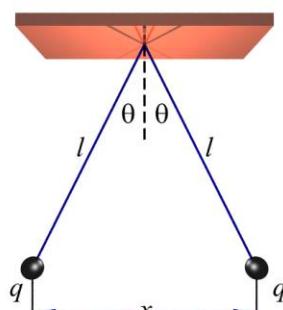


EXERCÍCIOS DE ELETROMAGNETISMO

Lei de Coulomb

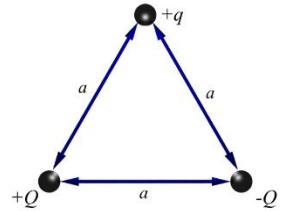
1. A força elétrica entre dois iões iguais, separados por uma distância de $5,0 \times 10^{-10}$ m, é de $3,7 \times 10^{-9}$ N. Sabendo que a constante de Coulomb é $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$ e que a carga do eletrão é $q_e = -1,602 \times 10^{-19}$ C, determine:
 - a. O módulo da carga de cada ião. **R:** $3,2 \times 10^{-19}$ C
 - b. O número de eletrões em falta em cada ião. **R:** 2
2. Duas cargas fixas, de $1,0 \times 10^{-6}$ C e $3,0 \times 10^{-6}$ C, estão separados por uma distância de 10 cm. Onde deve ser colocada uma terceira carga, de modo que a força elétrica exercida sobre ela seja nula? **R:** 3,7 cm
3. A carga total de duas pequenas esferas carregadas positivamente é de $5,00 \times 10^{-5}$ C. Como está a carga distribuída entre as duas esferas, sabendo-se que a força de repulsão entre elas, quando estão separadas de 2,00 m, é igual a 1,00 N? Use $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$. **R:** $1,16 \times 10^{-5}$ C; $3,84 \times 10^{-5}$ C
4. Qual deve ser a distância entre dois protões, para que a força elétrica repulsiva que neles atua seja igual aos seus próprios pesos, na superfície da Terra? Considere que $m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$ kg, $q_p = 1,602 \times 10^{-19}$ C, $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$ e $g = 9,80 \text{ m/s}^2$. **R:** 0,119 m
5. No modelo de Bohr, o raio do átomo de hidrogénio é $5,29 \times 10^{-11}$ m. Determine a intensidade da força elétrica que o protão exerce sobre o eletrão e compare esse valor com a intensidade da força gravitacional entre estas duas partículas. Considere que $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$ kg, $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg, $q_p = -q_e = 1,602 \times 10^{-19}$ C, $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$ e $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2\text{kg}^{-2}$. **R:** $8,24 \times 10^{-8}$ N; $2,27 \times 10^{39}$ maior
6. Duas esferas iguais, de massa m e carga q , estão penduradas por fios inextensíveis de massa desprezável e comprimento l (ver figura). Admita que o ângulo θ é suficientemente pequeno para se poder substituir $\tan \theta$ por $\sin \theta$ sem se cometer um erro apreciável. Mostre que, nesta aproximação, a distância x entre os centros das duas esferas é dada pela expressão

$$x = \left(\frac{lq^2}{2\pi\epsilon_0 mg} \right)^{1/3},$$
 onde ϵ_0 é a permitividade elétrica do vácuo. Se $l = 120$ cm, $m = 10,0$ g e $x = 5,00$ cm, qual é o valor de q ? Use $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ e $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$.
R: $\pm 2,38 \times 10^{-8}$ C



7. Duas esferas, com cargas idênticas, estão penduradas em fios inextensíveis de massa desprezável e comprimento $l = 50$ cm. Supondo que os fios fazem um ângulo de 30° com a vertical e que a massa de cada esfera é $m = 20$ g, determine o módulo da carga de cada esfera. Use $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$ e $g = 9,80 \text{ m/s}^2$. **R:** $1,8 \mu\text{C}$
8. Duas partículas com cargas iguais e separadas por uma distância de $3,2 \times 10^{-3}$ m são largadas do repouso. A aceleração da primeira partícula é de $7,0 \text{ m/s}^2$ e a da segunda é de $9,0 \text{ m/s}^2$. Se a massa da primeira partícula for de $6,3 \times 10^{-7}$ kg, determine:
- A massa da segunda partícula. **R:** $4,9 \times 10^{-7}$ kg
 - O módulo da carga de cada partícula. Use $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$.
R: $7,1 \times 10^{-11} \text{ C}$
9. Duas cargas $q_1 = +6,0 \mu\text{C}$ e $q_2 = +4,0 \mu\text{C}$ estão localizadas no eixo dos x , nas posições $x_1 = 0,0 \text{ cm}$ e $x_2 = 10 \text{ cm}$, respectivamente. Uma terceira carga $q_3 = +2,0 \mu\text{C}$ é colocada num determinado ponto desse eixo. Sabendo que $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$, determine:
- A força exercida na carga q_3 se ela estiver à mesma distância das cargas q_1 e q_2 .
R: $14 \vec{e}_x \text{ N}$
 - Em que ponto ou pontos do eixo dos x é que a força na carga q_3 é nula?
R: $5,5 \text{ cm}$

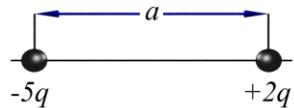
10. Três cargas estão dispostas nos vértices de um triângulo equilátero (ver figura). Qual a direção e o sentido da força elétrica que atua sobre a carga $+q$? **R:** horizontal, da esquerda para a direita



11. Cargas idênticas de $+3,0 \mu\text{C}$ estão situadas nos vértices de um quadrado de 40 cm de lado. Sabendo que $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$, determine a força que atua em cada uma das cargas. **R:** $\pm 0,68 \vec{e}_x \pm 0,68 \vec{e}_y (\text{N})$

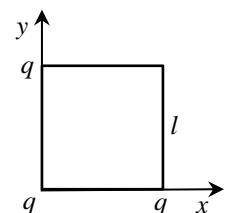
Campo elétrico

12. Para que uma pequena esfera produza um campo elétrico de $2,0 \text{ N/C}$ à distância de 50 cm do seu centro, qual deve ser o módulo da sua carga elétrica? Use $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$. **R:** $5,6 \times 10^{-11} \text{ C}$
13. Duas cargas $+2q$ e $-5q$ estão situadas à distância $a = 50$ cm uma da outra (ver figura). Em que ponto ou pontos a intensidade do campo elétrico é nula? **R:** num ponto situado na reta que passa pelas duas cargas, 86 cm à direita da carga $+2q$



14. Três cargas idênticas q estão colocadas em três vértices de um quadrado de lado l (ver figura). Determine o campo elétrico criado por essas cargas no quarto vértice.

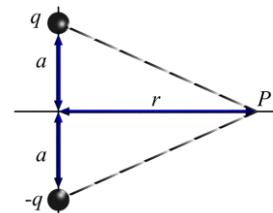
$$\mathbf{R:} K \frac{q}{l^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right) (\vec{e}_x + \vec{e}_y)$$



15. Um dipolo elétrico é constituído por duas cargas $+q$ e $-q$ à distância $2a$ uma da outra. Considere um ponto P situado à distância r do centro do dipolo (ver figura).

a. Mostre que a intensidade do campo elétrico em P é dada por $K \frac{p}{l^3}$, onde p é o módulo do momento dipolar e l é a distância das cargas ao ponto P.

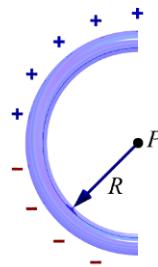
b. Qual a direção e sentido do campo elétrico em P? **R:** direção paralela ao dipolo, de cima para baixo



16. Um fio metálico, de comprimento l , está uniformemente carregado com uma carga total q . Determine o campo elétrico num ponto P, situado no eixo do fio a uma distância x do seu extremo mais próximo. **R:** $K \frac{q}{l} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+l} \right)$

17. Determine o campo elétrico criado por um fio retilíneo de comprimento infinito e densidade linear de carga λ num ponto P a uma distância r do fio, medida segundo a perpendicular. **R:** $2K \frac{\lambda}{r} \vec{e}_r$

18. Um bastão fino de vidro é encurvado de modo a formar um semicírculo de raio R (ver figura). Uma carga $+Q$ está distribuída uniformemente ao longo da metade superior, e uma carga $-Q$ ao longo da metade inferior. Determine o campo elétrico no ponto P, situado no centro do semicírculo. **R:** $-\frac{4KQ}{\pi R^2} \vec{e}_y$

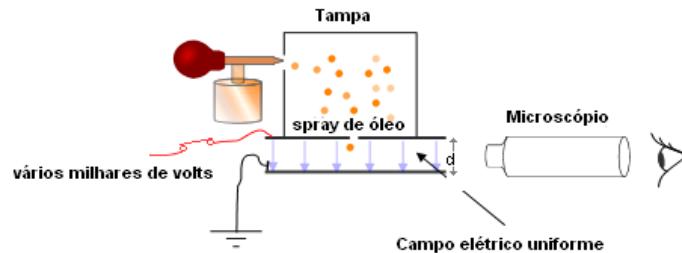


19. Determine o campo elétrico criado por um anel uniformemente carregado, de raio R e carga total Q , num ponto P situado no eixo do anel e à distância z do plano que contém esse anel. **R:** $KQ \frac{z}{(z^2+R^2)^{3/2}} \vec{e}_z$

20. Determine o campo elétrico criado por um disco uniformemente carregado, de raio R e densidade superficial de carga σ , num ponto P situado no eixo do disco e à distância z do plano que contém o disco. Determine igualmente o campo elétrico quando o disco se transforma num plano infinito (ou seja, quando $R \rightarrow +\infty$).

$$\mathbf{R:} \frac{\sigma z}{2\epsilon_0} \left(\frac{1}{|z|} - \frac{1}{\sqrt{z^2+R^2}} \right) \vec{e}_z; \pm \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \vec{e}_z$$

21. Na experiência de Millikan (esquematicamente representada na figura), uma pequena gota de óleo carregada é introduzida num campo elétrico uniforme e equilibrada ajustando-se o valor



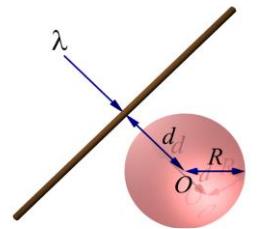
desse campo de modo a que a força elétrica exercida na gota tenha uma intensidade igual, mas de sentido oposto, ao seu peso. Se o raio da gota de óleo for de $1,64 \times 10^{-4}$ cm e a intensidade do campo elétrico, no equilíbrio, for de $1,92 \times 10^5$ N/C, qual a carga da gota em múltiplos da carga do eletrão? Considere que a densidade do óleo é $\rho_{ol} = 0,851$ g/cm³. Use $q_e = -1,602 \times 10^{-19}$ C e $g = 9,80$ m/s². **R:** 5,00

22. Numa região do espaço, onde existe um campo elétrico uniforme, é colocado um eletrão, o qual, partindo do repouso, percorre uma distância de 2,0 cm em $1,5 \times 10^{-8}$ s. Considerando que $q_e = -1,602 \times 10^{-19}$ C e $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg, determine:
- A velocidade do eletrão depois de ter percorrido a distância acima referida.
R: $2,7 \times 10^6$ m/s
 - A intensidade do campo elétrico. **R:** $1,0 \times 10^3$ N/C
23. Um eletrão com uma velocidade inicial $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x$, onde $v_0 = 8,6 \times 10^5$ m/s, entra numa região onde existe um campo elétrico uniforme $\vec{E} = E \vec{e}_x$, onde $E = 4,1 \times 10^3$ N/C. Considerando que $q_e = -1,602 \times 10^{-19}$ C e $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg, determine:
- A aceleração do eletrão. **R:** $-7,2 \times 10^{14}$ m/s²
 - O tempo que o eletrão leva a parar. **R:** 1,2 ns
 - A distância que o eletrão percorre até parar. **R:** 0,51 mm
24. Um protão com uma velocidade inicial $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x$, onde $v_0 = 8,6 \times 10^5$ m/s, entra numa região onde existe um campo elétrico uniforme $\vec{E} = -E \vec{e}_y$, onde $E = 4,1 \times 10^3$ N/C. Considerando que $q_p = 1,602 \times 10^{-19}$ C e $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$ kg, determine o módulo da velocidade do protão ao fim de 1,0 μ s. **R:** $9,5 \times 10^5$ m/s.

Fluxo do campo elétrico e lei de Gauss

25. Um cone com base de raio R e altura h é atravessado por um campo elétrico uniforme \vec{E} paralelo à sua base. Determine o fluxo do campo elétrico que entra no cone.
R: EhR
26. Um cubo de lado l está situado numa região do espaço onde existe um campo elétrico uniforme, perpendicular a duas das suas faces. Determine o fluxo do campo através do cubo. **R:** 0
27. Um campo elétrico uniforme $\vec{E} = a \vec{e}_x + b \vec{e}_y$ (N/C) atravessa uma superfície de área A . Determine o fluxo através dessa superfície, se ela se encontrar no plano:
- yz . R: aA
 - xz . R: bA
 - xy . R: 0
28. Um campo elétrico uniforme, de intensidade $3,5 \times 10^3$ N/C, está orientado no sentido positivo eixo dos x . Calcule o fluxo desse campo através de um plano retangular de área 0,35 m \times 0,70 m, se o plano:
- For paralelo ao plano yz . **R:** $8,6 \times 10^2$ Vm
 - For paralelo ao plano xy . **R:** 0,0 Vm
 - Contiver o eixo dos y e a sua normal fizer um ângulo de 40° com o eixo dos x .
R: $6,6 \times 10^2$ Vm

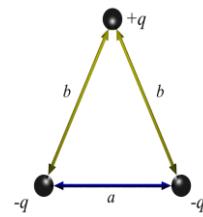
29. Mostre, usando a lei de Gauss, que a intensidade do campo elétrico a uma distância r de um fio de comprimento infinito uniformemente carregado é $\lambda/(2\pi\epsilon_0 r)$, onde λ é a densidade linear de carga e ϵ_0 é a permitividade elétrica do vácuo.
30. Mostre, usando a lei de Gauss, que o campo elétrico criado por uma superfície plana infinita uniformemente carregada é dado por $\sigma/(2\epsilon_0)$, onde σ é a densidade superficial de carga e ϵ_0 é a permitividade elétrica do vácuo.
31. Duas superfícies esféricas, concêntricas e uniformemente carregadas, têm raios r_1 e r_2 ($r_1 < r_2$) e cargas Q_1 e Q_2 , respectivamente. Determine o campo elétrico a uma distância r do centro dessas superfícies, se:
- $r \leq r_1$. **R:** 0
 - $r_1 < r \leq r_2$. **R:** $K \frac{Q_1}{r^2} \vec{e}_r$
 - $r > r_2$. **R:** $K \frac{Q_1+Q_2}{r^2} \vec{e}_r$
32. Uma esfera oca, não condutora, tem um raio exterior b e um raio interior a . A carga total da esfera é Q e encontra-se uniformemente distribuída. Determine o campo elétrico a uma distância r do centro da esfera, se:
- $r \geq b$. **R:** $K \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$
 - $a \leq r < b$. **R:** $K \frac{Q}{r^2} \frac{r^3-a^3}{b^3-a^3} \vec{e}_r$
 - $r < a$. **R:** 0
33. Um fio de comprimento infinito, uniformemente carregado, com densidade de carga λ , encontra-se a uma distância d de um ponto O (ver figura).
- Determine o fluxo do campo elétrico através de uma superfície esférica de raio R centrada no ponto O , no caso em que $R < d$. **R:** 0
 - Mostre que o fluxo do campo elétrico através de uma superfície esférica de raio R centrada no ponto O , no caso em que $R > d$, é dado por $\frac{2\lambda}{\epsilon_0} \sqrt{R^2 - d^2}$.
 - Se $\lambda > 0$, qual a orientação e sentido das linhas do campo elétrico em torno do fio? **R:** perpendiculares ao fio, dirigidas para fora



Potencial elétrico

34. Nos pontos P_1 e P_2 o potencial elétrico é $\Phi_1 = -30,0 \text{ V}$ e $\Phi_2 = +150 \text{ V}$, respectivamente. Determine o trabalho que uma força externa deverá realizar para mover uma carga de $-4,70 \mu\text{C}$ de P_2 para P_1 . **R:** $+8,46 \times 10^{-4} \text{ J}$
35. Qual a diferença de potencial, $\Delta\Phi$, necessária para parar um eletrão com uma velocidade inicial de $4,2 \times 10^5 \text{ m/s}$? Use $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ e $q_e = -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$. **R:** $-0,50 \text{ V}$

36. Calcule as velocidades de um protão e de um eletrão acelerados a partir do repouso numa diferença de potencial de -120 V e $+120$ V, respetivamente. Use $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$ kg, $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg e $q_p = -q_e = 1,602 \times 10^{-19}$ C.
R: $1,52 \times 10^5$ m/s; $6,50 \times 10^6$ m/s
37. Um ião, acelerado por uma diferença de potencial de $+115$ V, tem um acréscimo de energia cinética $\Delta E_c = 7,37 \times 10^{-17}$ J. Determine a carga do ião. **R:** $-6,4 \times 10^{-19}$ C
38. Um eletrão, movendo-se ao longo do eixo dos x , tem uma velocidade inicial $v_0 = 3,7 \times 10^6$ m/s quando passa na origem. Por ação do campo elétrico, a sua velocidade é reduzida para $v = 1,4 \times 10^5$ m/s no ponto $x = 2,0$ cm. Determine a diferença de potencial $\Delta\Phi$ entre a origem e este ponto. Qual dos pontos está a um potencial mais elevado? **R:** -39 V; potencial mais elevado na origem
39. Qual a energia potencial do átomo de hidrogénio, E_p , em função da distância r a que o seu eletrão se encontra do núcleo? **R:** $-K \frac{e^2}{r}$
40. Uma carga pontual $q_1 = +2,00 \mu\text{C}$ é colocada na origem do eixo dos x . Uma segunda carga $q_2 = -3,00 \mu\text{C}$ é colocada na posição $x = 100$ cm. Em que ponto ou pontos do eixo dos x é que o potencial elétrico se anula? **R:** -200 cm; $+40,0$ cm
41. Duas cargas pontuais, $q_1 = +5,00 \text{ nC}$ e $q_2 = -3,00 \text{ nC}$, estão separadas por uma distância de $35,0$ cm. Sabendo que $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$, determine:
 - A energia potencial do sistema constituído pelas duas cargas. **R:** $-3,85 \times 10^{-7}$ J
 - O potencial elétrico no ponto que se situa na reta que passa pelas cargas e é equidistante das duas? **R:** 103 V
42. Duas cargas, $-q$ e $+q$, estão à distância a uma da outra. Determine o potencial no ponto P, situado à distância b do ponto médio do segmento de reta que une as duas cargas. **R:** 0 V
43. Três cargas $+q$ estão colocadas em três vértices de um quadrado de lado l . Determine o potencial elétrico no quarto vértice. **R:** $K \frac{q}{l} \left(2 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$
44. Três cargas de igual módulo, $|q| = 7,0 \mu\text{C}$, encontram-se nos vértices de um triângulo isósceles de lados $a = 2,0$ cm e $b = 4,0$ cm (ver figura). Sabendo que $K = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$, determine o potencial elétrico no ponto médio da base. **R:** $-1,1 \times 10^7$ V
45. Considere um fio uniformemente carregado, de comprimento l e densidade linear de carga λ . Determine o potencial elétrico num ponto P situado na reta que passa pelo fio e a uma distância a do extremo mais próximo do fio. **R:** $K\lambda \ln \frac{l+a}{a}$
46. Considere um anel uniformemente carregado, de raio R e carga total Q . Determine o potencial elétrico no eixo do anel, à distância x do plano que contém o anel.
R: $K \frac{Q}{\sqrt{R^2+x^2}}$



47. Considere um disco uniformemente carregado, de raio R e densidade superficial de carga σ , com um buraco central, circular e de raio R_0 . Determine o potencial elétrico no eixo do disco, à distância x do plano que contém o disco. Determine também o potencial elétrico no caso em que $R_0 = 0$ (disco sem buraco no meio).

R: $2\pi K\sigma (\sqrt{x^2 + R^2} - \sqrt{x^2 + R_0^2})$; $2\pi K\sigma (\sqrt{x^2 + R^2} - |x|)$

48. Considere um anel uniformemente carregado, de raio R e carga Q , cujo eixo de simetria é o eixo dos x . Uma partícula pontual, de carga Q e massa M , encontra-se no centro do anel. Quando é deslocada ligeiramente, a partícula acelera ao longo do eixo dos x em direção ao infinito. Mostre que a velocidade desta partícula, no infinito, é

dada pela expressão $\sqrt{\frac{Q^2}{2\pi\epsilon_0 MR}}$.

49. Considere uma esfera oca uniformemente carregada, de carga Q , raio exterior b e raio interior a . Usando os resultados do exercício 32, determine o potencial elétrico a uma distância r do centro da esfera, se:

- $r \geq b$. **R:** $K \frac{Q}{r}$
- $a \leq r < b$. **R:** $K \frac{Q}{2r} \frac{r^3 - 3b^2r + 2a^3}{a^3 - b^3}$
- $r < a$. **R:** $\frac{3}{2} KQ \frac{a+b}{a^2+ab+b^2}$

50. Considere duas superfícies esféricas, concêntricas e uniformemente carregadas com raios r_1 e r_2 ($r_1 < r_2$) e cargas Q_1 e Q_2 , respectivamente. Usando os resultados do exercício 31, determine o potencial elétrico a uma distância r do centro das esferas, se:

- $r > r_2$. **R:** $K \frac{Q_1 + Q_2}{r}$
- $r_1 < r \leq r_2$. **R:** $K \frac{Q_1}{r} + K \frac{Q_2}{r_2}$
- $r \leq r_1$. **R:** $K \frac{Q_1}{r_1} + K \frac{Q_2}{r_2}$

Condensadores

51. Duas placas condutoras, iguais, paralelas e com uma densidade superficial de carga $+\sigma$ e $-\sigma$, estão separadas por uma distância de 5,0 mm e encontram-se ligadas a uma bateria de 90 V. Se a distância entre as placas for muito menor do que as dimensões das mesmas, determine:

- A intensidade do campo elétrico entre as placas. **R:** $1,8 \times 10^4 \text{ N/C}$
- A densidade superficial de carga. **R:** $1,6 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2$

52. A intensidade do campo elétrico no interior de um condensador plano é de $2,4 \times 10^4 \text{ V/m}$. Sabendo que a distância entre as placas é $d = 1,8 \text{ cm}$, determine a diferença de potencial entre elas e a energia cinética ganha por um protão que se move da placa positiva para a negativa. Use $q_p = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$. **R:** $4,3 \times 10^2 \text{ V}$; $6,9 \times 10^{-17} \text{ J}$

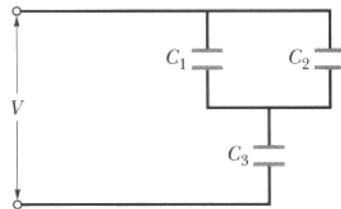
53. Considere o circuito elétrico indicado na figura. Os condensadores têm capacidades $C_1 = 10,0 \mu\text{F}$, $C_2 = 5,00 \mu\text{F}$ e $C_3 = 4,00 \mu\text{F}$. Sabendo que a diferença de potencial é $V = 100 \text{ V}$, determine:

a. A capacidade equivalente do circuito.

R: $3,16 \mu\text{F}$

b. A diferença de potencial no condensador 3.

R: $78,9 \text{ V}$



Corrente elétrica

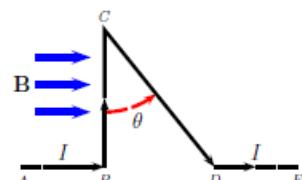
54. Quantos eletrões por segundo passam numa dada secção de um condutor se esse condutor for percorrido por uma corrente elétrica de intensidade $I = 0,70 \text{ A}$. Use $|q_e| = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$. **R:** $4,4 \times 10^{18}$ eletrões/s
55. Num dado condutor tem-se um fluxo de eletrões de $0,60 \text{ mol}$ em 45 minutos . Determine a carga total que atravessa o condutor e a intensidade da corrente. Use $|q_e| = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ e $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. **R:** $5,8 \times 10^4 \text{ C}$; 21 A
56. Um fio de cobre transporta uma corrente de $5,00 \text{ A}$. Sabendo que o fio tem uma secção transversal de área igual a $3,00 \text{ mm}^2$ e que a massa molar e a densidade do cobre são, respectivamente, $63,5 \text{ g/mol}$ e $8,92 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, determine a velocidade de deriva dos eletrões no fio. Assuma que, no cobre, há um eletrão de condução por cada átomo. Use $|q_e| = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ e $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. **R:** $1,23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
57. Um fio condutor de secção transversal circular, com diferentes diâmetros em diferentes partes do fio, transporta uma corrente de $5,00 \text{ A}$. Numa dada secção transversal S_1 a área é $A_1 = 0,400 \text{ cm}^2$.
- Determine a densidade de corrente em S_1 . **R:** $1,25 \times 10^5 \text{ A/m}^2$
 - Se a densidade de corrente numa outra secção S_2 for um quarto da densidade de corrente em S_1 , qual é o raio do condutor em S_2 ? **R:** $0,714 \text{ cm}$
58. Uma corrente elétrica não estacionária é dada por $I(t) = I_0 \sin(\omega t)$, onde $I_0 = 100 \text{ A}$ e $\omega = 120\pi \text{ rad/s}$. Determine a carga total transportada pela corrente no intervalo de tempo compreendido entre $t_i = 0 \text{ s}$ e $t_f = 1/240 \text{ s}$. **R:** $0,265 \text{ C}$
59. Suponha que uma corrente elétrica num condutor decresce exponencialmente no tempo, $I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$, onde I_0 e τ são constantes, expressas em amperes e segundos, respectivamente. Determine a quantidade de carga que passa numa dada secção do condutor no intervalo de tempo compreendido entre $t = 0 \text{ s}$ e:
- $t = \tau$. **R:** $0,632 I_0 \tau$
 - $t = 10 \tau$. **R:** $0,99995 I_0 \tau$
 - $t = +\infty$. **R:** $I_0 \tau$

60. Considere um fio de chumbo de comprimento $l = 1,00 \text{ m}$ e raio $r = 0,321 \text{ mm}$. Sabendo que a resistividade do chumbo é $\rho = 2,20 \times 10^{-7} \Omega \text{ m}$, determine:
- A resistência do fio. **R:** $0,680 \Omega$
 - A intensidade da corrente elétrica no fio, se uma diferença de potencial $V = 10,0 \text{ V}$ for mantida através do fio. **R:** $14,7 \text{ A}$
 - A intensidade dos vetores densidade de corrente e campo elétrico no fio, supondo que este é percorrido por uma corrente de $2,00 \text{ A}$. **R:** $6,18 \times 10^6 \text{ A/m}^2$; $1,36 \text{ V/m}$
61. Um fio condutor, de resistência R_0 e comprimento L_0 , é cortado em três segmentos iguais. Os segmentos são unidos, de modo a formar um novo fio de comprimento $L = L_0/3$. Determine a resistência R do novo fio em função de R_0 . **R:** $R_0/9$
62. Dois fios condutores, um de cobre e outro de alumínio, têm o mesmo comprimento e a mesma resistência. Sabendo que as resistividades do cobre e do alumínio são, respectivamente, $\rho_c = 1,68 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ e $\rho_a = 2,65 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$, determine a razão entre os raios dos condutores, r_c/r_a . **R:** $0,796$
63. Pretende-se fabricar um fio condutor com resistência igual a $0,500 \Omega$ a partir de $1,00 \text{ g}$ de cobre. Supondo que se utiliza todo o cobre disponível e que o fio é uniforme, determine qual deverá ser o comprimento e o diâmetro do fio. A densidade do cobre é $\rho_c = 8,92 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. **R:** $1,83 \text{ m}$; $2,80 \times 10^{-4} \text{ m}$
64. Considere um circuito formado por uma bateria de 12 V e três resistências idênticas, de 10Ω cada uma. Determine a corrente que passa pela bateria se:
- as resistências estiverem ligadas em série. **R:** $0,40 \text{ A}$
 - as resistências estiverem ligadas em paralelo. **R:** $3,6 \text{ A}$
 - duas resistências estiverem ligadas em paralelo e esse conjunto estiver ligado em série com a terceira resistência. **R:** $0,80 \text{ A}$

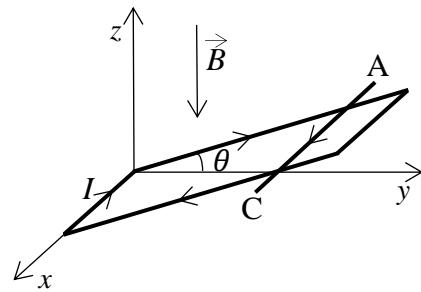
Força magnética

65. Uma partícula com carga q entra com velocidade \vec{v} numa região do espaço onde existe um campo magnético \vec{B} . Indique, para cada uma das situações seguintes, a direção e o sentido da força magnética \vec{F}_B exercida sobre a partícula (q , v e B são positivos):
- $\vec{v} = v\vec{e}_y$ e $\vec{B} = B\vec{e}_x$. **R:** sentido negativo do eixo dos z
 - $\vec{v} = -\frac{\sqrt{2}}{2}v(\vec{e}_x + \vec{e}_y)$ e $\vec{B} = B\vec{e}_x$. **R:** sentido positivo do eixo dos z
 - $\vec{v} = -\frac{\sqrt{2}}{2}v(\vec{e}_x + \vec{e}_y)$ e $\vec{B} = -B\vec{e}_z$. **R:** situada no plano xy , fazendo um ângulo de -45° com o eixo dos x
66. Uma partícula de carga q , com velocidade $\vec{v} = v\vec{e}_x$ ($v > 0$), entra numa região do espaço onde existe um campo elétrico uniforme $\vec{E} = -E\vec{e}_y$, cuja intensidade é $E = 80 \text{ kV/m}$. Perpendicular a \vec{E} e no sentido negativo do eixo dos z existe um campo magnético uniforme \vec{B} de intensidade $B = 0,40 \text{ T}$. Qual deve ser a velocidade da partícula para que esta não seja desviada da sua trajetória inicial. **R:** $2,0 \times 10^5 \text{ m/s}$

67. Um eletrão, que se desloca ao longo do eixo dos x com velocidade $\vec{v} = v\hat{e}_x$ ($v > 0$), atravessa um campo magnético uniforme perpendicular à velocidade, sofrendo uma deflexão no sentido negativo do eixo dos y . Determine a orientação do campo magnético. **R:** sentido negativo do eixo dos z
68. Um protão, que se move a uma velocidade de $4,0 \times 10^6$ m/s através de um campo magnético uniforme de 1,7 T, é atuado por uma força magnética de $8,2 \times 10^{-13}$ N. Determine o ângulo entre \vec{v} e \vec{B} . Use $|q_e| = 1,602 \times 10^{-19}$ C. **R:** 49° ou 131°
69. Um eletrão, depois de ser acelerado a partir do repouso por uma diferença de potencial de 375 V, entra numa região do espaço onde existe um campo magnético uniforme de intensidade 4,00 mT. Sabendo que a velocidade inicial do eletrão é perpendicular ao campo magnético, determine o raio, a velocidade angular e o período do movimento circular uniforme do eletrão. Use $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg e $q_e = -1,602 \times 10^{-19}$ C. **R:** 1,63 cm; $7,03 \times 10^8$ rad/s; $8,93 \times 10^{-9}$ s
70. Um eletrão com uma velocidade de $5,0 \times 10^6$ m/s entra numa região do espaço onde existe um campo magnético uniforme de intensidade $B = 0,50$ T. Sabendo que a velocidade inicial do eletrão é perpendicular ao campo magnético, determine a intensidade da força magnética que atua sobre o eletrão e o raio R da circunferência por este descrita. **R:** $4,0 \times 10^{-13}$ N; 57 μm .
71. Um ião monovalente executa um movimento circular uniforme no seio de um campo magnético uniforme de intensidade $5,0 \times 10^{-2}$ T. Sabendo que o ião dá cinco voltas completas em 1,5 ms, determine a massa do ião. Use para a carga elementar o valor $1,602 \times 10^{-19}$ C. **R:** $3,8 \times 10^{-25}$ kg
72. Um ião monovalente de massa m_1 , que é acelerado do repouso por uma diferença de potencial $\Delta\Phi$, percorre um semicírculo de raio R_1 quando sujeito a um campo magnético uniforme perpendicular à sua velocidade. Por sua vez, um outro ião, bivalente, de massa m_2 , que é também acelerado a partir do repouso pela mesma diferença de potencial, percorre um semicírculo de raio $R_2 = 2R_1$ quando sujeito ao mesmo campo magnético. Determine a razão das massas dos dois iões, m_2/m_1 .
R: 8
73. Um fio condutor, com um comprimento de 2,8 m, é percorrido por uma corrente elétrica de 5,0 A. Determine a intensidade da força magnética que é exercida sobre esse fio se ele for submetido a um campo magnético uniforme, $|\vec{B}| = 0,39$ T, cuja direção forma um ângulo de 60° com o fio. **R:** 4,7 N
74. Determine a força magnética exercida em cada segmento do fio condutor representado na figura. Considere que $B = 0,15$ T, $I = 5,0$ A, $L_{BC} = 16$ cm e $\theta = 35^\circ$. **R:** 0 N; 0,12 N; 0,12 N; 0 N

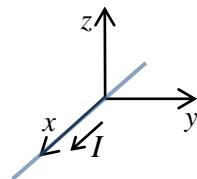


75. Considere o circuito elétrico representado na figura. A barra AC, que tem uma massa de 50 g, pode deslizar livremente ao longo de dois fios metálicos paralelos, afastados entre si de 40 cm e que fazem um ângulo $\theta = 37^\circ$ com o plano xy . A corrente elétrica I flui através desses fios e da barra. O campo magnético, direcionado no sentido negativo do eixo dos z , tem uma intensidade 0,20 T. Determine o valor que a corrente I deve ter para que a barra permaneça imóvel (despreze o atrito e a torção na barra). Use para a aceleração da gravidade o valor $g = 9,80 \text{ m/s}^2$. **R:** 4,6 A



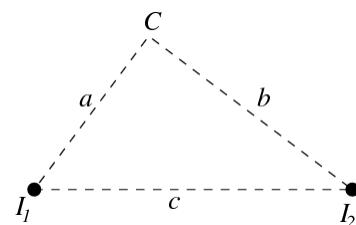
76. Um fio condutor, com uma massa por unidade de comprimento de 0,50 g/cm, é percorrido por uma corrente elétrica de 2,0 A. Sabendo que o fio está orientado ao longo do eixo dos x (ver figura), determine a direção, o sentido e a intensidade mínima do campo magnético \vec{B} necessário para levantar este fio? Use para a aceleração da gravidade o valor $g = 9,80 \text{ m/s}^2$.

$$\mathbf{R:} \vec{B} = 0,25 \vec{e}_y (\text{T})$$

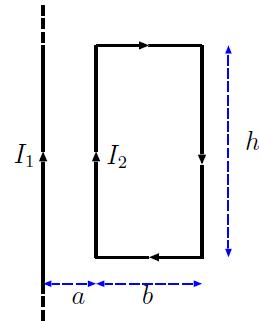


Lei de Bio-Savart

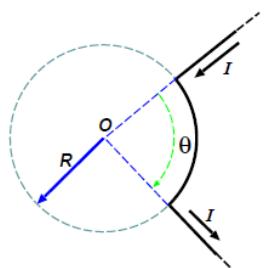
77. Dois fios retilíneos muito longos, paralelos entre si, são percorridos por correntes elétricas com o mesmo sentido, mas diferentes intensidades, $I_1 = 5,0 \text{ A}$ e $I_2 = 10 \text{ A}$. Sabendo que $a = 3,0 \text{ cm}$, $b = 4,0 \text{ cm}$ e $c = 5,0 \text{ cm}$ (ver figura), determine a intensidade do campo magnético no ponto C. Use para a permeabilidade magnética do vácuo o valor $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$. **R:** $6,0 \times 10^{-5} \text{ T}$



78. Um fio condutor retilíneo muito longo, percorrido por uma corrente $I_1 = 30 \text{ A}$, e um circuito retangular, percorrido por uma corrente $I_2 = 20 \text{ A}$, situam-se no mesmo plano (ver figura). Sabendo que $a = 1,0 \text{ cm}$, $b = 8,0 \text{ cm}$ e $h = 30,0 \text{ cm}$, determine a direção, o sentido e a intensidade da força magnética que atua sobre o circuito devido à corrente I_1 . Use $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$. **R:** $3,2 \times 10^{-3} \text{ N}$, no plano do circuito, horizontal, da direita para a esquerda

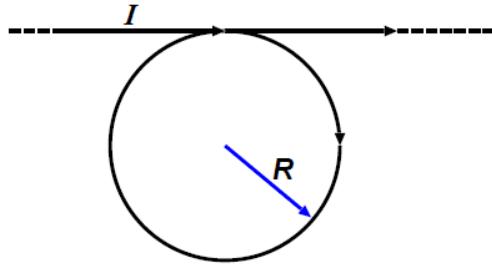


79. Um fio condutor, constituído por duas secções retilíneas e um arco circular de raio R e amplitude θ , é percorrido por uma corrente elétrica I (ver figura). Determine a direção, o sentido e a intensidade do campo magnético no centro da circunferência. **R:** $\frac{\mu_0 I \theta}{4\pi R}$, perpendicular ao plano que contém o fio condutor, apontando para dentro



80. Um fio condutor, constituído por um anel circular de raio R e duas secções retilíneas muito longas, é percorrido por uma corrente I (ver figura). Determine o campo magnético no centro do anel.

R: $\frac{\mu_0 I}{2R} \left(1 + \frac{1}{\pi}\right)$, perpendicular ao plano que contém o fio condutor, apontando para dentro



Lei de Ampère

81. Um condutor cilíndrico de raio R é percorrido por uma corrente I , a qual se encontra uniformemente distribuída pela sua secção transversal. Determine a intensidade do campo magnético a uma distância r do eixo do condutor, se:

a. $r \leq R$. R: $\frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r$

b. $r > R$. R: $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

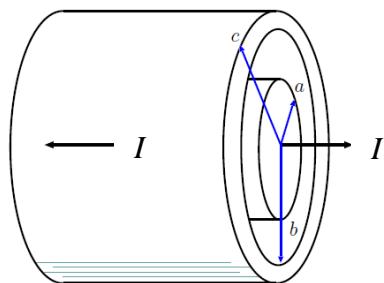
82. Num cabo coaxial, uma corrente elétrica I percorre o condutor cilíndrico interior, de raio a , enquanto uma outra corrente de igual intensidade, mas de sentido oposto, percorre o condutor cilíndrico oco exterior, cujos raios interno e externo são b e c , respectivamente (ver figura). Sabendo que as duas correntes elétricas se distribuem uniformemente pelas secções transversais dos respetivos condutores, determine a intensidade do campo magnético a uma distância r do eixo dos cilindros, se:

a. $r \leq a$. R: $\frac{\mu_0 I}{2\pi a^2} r$

b. $a < r \leq b$. R: $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

c. $b < r \leq c$. R: $\frac{\mu_0 I}{2\pi r(c^2 - b^2)} \frac{c^2 - r^2}{c^2 - b^2}$

d. $r > c$. R: 0



83. Nióbio metálico torna-se supercondutor (ou seja, deixa de oferecer resistência à passagem de corrente elétrica) quando arrefecido abaixo da temperatura de 9,0 K. Se a supercondutividade desaparecer quando o campo magnético superficial exceder 0,10 T, determine a corrente elétrica máxima I_{\max} que um fio de nióbio de 2,0 mm de diâmetro pode transportar, permanecendo supercondutor. Use $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$. R: $5,0 \times 10^2 \text{ A}$

84. Um conjunto de 100 fios condutores retilíneos e longos formam um cilindro de raio $R = 0,50 \text{ cm}$. Sabendo que cada fio transporta uma corrente de $2,0 \text{ A}$ e usando $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$, determine:

- A força magnética por unidade de comprimento que atua num fio situado a $0,20 \text{ cm}$ do eixo do cilindro. R: $6,4 \times 10^{-3} \text{ N/m}$, radial, dirigida para o centro
- Quantas vezes maior é a força magnética exercida num fio à superfície do cilindro em comparação com a força calculada na alínea anterior? R: 2,5

85. Dois fios condutores retilíneos são colocados no plano xy paralelamente ao eixo dos x , ficando cada um deles à distância a do eixo dos y . Sabendo que cada um dos fios é percorridos por uma corrente I , cujo sentido corresponde ao sentido negativo do eixo dos x , desenhe as linhas do campo magnético no plano yz . A que distância d , ao longo do eixo dos z , tem o campo magnético um valor máximo? **R:** $d = a$