \cdot (i_1 + i_2)$$

Gabarito: E

16. (ITA – 1997)

A casa de um certo professor de Física do ITA, em São José dos Campos, tem dois chuveiros elétricos que consomem $4,5 \text{ kW}$ cada um. Ele quer trocar o disjuntor geral da caixa de força por um que permita o funcionamento dos dois chuveiros simultaneamente com um aquecedor elétrico ($1,2 \text{ kW}$), um ferro elétrico ($1,1 \text{ kW}$) e 7 lâmpadas comuns (incandescentes) de 100 W .

Disjuntores são classificados pela corrente máxima que permitem passar. Considerando que a tensão da cidade seja de 220 V , o disjuntor de menor corrente máxima que permitirá o consumo desejado é então de:

- a) 30 A
- b) 40 A
- c) 50 A
- d) 60 A
- e) 80 A

Comentários:

A potência total para o funcionamento simultâneo dos aparelhos é dada por:

$$Pot = 2 \cdot P_{chuv} + P_{aq} + P_{fe} + 7 \cdot P_{lâmp}$$

$$Pot = 2 \cdot 4,5 + 1,2 + 1,1 + 7 \cdot 0,1 = 12 \text{ kW} = 12.000 \text{ W}$$

A partir da potência total, podemos determinar a corrente que passará pelo nosso disjuntor:

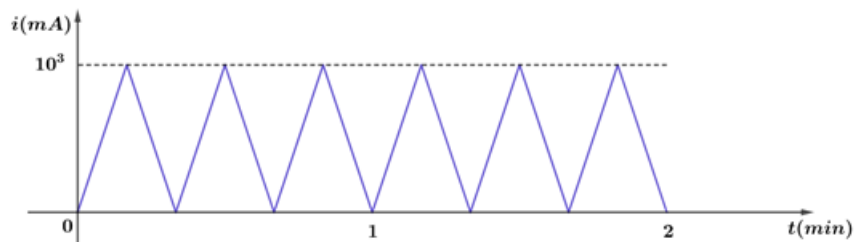
$$Pot = U \cdot i \Rightarrow 12.000 = 220 \cdot i \Rightarrow \boxed{i = 54,5 \text{ A}}$$

O disjuntor para a corrente máxima é de 60 A.

Gabarito: D

17.

No interior de um condutor homogêneo, a intensidade de corrente elétrica varia com o tempo, como mostra o diagrama abaixo.



Pode-se afirmar que o valor médio da intensidade de corrente, entre os instantes 1 min e 2 min, é de:

- a) $\frac{1}{6}$ A b) $\frac{10^3}{6}$ A c) 500 A d) 0,5 A e) 0,05 A

Comentários:

O valor médio da intensidade de corrente entre os instantes 1 min e 2 min é aquela que produz a mesma variação de carga. Ou seja:

$$\Delta Q = i_m \cdot \Delta t$$

Em que ΔQ é calculado pela área do gráfico. Então:

$$\Delta Q = 3 \cdot \frac{\left(\frac{(2-1) \cdot 60}{3} \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} \right)}{2} = 30 \text{ C}$$

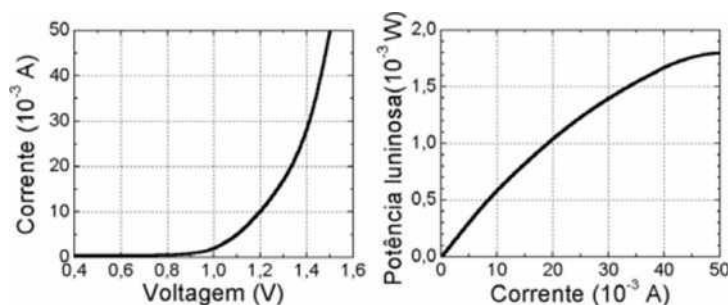
Portanto:

$$30 = i_m \cdot 1 \cdot 60 \Rightarrow i_m = 0,5 \text{ A}$$

Gabarito: D

18.

Um LED (do inglês Light Emiting Diode) é um dispositivo semicondutor para emitir luz. Sua potência depende da corrente elétrica que passa através desse dispositivo, controlada pela voltagem aplicada. Os gráficos abaixo representam as características operacionais de um LED com comprimento de onda na região do infravermelho, usado em controles remotos.



- a) Qual é a potência elétrica do diodo, quando uma tensão de 1,2 V é aplicada?

- b) Qual é a potência de saída (potência elétrica transformada em luz) para essa voltagem? Qual é a eficiência do dispositivo?
- c) Qual é a eficiência do dispositivo sob uma tensão de 1,5 V?

Comentários:

- a) Para a tensão de 1,2 V, a corrente no gráfico é igual a $10 \cdot 10^{-3} A$, então:

$$P = U \cdot i = 1,2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 10^{-2} W$$

- b) Para a tensão de 1,2 V, a corrente é de $10 \cdot 10^{-3} A$. Pelo segundo gráfico, vemos que a potência é de $6 \cdot 10^{-4} W$. Assim, a eficiência é de:

$$\eta = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{1,2 \cdot 10^{-2}} = 0,05 \text{ ou } 5\%$$

- c) Repetindo o processo para a tensão de 1,5 V, temos:

$$1,5 V \Rightarrow 50 \cdot 10^{-3} A$$

$$P = 1,5 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 75 \cdot 10^{-3} W$$

Pelo gráfico da potência, temos:

$$50 \cdot 10^{-3} A \rightarrow 1,8 \cdot 10^{-3} W$$

Então, a eficiência é de:

$$\eta = \frac{1,8 \cdot 10^{-3}}{75 \cdot 10^{-3}} = 0,024 \text{ ou } 2,4\%$$

Gabarito: a) $1,2 \cdot 10^{-2} W$ b) $6 \cdot 10^{-4} W$ e 5% c) 2,4%

19.

Dentre as medidas de emergência para contenção do consumo de energia elétrica, o governo cogitou reduzir de 5% o valor atual da tensão da rede. Considerando que, para uma alteração dessa ordem, a resistência de uma lâmpada de filamento pode ser considerada constante, determine a porcentagem de redução que esta providência traria

- a) no valor da corrente que passa pela lâmpada e
- b) no valor da potência dissipada pela lâmpada.

Comentários:

- a) Pela primeira lei de Ohm nas duas situações, temos:

$$\begin{cases} U = R \cdot i & (1) \\ 0,95U = R \cdot i' & (2) \end{cases}$$

Dividindo membro a membro, temos:

$$\frac{i'}{i} = 0,95 \Rightarrow \boxed{i' = 0,95i}$$

Portanto, a porcentagem de redução no valor da corrente é de 5%.

b) Para a potência nas duas condições, temos:

$$\begin{cases} P = R \cdot i^2 (3) \\ P' = R \cdot i'^2 = R \cdot (0,95i)^2 (4) \end{cases}$$

Dividindo novamente membro a membro, temos:

$$\frac{P'}{P} = 0,95^2 = 0,9025 \Rightarrow P' = 0,9025P$$

Portanto, a porcentagem de redução no valor da potência dissipada é de 9,75%.

Gabarito: a) 5% b) 9,75%

20. (ITA)

Mediante chave seletora, um chuveiro elétrico tem a sua resistência graduada para dissipar $4,0 \text{ kW}$ no inverno, $3,0 \text{ kW}$ no outono, $2,0 \text{ kW}$ na primavera e $1,0 \text{ kW}$ no verão. Numa manhã de inverno, com temperatura ambiente de 10°C , foram usados $10,0 \text{ l}$ de água desse chuveiro para preencher os 16 % do volume faltante do aquário de peixes ornamentais, de modo a elevar sua temperatura de 23°C para 28°C . Sabe-se que 20 % da energia é perdida no aquecimento do ar, a densidade da água é $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ e calor específico da água é $4,18 \text{ J/gK}$. Considerando que a água do chuveiro foi colhida em 10 minutos, em que posição se encontrava a chave seletora? Justifique.

Comentários:

Inicialmente, devemos determinar o volume do aquário. Se 10 litros correspondem a 16%, então os outros 84% correspondem a um volume L :

$$\frac{10}{L} = \frac{16\%}{84\%} \Rightarrow L = 52,5 \text{ litros}$$

A temperatura da água quando ela sai do chuveiro pode ser calculada pelas trocas de calor:

$$\sum Q = 0$$

$$10 \cdot c \cdot (28 - \theta) + 52,5 \cdot c \cdot (28 - 23) = 0 \Rightarrow \theta = 54,25^\circ\text{C}$$

Dessa forma, o calor necessário para esquentar a água foi de:

$$Q = 10000 \cdot 1 \cdot 4,18 \cdot (54,25 - 10) = 1.849.650 \text{ J}$$

Mas 20% da energia é perdida no aquecimento do ar. Portanto, $1.849.650 \text{ J}$ correspondem aos 80% de energia que foi fornecida pelo chuveiro elétrico. Então, a energia fornecida pelo chuveiro foi de $2.312.062,5 \text{ J}$. Pela definição de potência, temos:

$$Pot = \frac{2.312.062,5}{600} \cong 3853 \text{ kW}$$

Gabarito: 3853 kW

21.

Um condutor de cobre de secção transversal igual a 2 mm^2 conduz uma corrente elétrica de intensidade igual a $0,5 \text{ A}$. Determine a velocidade de deriva dos elétrons. Considere que o cobre possui um elétron livre por átomo.

Adote: densidade do cobre de $8,82 \text{ g/cm}^3$ e massa molar (Cu) igual a $63,5 \text{ g/mol}$.

Comentários:

A velocidade de deriva é dada por:

$$v_d = \frac{i}{N \cdot |q_e| \cdot A}$$

A intensidade da corrente elétrica e a área da secção transversal são conhecidos, mas a concentração eletrônica não é. Sabemos que a concentração eletrônica é dada por:

$$N = \frac{\text{número de elétrons livres}}{\text{volume}}$$

Como o cobre tem um elétron livre por átomo, então conhecendo o número de átomo que existe em um volume determinado, podemos encontrar o número de elétrons livres.

Como referência, vamos tomar 1 cm^3 de cobre. Pela densidade, sabemos que:

$$m_{Cu} = d_{Cu} \cdot V_{Cu} \Rightarrow m_{Cu} = 8,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 1 \text{ cm}^3 = 8,92 \text{ g}$$

Além disso, em 1 mol temos $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos. Logo, o número de mols (n) em 1 cm^3 é de:

$$n = \frac{m_{Cu}}{M_{Cu}} = \frac{8,92}{63,5} = 0,1405 \text{ mol}$$

Portanto, o número de átomos é:

$$N^{\circ} \text{ de átomos} = n \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 0,1405 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 0,85 \cdot 10^{23}$$

Então, em 1 cm^3 o número de elétrons livres é de $0,85 \cdot 10^{23}$. Mas $1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$. Portanto, o número de elétrons livres em 1 m^3 é de:

$$n_e = 10^6 \cdot (0,85 \cdot 10^{23}) = 0,85 \cdot 10^{29}$$

Portanto, a concentração eletrônica do cobre é de:

$$N_{Cu} = 0,85 \cdot 10^{29} \text{ elétrons/m}^3$$

Então, substituindo valores na fórmula da velocidade de deriva, temos:

$$v_d = \frac{i}{N \cdot |q_e| \cdot A} = \frac{0,5}{0,85 \cdot 10^{29} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}$$

$$v_d = 0,184 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Gabarito: $0,184 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

5. Considerações finais

Chegamos ao final da nossa aula. Relembre os conceitos estudados nessa aula e revise com calma os tópicos relacionados a velocidade de deriva dos elétrons livres e densidade de corrente, já que não são assuntos comuns em ensino médio.

Na próxima aula trabalharemos a segunda lei de Ohm, associação de resistores e casos especiais de associação de resistores. Aula muito importante para nossos vestibulares. Entretanto, ter todos os conceitos dessa aula bem enraizados são fundamentais para um entendimento completo da aula 18.

Fique atento ao exercício de velocidade de deriva e de densidade de corrente. O ITA, principalmente, pode abordar questões desses assuntos.

Conte comigo nessa jornada. Quaisquer dúvidas, críticas ou sugestões entre em contato pelo fórum de dúvidas do Estratégia ou se preferir:



@proftoniburgatto

6. Referência bibliográficas

- [1] Calçada, Caio Sérgio. Física Clássica volume 5. 2. Ed. Saraiva Didáticos, 2012. 576p.
- [2] Bukhovtsev, B.B. Krivtchenkov, V.D. Miakishev, G.Ya. Saraeva, I. M. Problemas Seleccionados de Física Elementar. 1 ed. MIR, 1977.518p.
- [3] Newton, Gualter, Helou. Tópicos de Física volume 3. 11ª ed. Saraiva, 1993. 303p.
- [4] Toledo, Nicolau, Ramalho. Os Fundamentos da Física volume 3. 9ª ed. Moderna. 490p.
- [5] Resnick, Halliday, Jearl Walker. Fundamentos de Física volume 3. 10ª ed. LTC. 365p.
- [6] Asociación Fondo de Investigadores y Editores. Una visión analítica del movimiento volume II. 11ª ed. Lumbreras editores. 989 p.

7. Versão de aula

Versão de Aula	Data da última atualização
1.0	17/07/2021