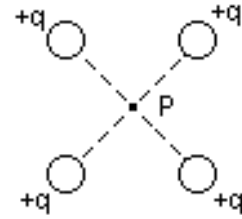


Carga Elétrica e Lei de Coulomb

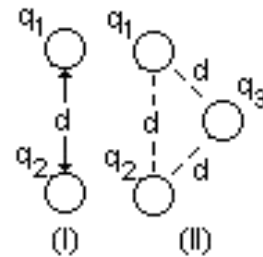
Ref.: [1] Fundamentos de Física Vol.3 Halliday, Resnick e Walker, Cap.23. [2] Física, Vol. 2, Keller, Gettys e Skove, Cap. 20.

1. Consideremos o ponto P no centro de um quadrado formado por 4 cargas iguais e positivas, fixas, como mostrado na figura ao lado. Se colocarmos uma carga positiva em P , qual será o módulo, a direção e o sentido da força que irá atuar sobre ela? Substituindo esta carga positiva por uma negativa obtenha novamente o módulo, a direção e o sentido da força que irá atuar sobre a carga. Compare os resultados e explique.

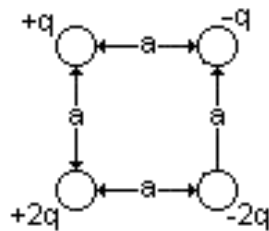


2. Qual deve ser a distancia entre duas carga puntiformes $q_1 = 26 \mu\text{C}$ e $q_2 = -47 \mu\text{C}$ para que o modulo da força eletrostática entre elas seja igual a 5.7 N ?
3. A figura (I) ao lado mostra duas cargas q_1 e q_2 , mantidas a uma distancia fixa d uma da outra.

- a. Qual é o modulo da força que atua sobre q_1 ? Suponha que $q_1 = q_2 = 20 \mu\text{C}$ e $d = 1.5 \text{ m}$.
- b. Uma terceira carga $q_3 = 20 \mu\text{C}$ é colocada na posição indicada na figura (II) ao lado. Qual será agora a força que atua sobre q_1 ?

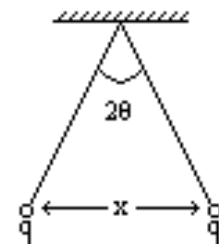


4. Na figura ao lado quais são os componentes horizontal e vertical da força eletrostática resultante que atua sobre a carga no vértice inferior esquerdo do quadrado, sendo $q = 0.1 \mu\text{C}$ e $a = 5 \text{ cm}$.



5. Duas esferas condutoras idênticas, mantidas fixas, atraem-se com uma força eletrostática de modulo igual a 0.108 N quando separadas por 50 cm . As esferas são então ligadas por um fio condutor fino. Quando o fio é removido, as esferas se repelem com uma força eletrostática de modulo igual a 0.0360 N . Quais eram as cargas iniciais das esferas ?

6. Duas pequenas esferas condutoras de massa m e carga q , estão suspensas por fios isolantes de comprimento L , como mostrado na figura ao lado. Sendo 2θ o angulo formado pelos dois fios, demonstre que: $q^2 \cdot \cos(\theta) = 16\pi \cdot \epsilon_0 \cdot L^2 \cdot m \cdot g \cdot \text{sen}^3(\theta)$. Supondo que o angulo θ é pequeno e que x é a separação entre as duas cargas, mostre que $x = [q^2 \cdot L / (2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot m \cdot g)]^{1/3}$

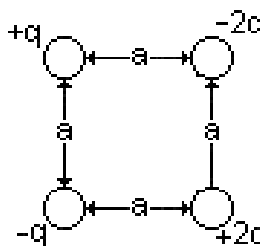
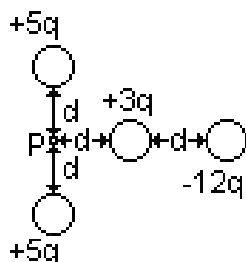
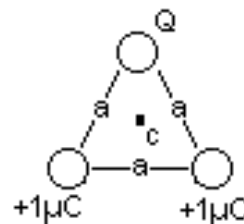


7. Uma carga Q é distribuída uniformemente sobre um fio semi-circular de raio R . Calcule a força que atua sobre uma carga q colocada no centro. Generalize o resultado para o caso onde q esta posicionada verticalmente acima a uma distancia D do centro do semicírculo (veja exemplo do circulo uniformemente carregado).

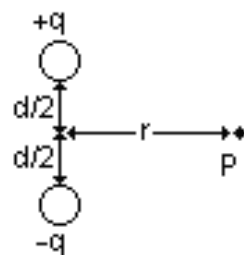
Campo Elétrico

Ref.: [1] Fundamentos de Física Vol.3 Halliday, Resnick e Walker, Cap.23. [2] Física, Vol. 2, Keller, Gettys e Skove, Cap. 20.

8. Na figura ao lado, as cargas estão localizadas nos vértices de um triângulo equilátero. Para que valor Q (sinal e módulo) o campo elétrico resultante se anula no ponto central, C , do triângulo ?
9. Qual deve ser o módulo de uma carga puntiforme escolhida de modo a criar um campo elétrico de 1 N/C em pontos a 1 m de distancia ?
10. Na figura abaixo a esquerda, qual é o campo elétrico (módulo, direção e sentido) no ponto P criado pelas 4 cargas mostradas.



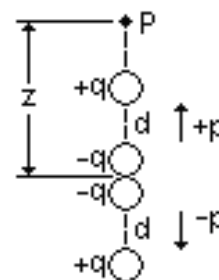
11. Qual o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico no centro do quadrado, mostrado na figura acima a direita, sabendo que $q = 0.01 \mu\text{C}$ e $a = 50 \text{ cm}$?
12. Determine o campo elétrico (módulo, direção e sentido) devido a um dipolo elétrico em um ponto localizado a uma distancia $r \gg d$ sobre a mediatriz do segmento que une as cargas (ver figura ao lado). Expresse sua resposta em termos do momentum de dipolo p .



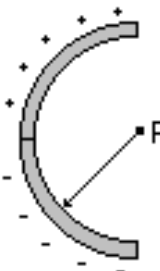
13. A figura ao lado (localizada ligeiramente abaixo) mostra um quadrupolo elétrico. Ele consiste em 2 dipolos cujos momentos de dipolo tem módulos iguais mas sentidos opostos. Mostre que o valor de E sobre o eixo do quadrupolo, em pontos que distam de z do seu centro (suponha $z \gg d$), é dado por:

$$E = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 z^4}$$

onde $Q (= 2qd^2)$ é o momento quadrupolar desta distribuição.



14. Uma barra fina de plástico é encurvada na forma de um semicírculo de raio r . Uma carga $+Q$ está uniformemente distribuída ao longo da metade superior e uma carga $-Q$ está uniformemente distribuída ao longo da metade inferior, como mostrado na figura ao lado. Determine o campo elétrico E no ponto P , localizado no centro do semicírculo.



15. Cargas q , $2q$ e $3q$ são colocadas nos vértices de um triângulo equilátero de lado a . Determine o módulo do campo elétrico num ponto localizado no centro deste triângulo.
16. A que distancia, ao longo do eixo central de um disco de plástico de raio R , uniformemente carregado, o módulo do campo elétrico é igual a metade do seu valor no centro da superfície do disco ? (Sugestão: Veja o resultado obtido em Fundamentos de Física Vol.3 Halliday, Resnick e Walker, Cap. 24, Pag. 26, 4ª ed.)
17. Qual é a aceleração de um elétron num campo elétrico uniforme de 1.4×10^6 N/C ? Quanto tempo levaria o elétron, partindo do repouso, para atingir um decimo da velocidade da luz ? Que distancia ele percorreria nesse tempo ? (Use mecânica Newtoniana.)
18. Um objeto tendo uma massa de 10 g e uma carga de $+8 \times 10^{-5}$ C é colocado num campo elétrico \mathbf{E} com $E_x = 3 \times 10^3$ N/C, $E_y = -600$ N/C, e $E_z = 0$. (a) Quais são o módulo, a direção e o sentido da força sobre o objeto ? (b) Se o objeto for abandonado a partir do repouso na origem, quais serão as suas coordenadas após 3s?
19. Um dipolo elétrico constituído de cargas de modulo 1.5 nC separado por $6.2 \mu\text{m}$ se encontra num campo elétrico de intensidade 1100 N/C. (a) qual o módulo do momento de dipolo elétrico ? (b) Qual a diferença de energia potencial correspondente às orientações do dipolo paralela e antiparalela ao campo ?
20. Um dipolo elétrico é constituido de cargas $+2e$ e $-2e$ (onde e é a carga do elétron) separadas por 0.78 nm. Ele está num campo elétrico de intensidade 3.4×10^6 N/C. Calcular o módulo do torque sobre o dipolo quando o mesmo está (a) paralelo, (b) perpendicular e (c) oposto ao campo elétrico.

Lei de Gauss

Ref.: [1] Fundamentos de Física Vol.3 Halliday, Resnick e Walker, Cap.23. [2] Física, Vol. 2, Keller, Gettys e Skove, Cap. 20.

21. Uma esfera condutora uniformemente carregada de 1.2 m de diâmetro, possui uma densidade superficial de cargas de $8.1 \mu\text{C}/\text{m}^2$. (a) Determine a carga sobre a esfera. (b) Qual será o fluxo elétrico total que esta saindo da esfera ?
22. Uma esfera isolante, de raio R encontra-se uniformemente carregada sendo ρ sua densidade volumétrica de cargas. Aplicando a lei de Gauss, determine o campo elétrico resultante em função da distancia r , medida a partir do centro da esfera, quando: (a) $r > R$ e (b) $r < R$. Faça um gráfico dos resultados obtidos supondo $\rho = 1 \mu\text{C}/\text{m}^3$ e $R = 3$ cm.

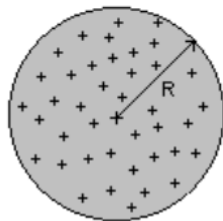


Fig. Problema 22

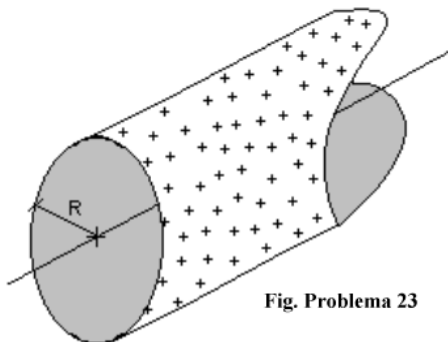


Fig. Problema 23

23. Uma casca cilíndrica (tubo) metálica muito longa (infinita), de raio R , encontra-se uniformemente carregada sendo λ a carga medida por unidade de comprimento deste tubo. Aplicando a lei de Gauss, determine o campo elétrico resultante em função da distancia r , medida a partir do eixo do tubo metálico, quando: (a) $r > R$ e (b) $r < R$. Faça um gráfico dos resultados obtidos supondo $\lambda = 0.02 \mu\text{C}/\text{m}$ e $R = 3 \text{ cm}$. Compare este resultado com o obtido para o caso de um fio uniformemente carregado.
24. Duas placas planas de área A dispostas paralelamente estão carregadas com cargas opostas $+Q$ e $-Q$ respectivamente. Considerando que as placas encontram-se isoladas e separadas por um distancia d , obtenha o modulo com campo elétrico no para um ponto localizado entre estas placas.

Problemas Suplementares

25. Uma carga negativa fica em equilíbrio quando colocada no ponto médio do segmento reto que une duas cargas positivas. Mostre que essa posição de equilíbrio é estável para pequenos deslocamentos da carga negativa em direções perpendiculares ao segmento, mas é instável para pequenos deslocamentos ao longo dele.
26. Considere que uma partícula de massa M e carga negativa $-q$ esta limitada a mover-se sobre a mediatriz do segmento que liga duas cargas positivas $+Q$, separadas por uma distancia d . Em outras palavras, a partícula $-q$ pode mover-se somente na direção perpendicular a linha que une as cargas $+Q$, interceptando a mesma a uma distancia $d/2$ de cada uma das cargas positivas. Suponha que a carga $-q$ esta inicialmente no ponto médio entre as cargas $+Q$ e que $-q$ é deslocada na direção perpendicular por uma distancia $y \ll d$. Mostre que $-q$ ira executar um movimento harmônico simples em torno do centro com frequência:

$$\omega = 2 \cdot \sqrt{Q \cdot q / \pi \cdot \epsilon_0 \cdot m \cdot d^3}$$

27. Uma distribuição de cargas esfericamente simétrica tem densidade volumétrica de cargas dada por: $\rho(r) = \rho_0 \cdot \exp(-r/a)$ onde ρ_0 é uma constante e r a distancia a origem do nosso referencial. (a) calcule a carga total da distribuição e (b) o campo elétrico para um r qualquer.
28. Uma esfera isolante de raio R_1 , uniformemente carregada com uma carga $+q$, esta colocada no centro de uma casca esférica condutora de raio R_2 , carregada com uma carga $-q$. Calcule o campo elétrico para qualquer distancia r do centro destas esferas.

Algumas Constantes úteis

Velocidade da luz no vácuo:	$c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$
Carga do elétron:	$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Permissividade elétrica do vácuo:	$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$
Valor da constante na lei de Coulomb:	$\frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

Respostas

1. A força sobre uma carga em P sempre será nula (equilíbrio mecânico).
2. $r = 1.39 \text{ m}$
3. (a) $F = 1.6 \text{ N}$, repulsão; (b) $F = 2.8 \text{ N}$ (módulo)
4. $\mathbf{F} = 0.169 \cdot \mathbf{x} - 0.046 \cdot \mathbf{y} \text{ N}$
5. $|q| = 3 \mu\text{C}$, $|Q| = 1 \mu\text{C}$ sendo uma positiva e outra negativa
6. Exercício de demonstração
7. $\mathbf{F}_q = [1/(4\pi \cdot \epsilon_0)] \cdot [q \cdot Q / (R^2 + D^2)^{3/2}] \cdot (-2 \cdot R \cdot \mathbf{x} + D \cdot \pi \cdot \mathbf{z})$, no centro do semicírculo $\mathbf{F}_q = \mathbf{F}_q(D=0)$
8. $Q = + 1 \mu\text{C}$
9. $q = 0.111 \text{ nC}$
10. $E = 0$
11. $|E| = 1017.1 \text{ N/C}$
12. $\mathbf{E} = [1/(4\pi \cdot \epsilon_0)] \cdot [-\mathbf{p} / (r^2 + d^2/4)^{3/2}]$
13. Exercício de demonstração
14. $\mathbf{E} = [1/(\pi^2 \cdot \epsilon_0)] \cdot [-Q / R^2] \cdot \mathbf{y}$
15. $E = [3 \cdot \sqrt{3} / (4\pi \cdot \epsilon_0)] \cdot [q / a^2]$
16. $d = R / \sqrt{3}$
17. $a = 2.46 \times 10^{17} \text{ m/s}^2$, $t = 0.122 \text{ ns}$ e $d = 1.83 \text{ mm}$
18. (a) $F = 0.245 \text{ N}$, 11.3° no sentido horário do eixo +x ou $\mathbf{F} = 0.24 \cdot \mathbf{x} - 0.048 \cdot \mathbf{y}$
(b) $x = 108 \text{ m}$ e $y = -21.6 \text{ m}$
19. (a) $p = 9.3 \times 10^{-15} \text{ C} \cdot \text{m}$, (b) $U = 2.05 \times 10^{-11} \text{ J}$
20. (a) $\tau = 0$, (b) $\tau = p \cdot E = 8,48 \times 10^{-22} \text{ N} \cdot \text{m}$, (c) $\tau = 0$
21. (a) $q = 36.64 \mu\text{C}$, (b) $\Phi = 4.14 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$
22. (a) $r > R \Rightarrow E = [R^3 / (3 \cdot \epsilon_0)] \cdot [\rho / r^2]$, (b) $r < R \Rightarrow E = [1 / (3 \cdot \epsilon_0)] \cdot [\rho \cdot r]$
23. (a) $r > R \Rightarrow E = [1 / (2\pi \cdot \epsilon_0)] \cdot [\lambda / r]$, (b) $r < R \Rightarrow E = 0$
24. $E = \sigma / \epsilon_0$ onde $\sigma = Q / A$