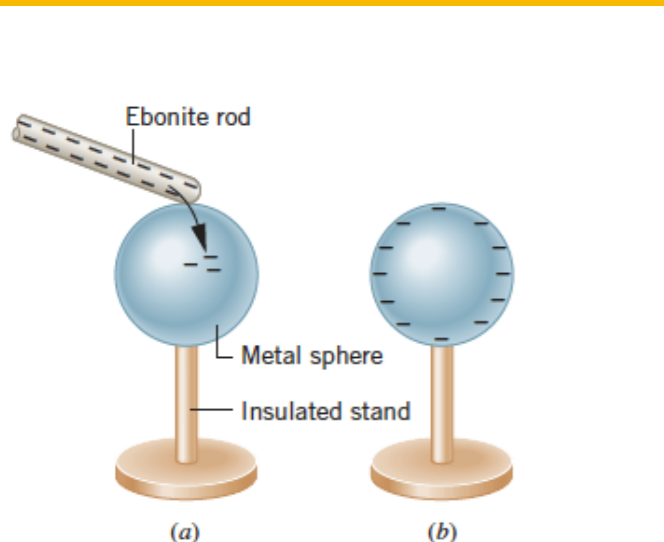
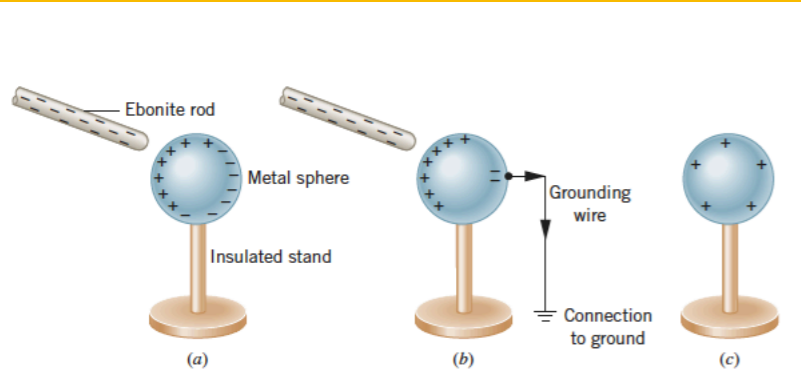


Eletrização por contato



quando uma carga é colocada num condutor, a situação de equilíbrio a carga se espalha pela superfície.

Eletrização por proximidade

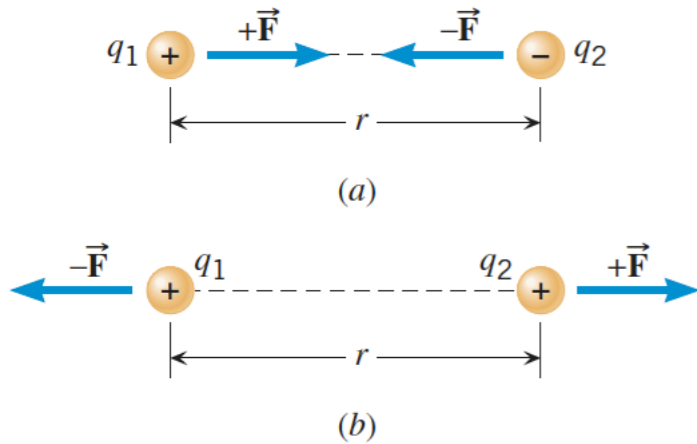


quando uma carga é colocada próxima a um condutor, podemos ter uma concentração de carga negativas de um lado e falta de carga negativas do outro lado (“cargas positivas”).

Lei de Coulumb

Força repulsiva: se repelem , se cargas de mesmo sinal.

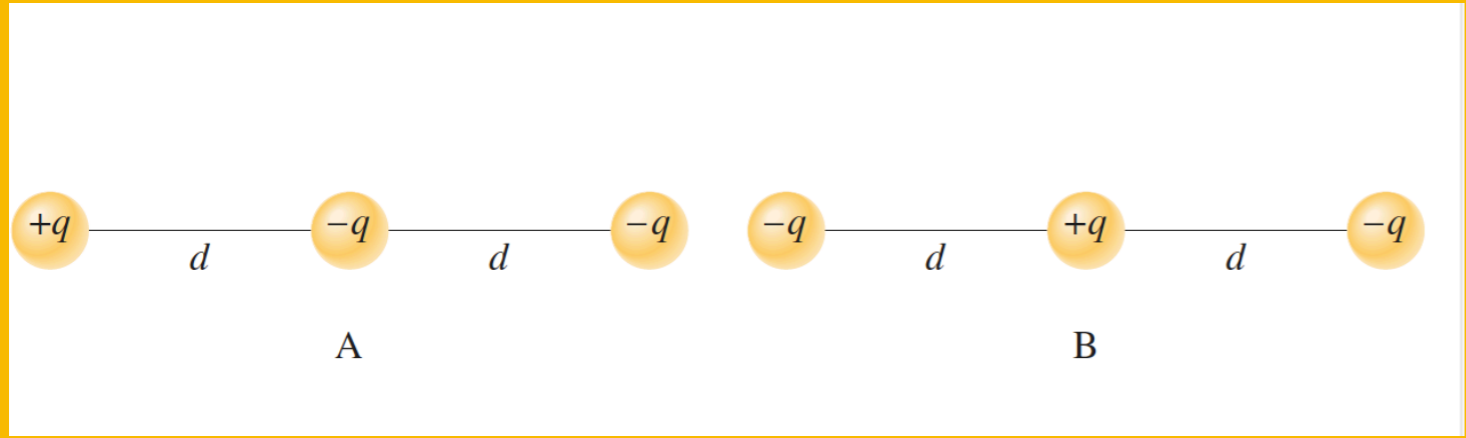
Força atrativa: se atraem , se cargas de sinal oposto.



$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$$k = (8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)$$

A força é dado em Newton, N.

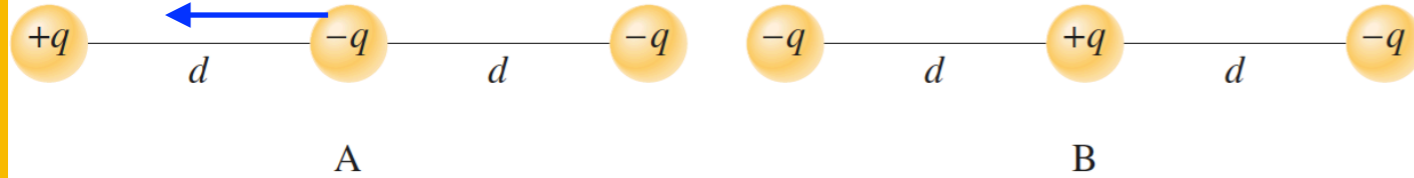
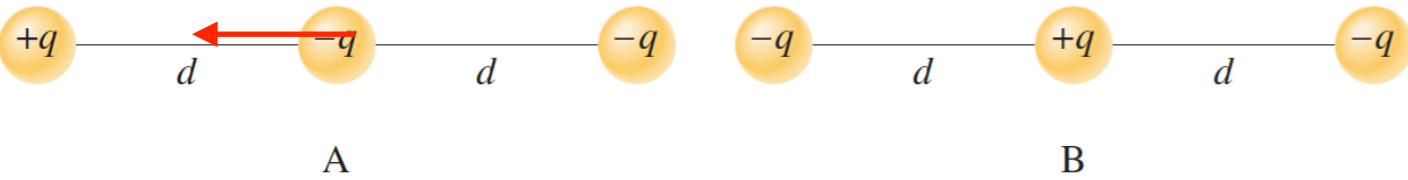


Quais são as forças sobre a carga em A?

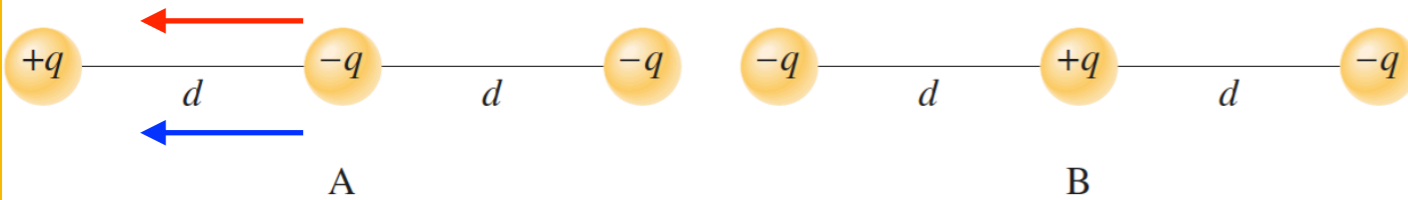
A carga em A, vai ser atraído pela carga da esquerda e repelido pela carga da direita, que representamos pelas flechas.

Usando a formula da força

$$F = \frac{k(+q)(-q)}{d^2} = \frac{kq^2}{d^2}$$

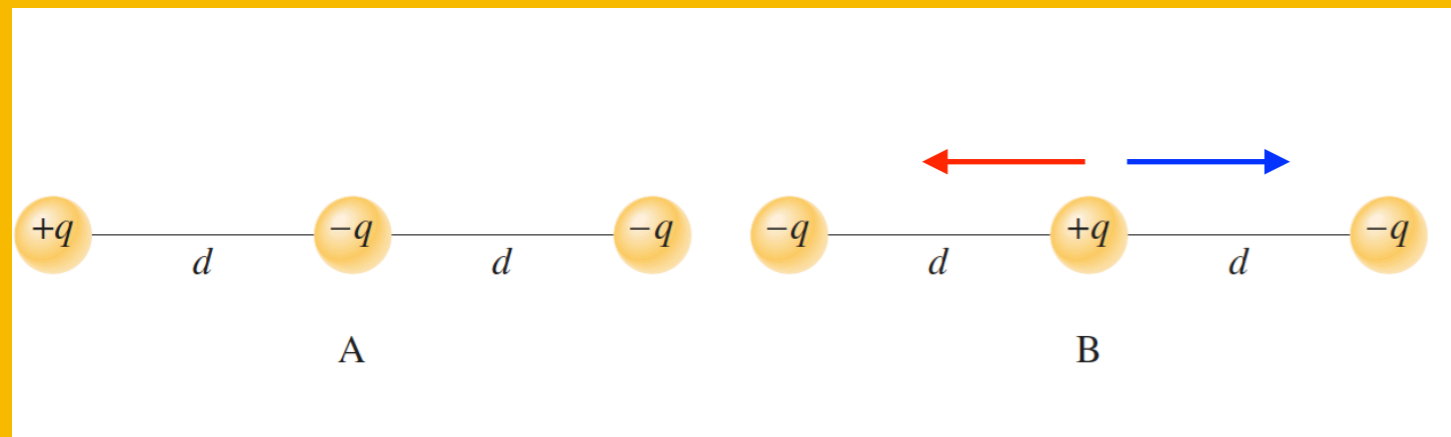


$$F = \frac{k(+q)(-q)}{d^2} = \frac{kq^2}{d^2}$$



$$F = 2\frac{kq^2}{d^2}$$

A carga em A, vai ser atraído pela carga da esquerda e repelido pela carga da direita, que representamos pelas flechas. **As forças se somam.**



A carga em B, vai ser atraído pela carga da esquerda e atraído pela carga da direita, que representamos pelas flechas. Neste caso a força elétrica se diminue.

Usando a formula da força

$$F = \frac{k(+q)(-q)}{d^2} = \frac{kq^2}{d^2}$$

$$F = \frac{k(+q)(-q)}{d^2} = \frac{kq^2}{d^2}$$

$$F_{\text{total}} = F + F = \frac{kq^2}{d^2} - \frac{kq^2}{d^2} = 0$$

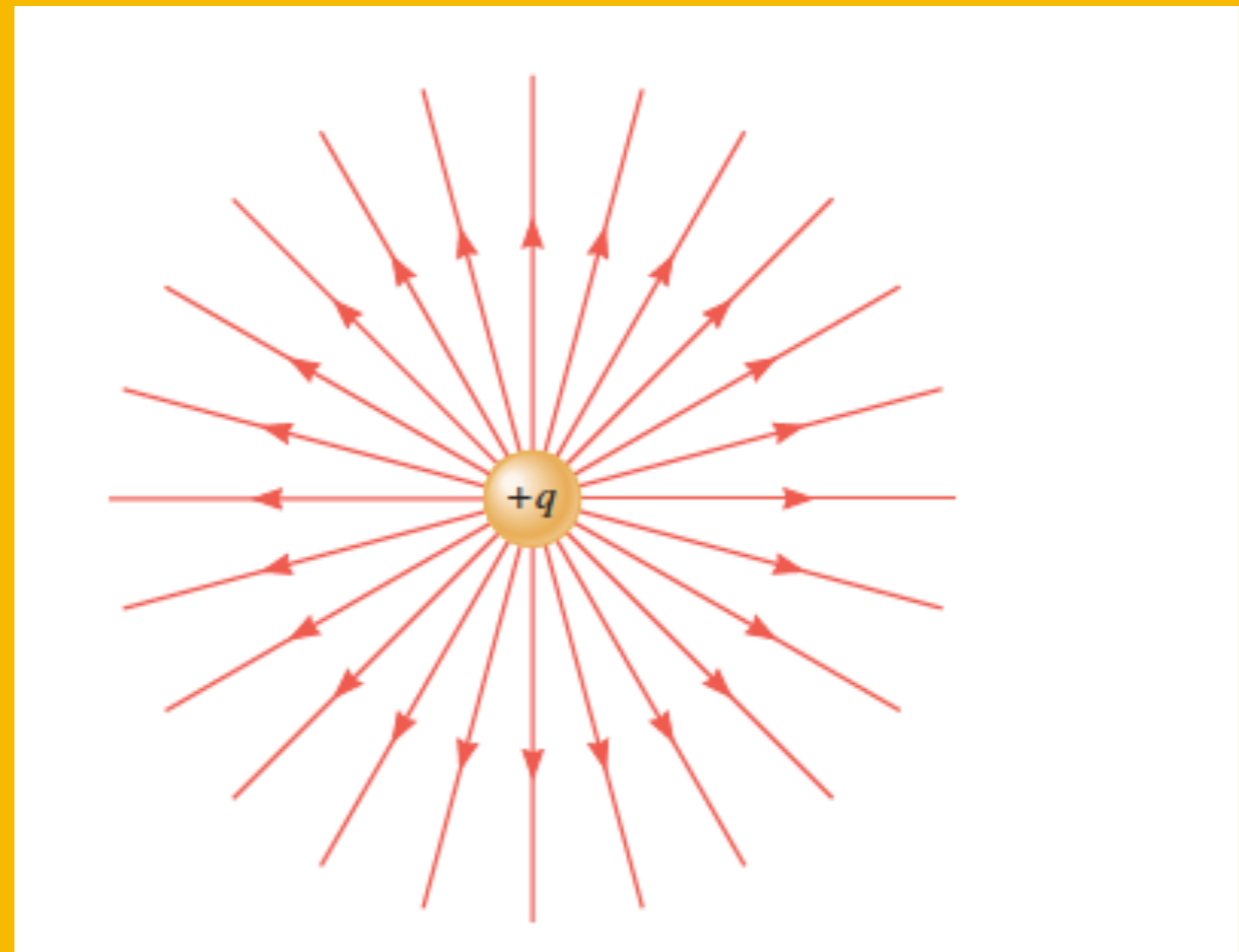
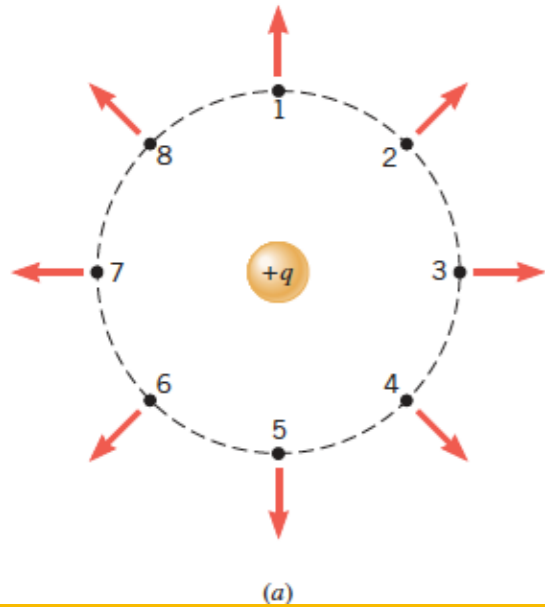
Campo elétrico

para uma carga pontual

$$E = \frac{k|q|}{r^2}$$

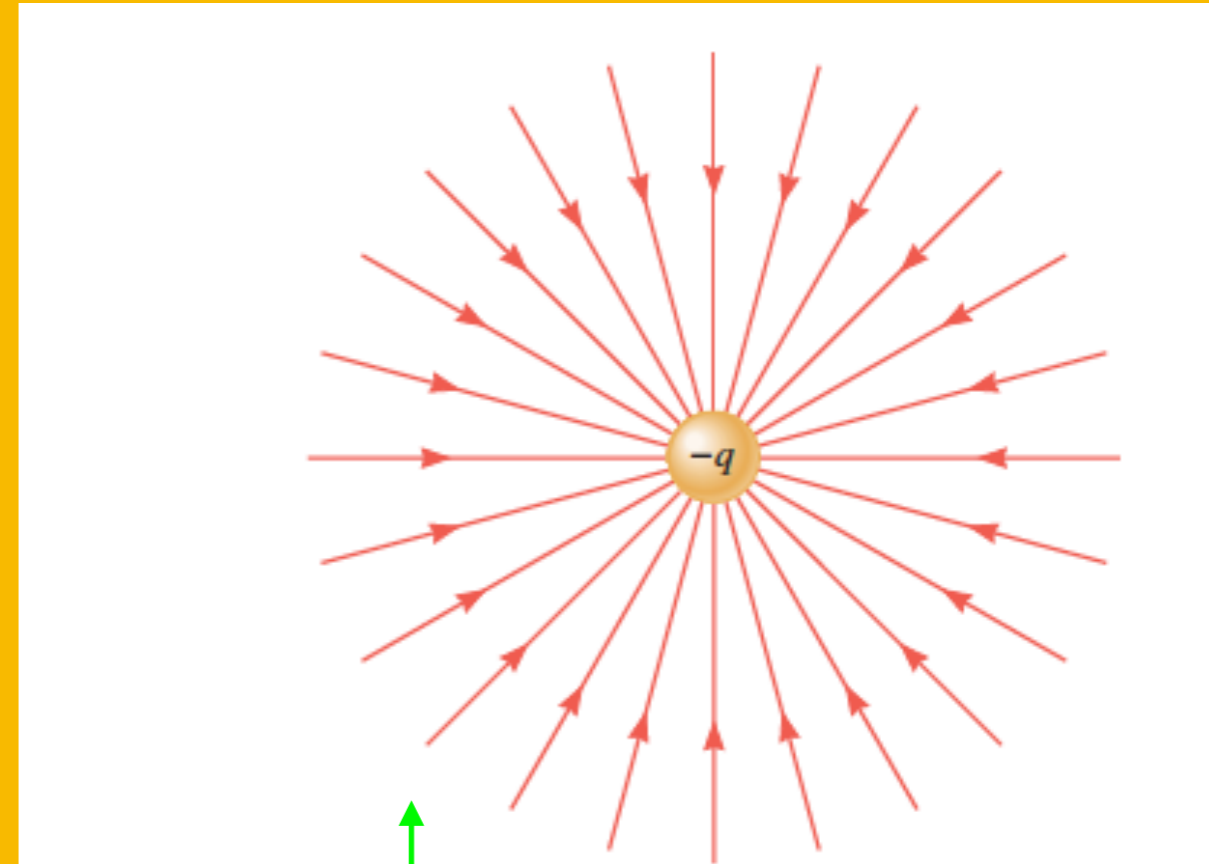
Seja um carga q positiva

Se colocarmos uma carga de teste, positiva, em todos os pontos 1 a 8 a carga será repelida. Então o campo elétrico aponta para fora radialmente.

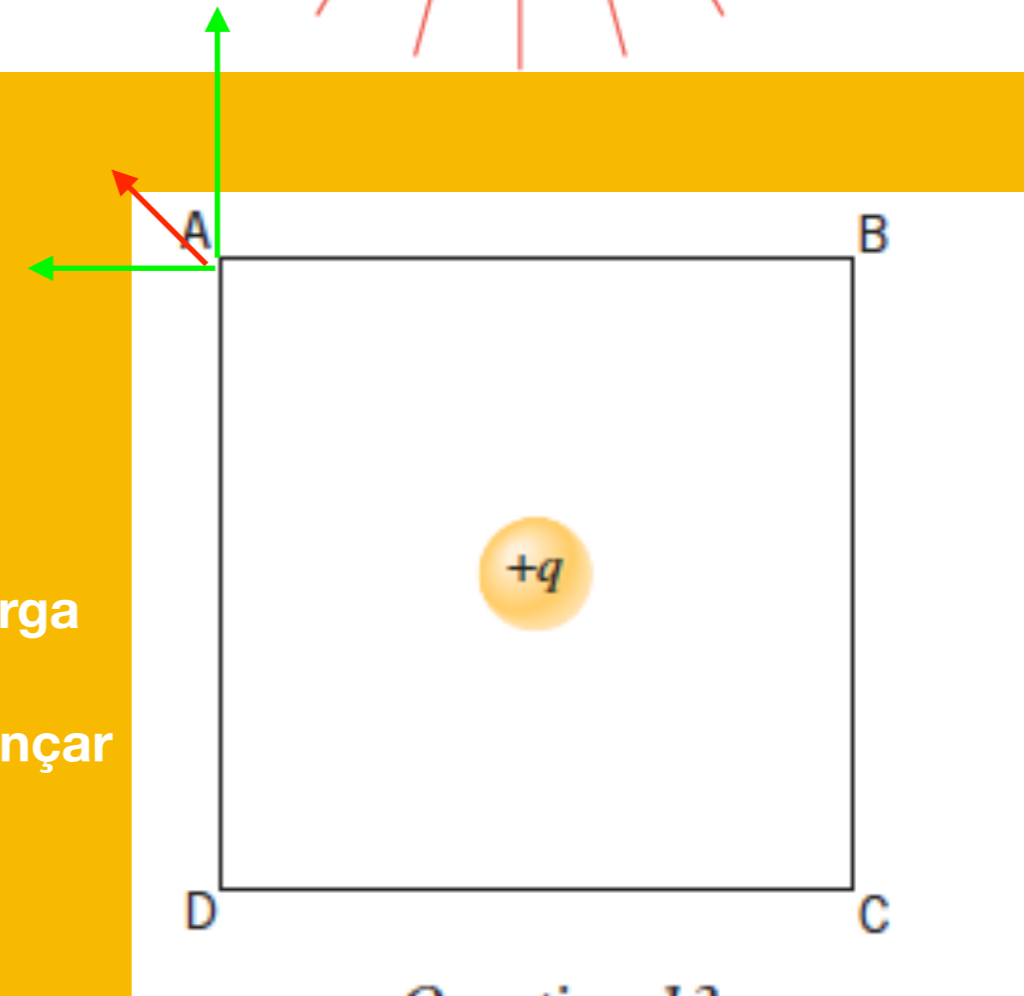


Seja um carga q negativa

Se colocarmos uma carga de teste, positiva, carga será atraída. Então o campo elétrico aponta para dentro radialmente.



No arranjo ao lado, existe uma carga $+q$ no centro do quadrado que faz um campo elétrico no ponto A . Determine o local e a carga de uma segunda carga, colocada em algum dos pontos B ou C ou D , para que o campo elétrico total em A seja zero.



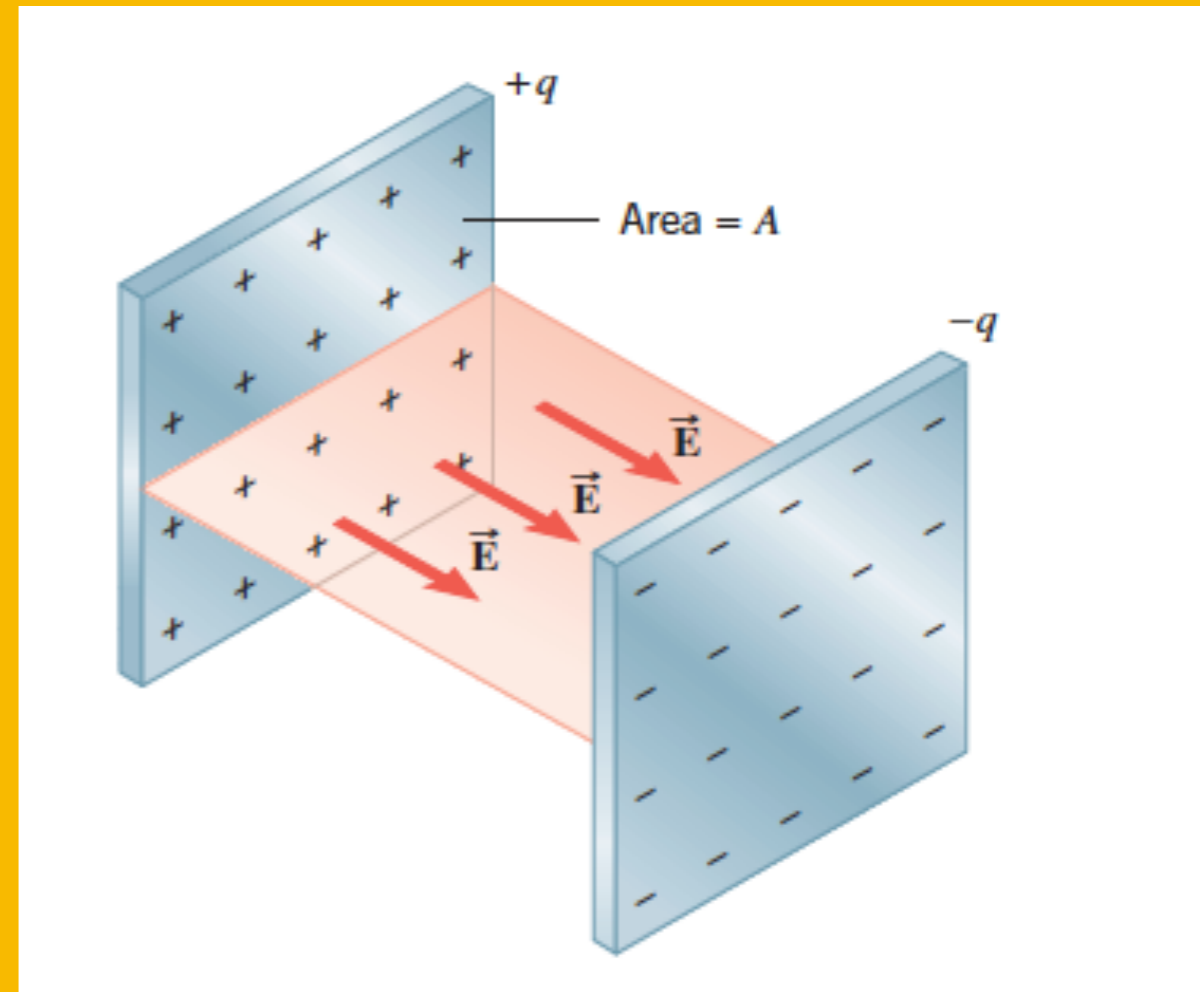
- 1) A segunda carga deve ser negativa para contrabalançar a carga positiva.
- 2) Se colocarmos a carga em D ou em B não iremos contrabalançar o campo elétrico. Veja as flechas verdes.
- 3) Então a única forma é em C , com uma carga negativa.
- 4) Outro ponto é que a distancia entre o ponto C e o ponto A é o dobro da distancia entre a carga $+q$ e o ponto A . Então a nova carga deve $-4q$, para contrabalançar a distancia maior.

Capacitor de placas paralelas

As cargas negativas farão o campo elétrico apontar na direção indicada. As cargas positivas também.

$$E = 4k\pi\sigma$$

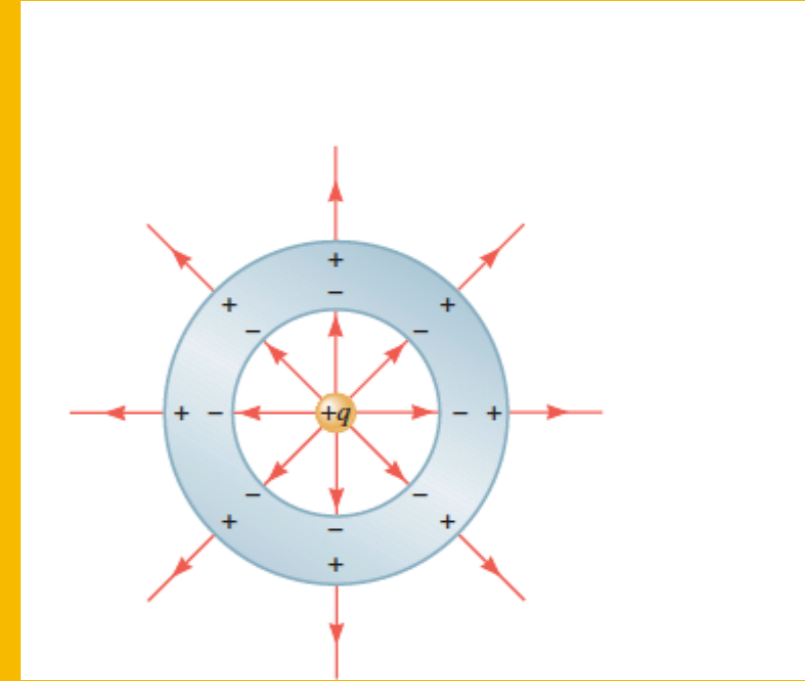
σ densidade de carga superficial.



Campo elétrico de um condutor

A carga $+q$ atrai as cargas negativas do condutor, e as cargas positivas (falta de cargas negativas) ficam afastadas. Lembre que a carga total do condutor é zero.

- 1) Mostre as linhas do campo elétrico na região oca do condutor
- 2) Mostre as linhas do campo elétrico dentro do condutor.
- 3) Mostre as linhas do campo elétrico fora do condutor.



Matematicamente:

$$1) E = \frac{kq}{r^2}$$

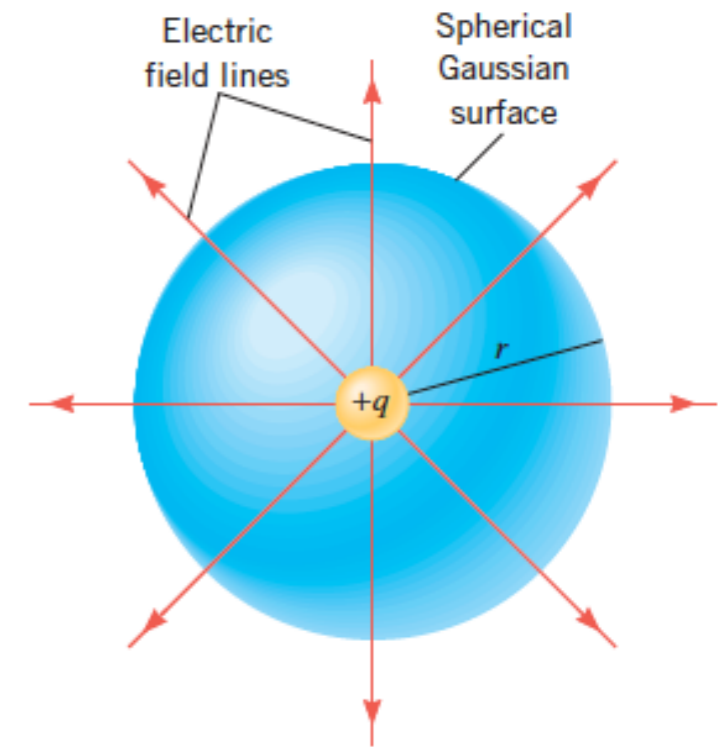
$$2) E = 0$$

$$3) E = \frac{kq}{r^2}$$

Lei de Gauss

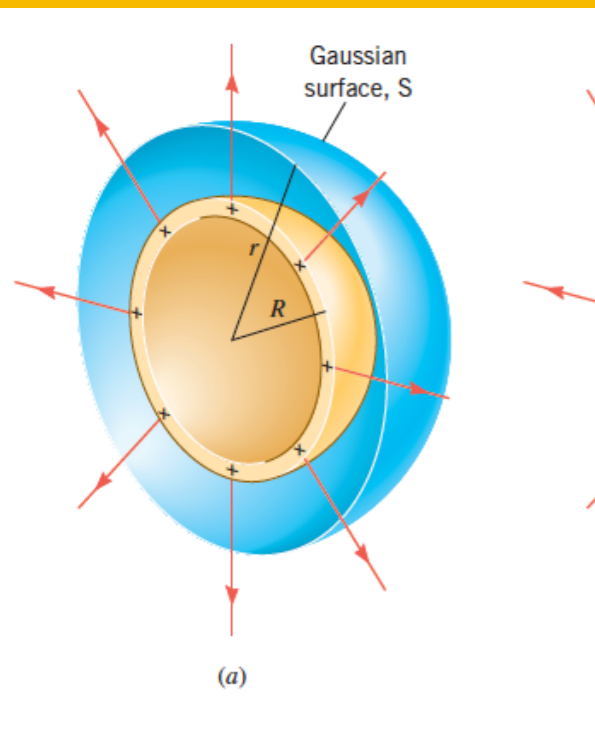
O campo elétrico perpendicular a uma superfície quando multiplicado pela área, é proporcional a carga.

$$\underbrace{EA}_{\text{Electric flux, } \Phi_E} = \frac{q}{\epsilon_0}$$



Exemplo: seja uma esfera de raio R, somente com carga na superfície.

Qualquer carga positiva colocada fora da distribuição será repelida. se colocarmos a carga teste numa esfera de raio r, então teremos

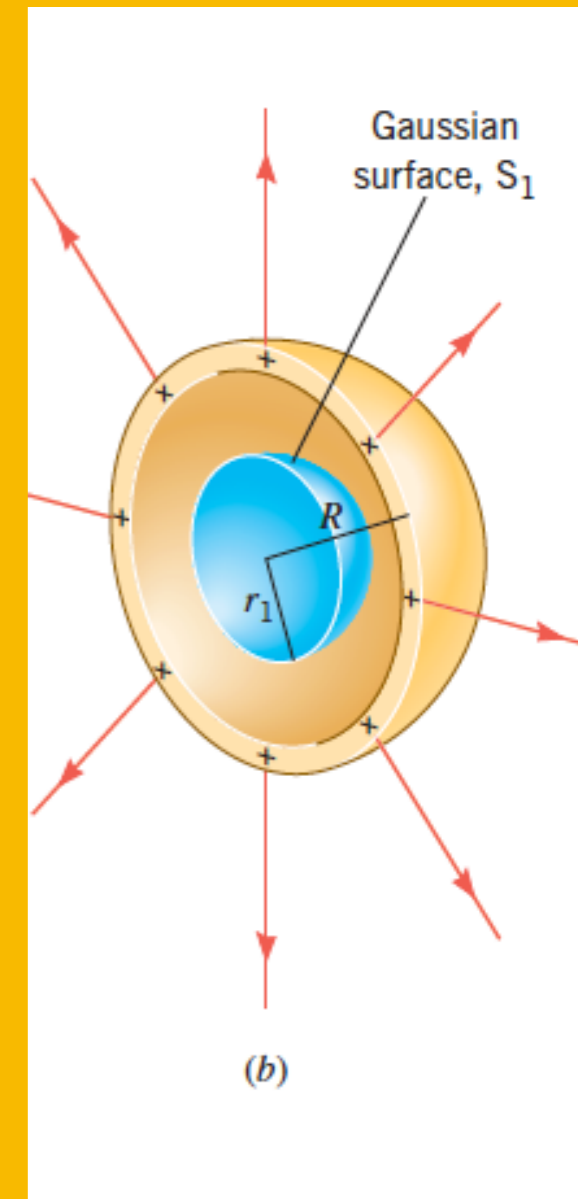


$$EA = E(4\pi r^2) = 4\pi k(\sigma 4\pi R^2) \quad E = \frac{4\pi k(\sigma 4\pi R^2)}{4\pi r^2}$$

Qualquer carga positiva colocada dentro da distribuição será repelida. se colocarmos a carga teste numa esfera de raio r , então teremos

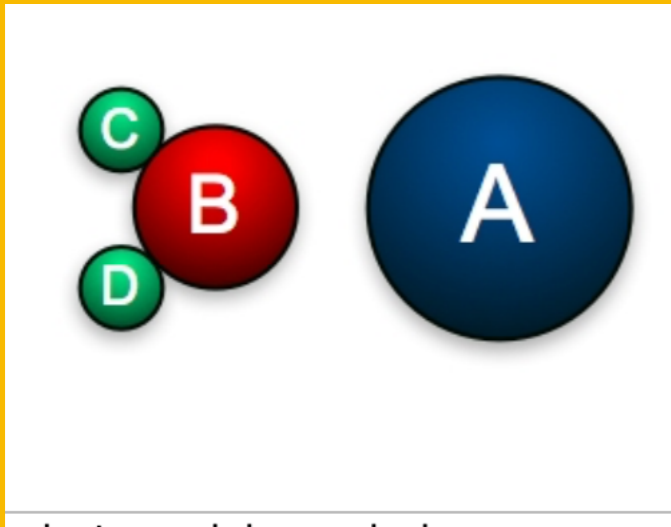
$$EA = E(4\pi r^2) = 4\pi kq = 0 \quad E = 0$$

Em outras palavras dentro de um condutor, mesmo oco não terá campo elétrico no seu interior. **Efeito de blindagem.**

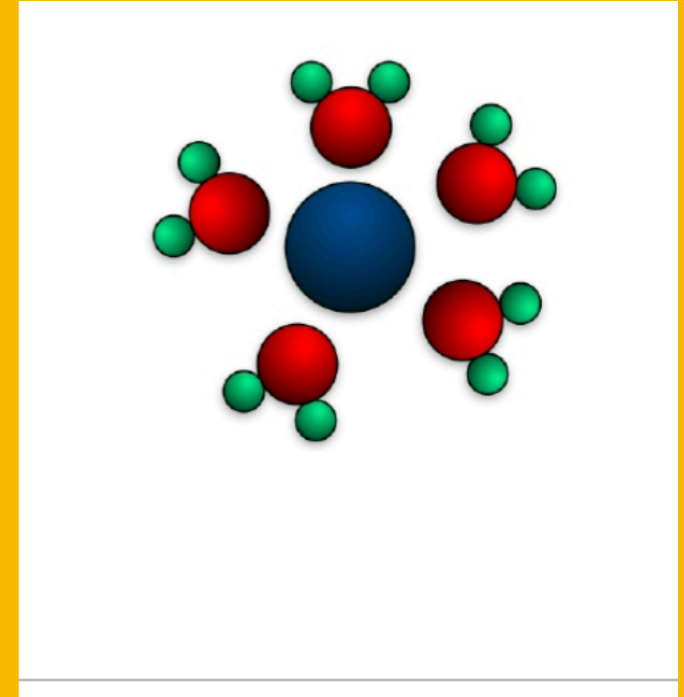


Exemplo com agua

Uma membrana biológica tem um aspecto importante de selecionar ions de sódio de ions de potássio. Ambos ions tem a mesma carga positiva (+e) e portanto a força elétrica deve ser a mesma. O tamanho dos ions é proximo, o ion de sódio tem 0.12nm e o de potássio tem 0.15 nm. Uma possível explicação é que os ions atraem a agua fazendo uma esfera de agua que magnifica a pequena diferença de tamanho entre eles. Isto é chamado “coating of water”, revestimento pela agua. Uma figura disto e representado na figura.

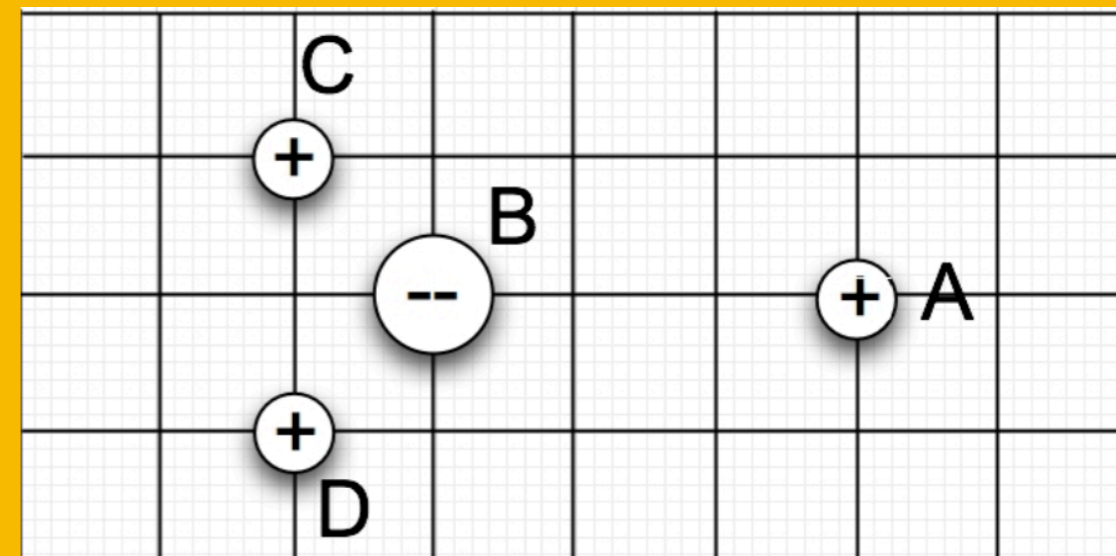


Nos chamaremos o oxigênio da agua de ion B, e os hidrogênios de ions C e D. O ion de sodio é representado por A.



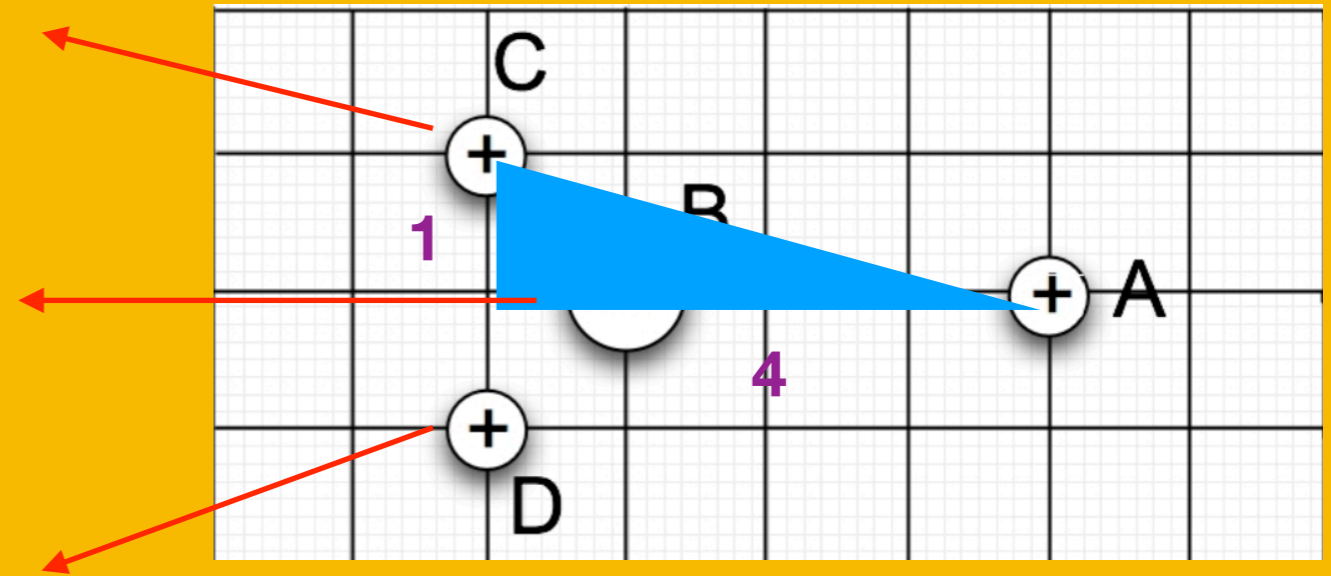
Para fazer a conta na figura abaixo cada quadrado é equivalente a 1 nm

- 1) Qual é o campo elétrico do ion sódio na molécula de agua? Mostre a direção do campo eletrico em cada ion.
- 1) Qual é o força elétrica do ion sódio na molécula de agua?
 - 1) Mostre a direção de cada uma das forcas elétricas.
- 1) A agua sera atraida ou repelida?



Veja o triângulo na figura

$$d_{AC}^2 = (4 \text{ nm}^2 + (1 \text{ nm})^2 = 17 \text{ nm}^2$$



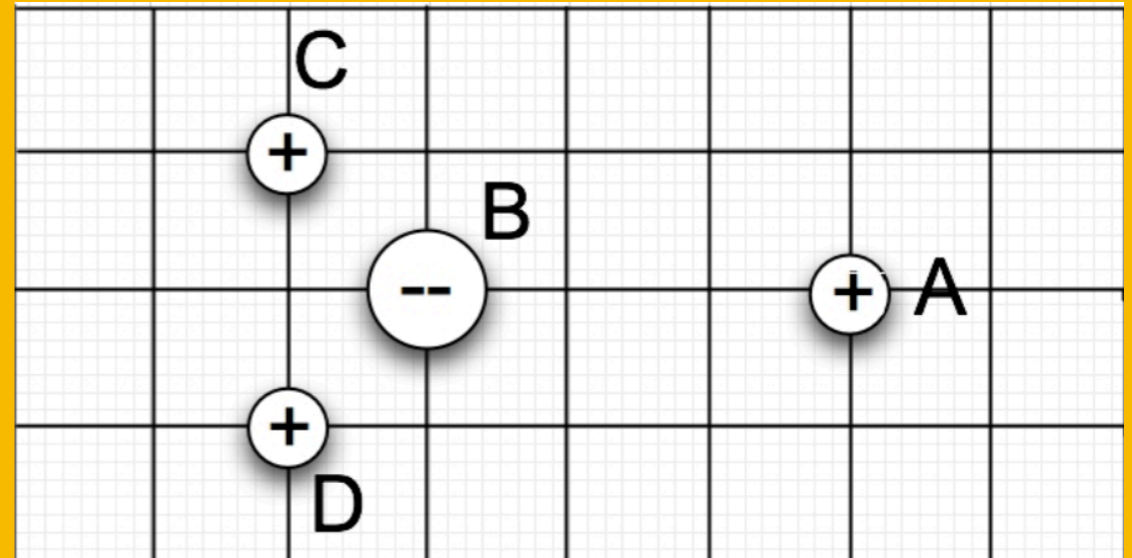
$$E_C = \frac{kq}{(4d)^2 + d^2} = \frac{kq}{17d^2} = \frac{9 \times 10^9 \cdot 1.602 \times 10^{-19}}{17 \times 10^{-18}} = 8,5 \times 10^{18} \text{ N/C}$$

$$E_D = \frac{kq}{(4d)^2 + d^2} = \frac{kq}{17d^2} = \frac{9 \times 10^9 \cdot 1.602 \times 10^{-19}}{17 \times 10^{-18}} = 8,5 \times 10^{18} \text{ N/C}$$

$$E_B = \frac{kq_B}{(3d)^2} = \frac{kq}{9d^2} = \frac{9 \times 10^9 \cdot 2 \times 1.602 \times 10^{-19}}{9 \times 10^{-18}} = 3,2 \times 10^{18} \text{ N/C}$$

Os campos elétricos não está na mesma direção. Para escrever na mesma direção voce deve multiplicar pelo cosseno do angulo. Da figura temos

$$\sin \theta = \frac{1d}{\sqrt{(4d)^2 + (1d)^2}} = \frac{1}{\sqrt{17}} \quad \cos \theta = \frac{4d}{\sqrt{(4d)^2 + (1d)^2}} = \frac{4}{\sqrt{17}}$$



$$E_C = \frac{kq}{(4d)^2 + d^2} = \frac{kq}{17d^2} = 8.5 \times 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_D = \frac{kq}{(4d)^2 + d^2} = \frac{kq}{17d^2} = 8.5 \times 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_B = \frac{kq}{9d^2} = 16.0 \times 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_{\text{total}} = E_C \cos \theta + E_D \cos \theta + E_B$$

$$E_{\text{total}} = 8.5 \times 10^7 * \left(\frac{4}{\sqrt{17}}\right) + 8.5 \times 10^7 * \left(\frac{4}{\sqrt{17}}\right) + 16.0 \times 10^7 = 3.3 \times 10^8 \text{ N/C}$$

A força elétrica pode ser achada $F=q E$

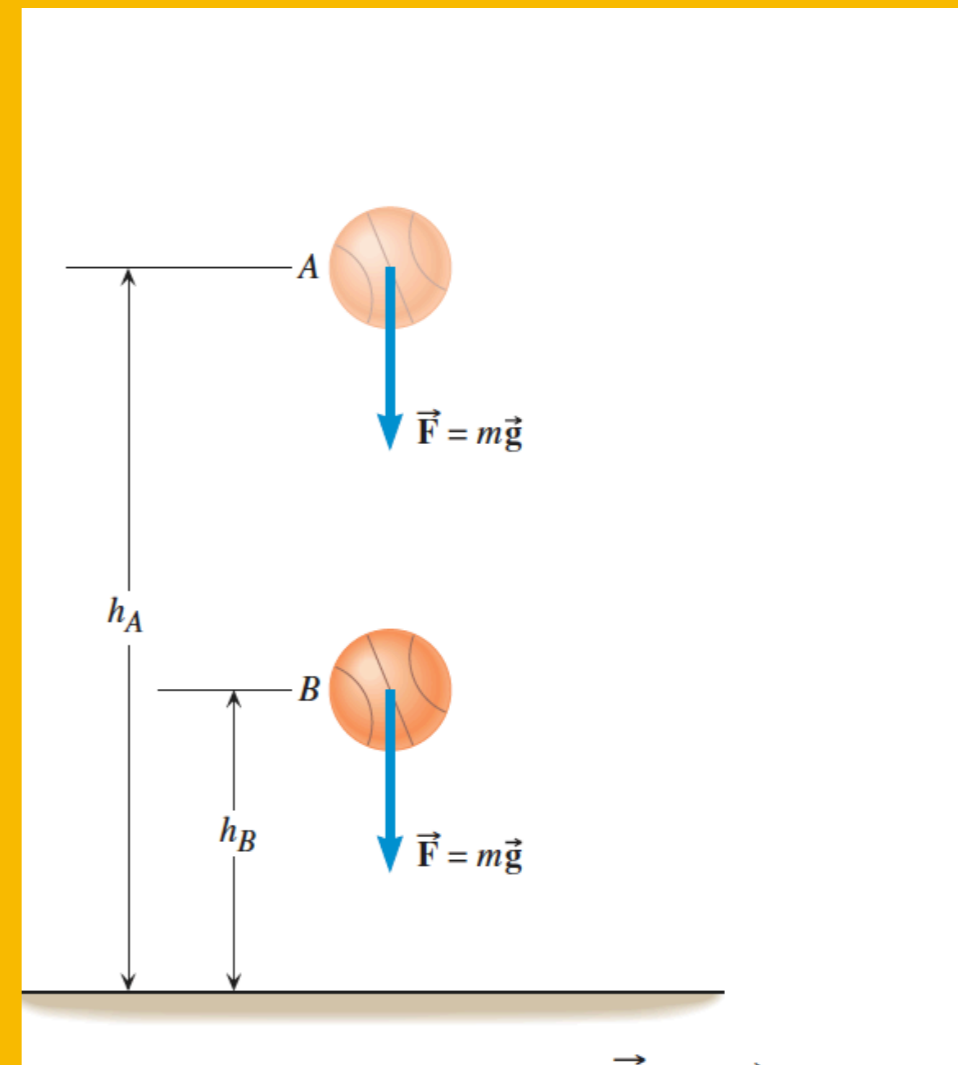
$$F_{\text{total}} = q_A * E_A + q_B * E_B + q_C * E_C =$$

$$F_{\text{total}} = (1.602 * 10^{-19}) * 8.5 \times 10^7 * \left(\frac{4}{\sqrt{17}}\right) + (1.602 * 10^{-19}) * 8.5 \times 10^7 * \left(\frac{4}{\sqrt{17}}\right) \\ - (2 * 1.602 * 10^{-19}) * 16.0 \times 10^7 = -25 \times 10^{-12} \text{ N} = -25 \text{ pN}$$

Energia potencial eléctrico e potencial eléctrico

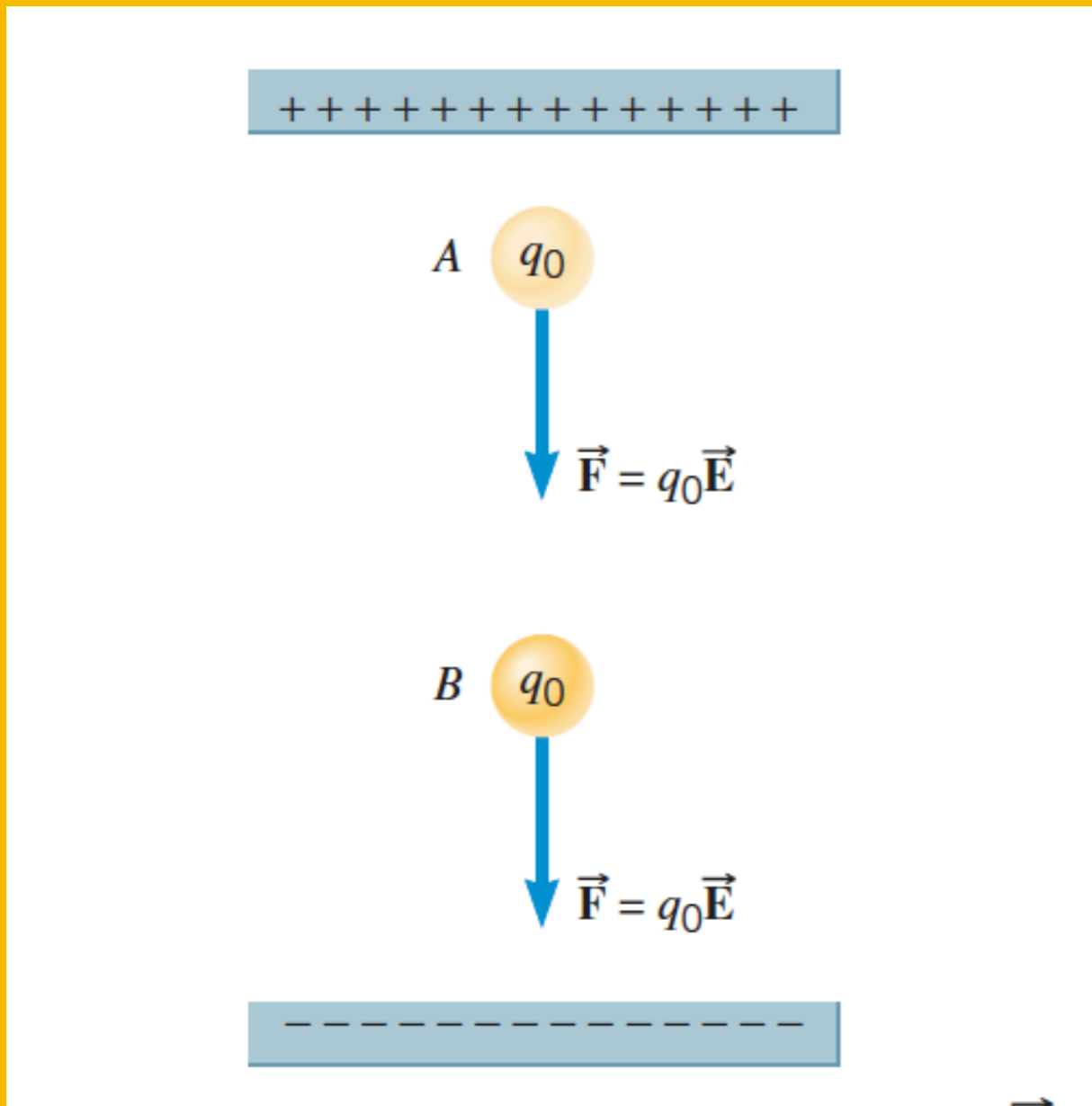
Em analogia com energia potencial gravitacional existe energia potencial eléctrico.

No nosso exemplo, a força peso é constante.



$$W_{AB} = \underbrace{mgh_A}_{\substack{\text{Initial} \\ \text{gravitational} \\ \text{potential energy,} \\ \text{GPE}_A}} - \underbrace{mgh_B}_{\substack{\text{Final} \\ \text{gravitational} \\ \text{potential energy,} \\ \text{GPE}_B}} = \text{GPE}_A - \text{GPE}_B$$

Neste outro exemplo, o campo eléctrico é constante.



$$W_{AB} = \text{EPE}_A - \text{EPE}_B$$

Potencial elétrico

$$\frac{W_{AB}}{q_0} = \frac{EPE_A}{q_0} - \frac{EPE_B}{q_0}$$

$$V = \frac{EPE}{q_0}$$

em Volts= J/C

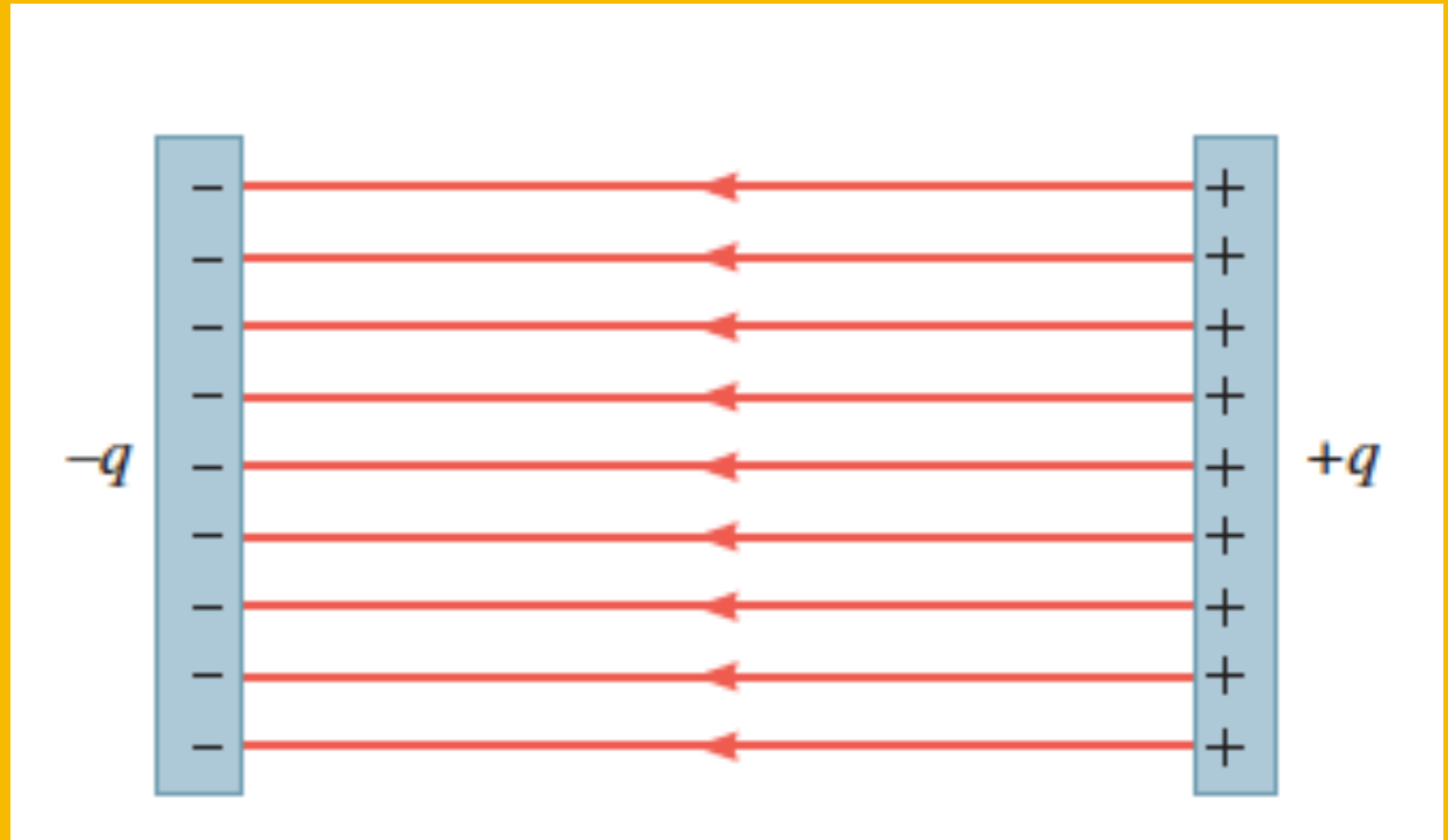
Uma lâmpada tem 60W de potencia, e esta ligada na bateria de carro de 12V por 1 hora. Quantos elétrons passaram nos terminais da bateria?

$$q_0 = \frac{Ep_A - Ep_B}{V_A - V_B} = \frac{P t}{V_A - V_B} \quad n = \frac{q_0}{e} \quad n = \frac{P t}{e(V_A - V_B)} = \frac{60 \cdot 3600}{1.602 \times 10^{-19} (12)} = 1.1 \times 10^{23}$$

Capacitor e Capacitância

$$q = CV$$

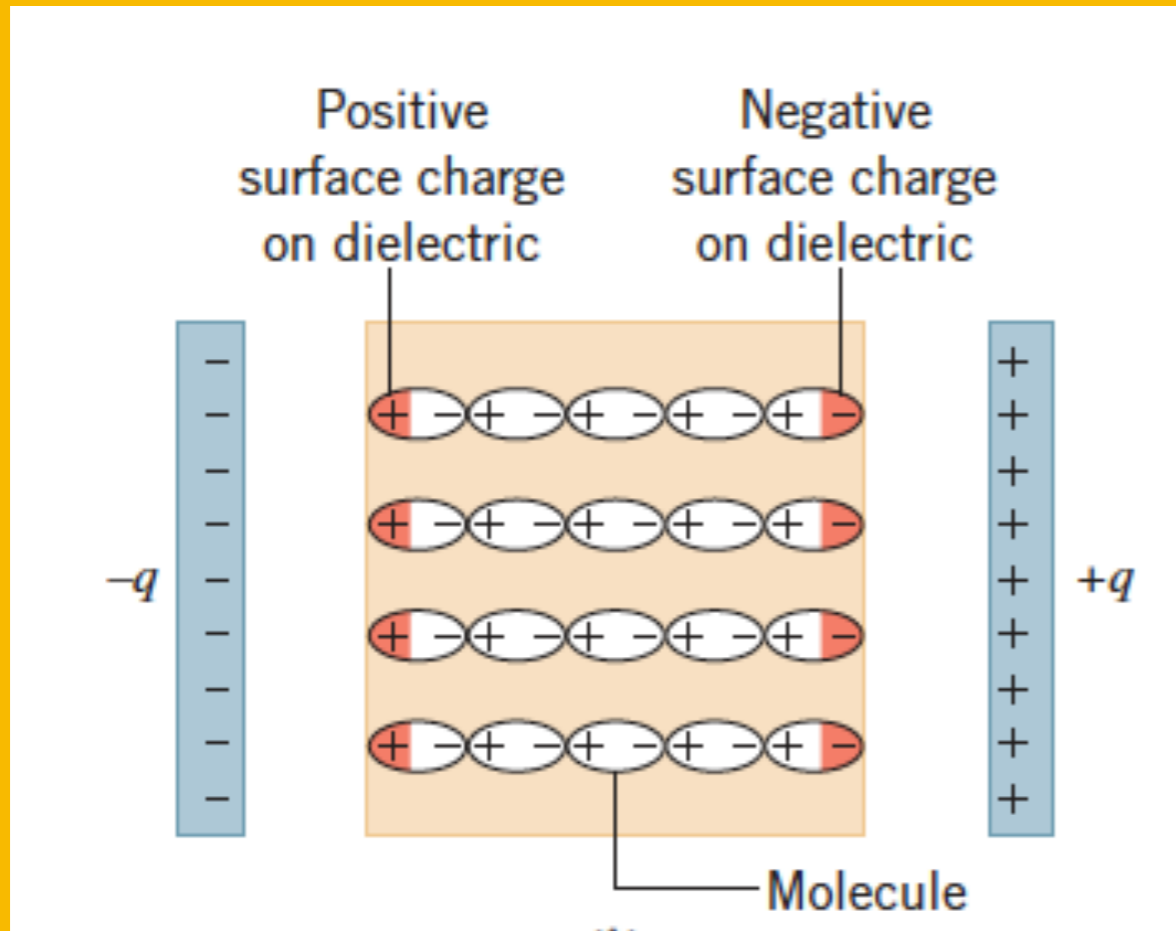
$$E = \frac{V}{d} = \frac{q}{A\epsilon_0} \quad q = \left(\frac{A\epsilon_0}{d} \right) V$$



Capacitância

$$C = \left(\frac{A\epsilon_0}{d} \right)$$

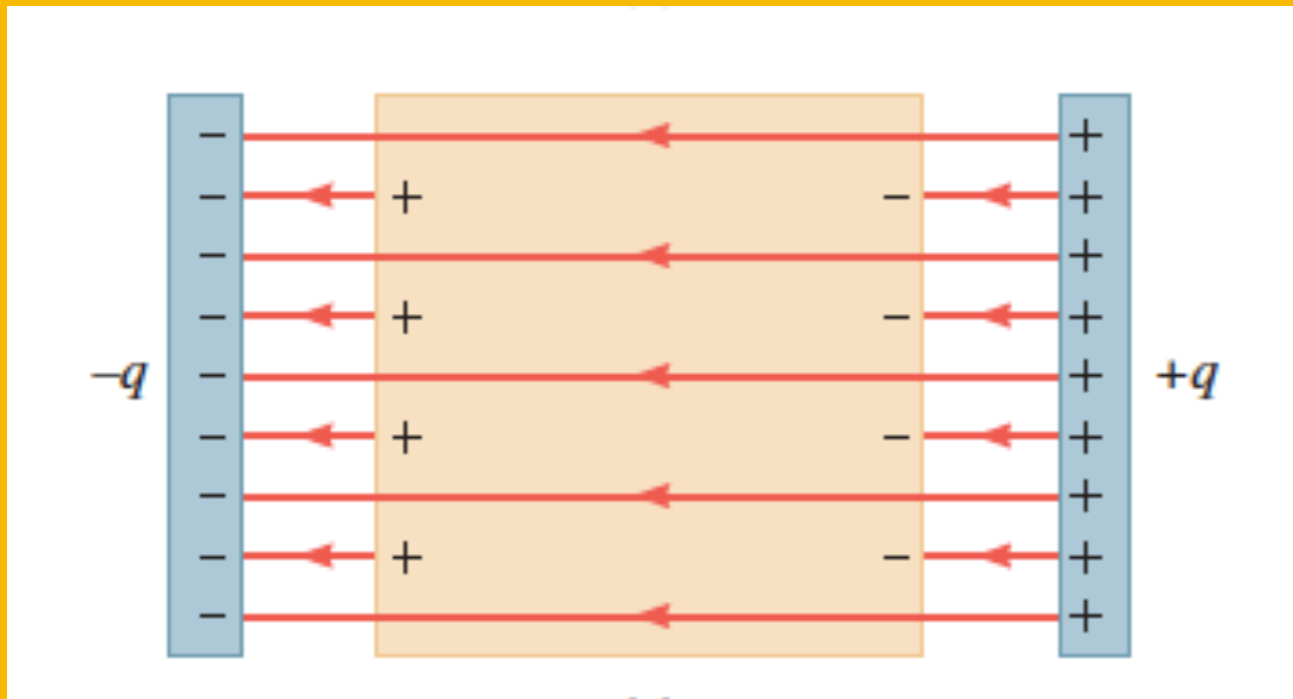
Constante dielétrica



Campo elétrico diminui, mas não é cancelado.

Table 19.1 Dielectric Constants of Some Common Substances^a

Substance	Dielectric Constant, κ
Vacuum	1
Air	1.000 54
Teflon	2.1
Benzene	2.28
Paper (royal gray)	3.3
Ruby mica	5.4
Neoprene rubber	6.7
Methyl alcohol	33.6
Water	80.4



$$C = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{d}$$