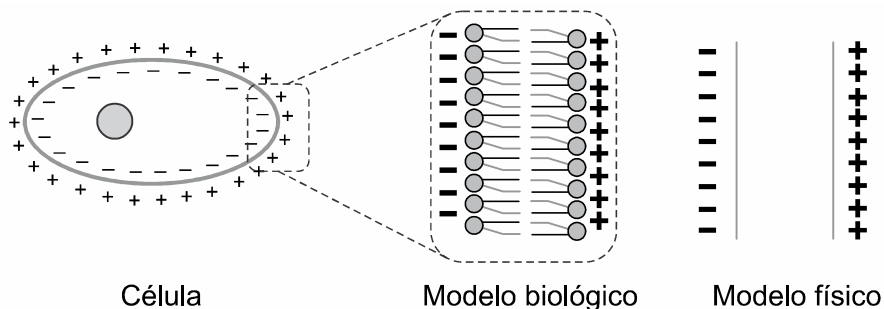


1. (Famerp 2020) Nas Ciências, muitas vezes, se inicia o estudo de um problema fazendo uma aproximação simplificada. Um desses casos é o estudo do comportamento da membrana celular devido à distribuição do excesso de íons positivos e negativos em torno dela. A figura mostra a visão geral de uma célula e a analogia entre o modelo biológico e o modelo físico, o qual corresponde a duas placas planas e paralelas, eletrizadas com cargas elétricas de tipos opostos.

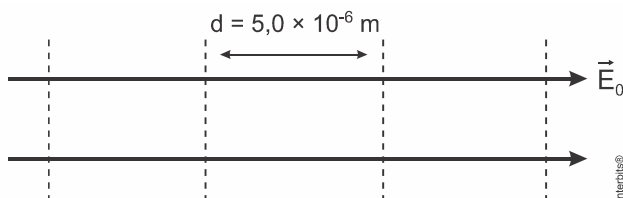


(<http://bioquimica.org.br>. Adaptado.)

Com base no modelo físico, considera-se que o campo elétrico no interior da membrana celular tem sentido para

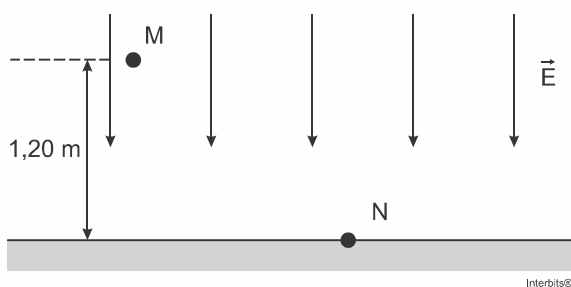
- fora da célula, com intensidade crescente de dentro para fora da célula.
- dentro da célula, com intensidade crescente de fora para dentro da célula.
- dentro da célula, com intensidade crescente de dentro para fora da célula.
- fora da célula, com intensidade constante.
- dentro da célula, com intensidade constante.

2. (Unicamp 2022) As máscaras de proteção N95 e PFF2 se tornaram ferramentas importantes no combate à disseminação do novo coronavírus durante a pandemia da Covid-19. Essas máscaras possuem fibras compostas de um material com campo elétrico permanente e são capazes de realizar uma filtragem eletrostática das partículas ou gotículas dispersas no ar. Considere um campo elétrico uniforme de módulo  $E_0 = 4,0 \times 10^{-2} \text{ V/m}$  em uma região do espaço. A diferença de potencial elétrico entre duas linhas tracejadas paralelas entre si e perpendiculares à direção desse campo elétrico, separadas por uma distância  $d$ , conforme mostra a figura a seguir, é igual a



- $1,6 \times 10^{-10} \text{ V}$ .
- $2,0 \times 10^{-7} \text{ V}$ .
- $0,8 \times 10^{-6} \text{ V}$ .
- $1,2 \times 10^{-4} \text{ V}$ .

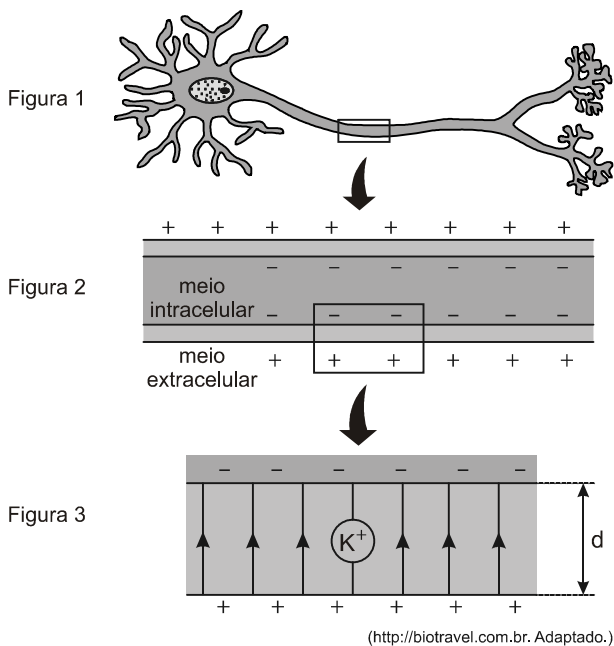
3. (Unifesp 2009) A presença de íons na atmosfera é responsável pela existência de um campo elétrico dirigido e apontado para a Terra. Próximo ao solo, longe de concentrações urbanas, num dia claro e limpo, o campo elétrico é uniforme e perpendicular ao solo horizontal e sua intensidade é de  $120 \text{ V/m}$ . A figura mostra as linhas de campo e dois pontos dessa região, M e N.



O ponto M está a 1,20 m do solo, e N está no solo. A diferença de potencial entre os pontos M e N é:

- a) 100 V.
- b) 120 V.
- c) 125 V.
- d) 134 V.
- e) 144 V.

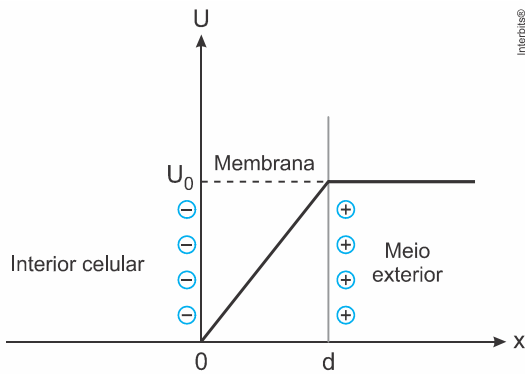
4. (Unesp 2015) Modelos elétricos são frequentemente utilizados para explicar a transmissão de informações em diversos sistemas do corpo humano. O sistema nervoso, por exemplo, é composto por neurônios (figura 1), células delimitadas por uma fina membrana lipoproteica que separa o meio intracelular do meio extracelular. A parte interna da membrana é negativamente carregada e a parte externa possui carga positiva (figura 2), de maneira análoga ao que ocorre nas placas de um capacitor.



A figura 3 representa um fragmento ampliado dessa membrana, de espessura  $d$ , que está sob ação de um campo elétrico uniforme, representado na figura por suas linhas de força paralelas entre si e orientadas para cima. A diferença de potencial entre o meio intracelular e o extracelular é  $V$ . Considerando a carga elétrica elementar como  $e$ , o íon de potássio  $K^+$ , indicado na figura 3, sob ação desse campo elétrico, ficaria sujeito a uma força elétrica cujo módulo pode ser escrito por

- a)  $e \cdot V \cdot d$
- b)  $\frac{e \cdot d}{V}$
- c)  $\frac{V \cdot d}{e}$
- d)  $\frac{e}{V \cdot d}$
- e)  $\frac{e \cdot V}{d}$

5. (Fuvest 2022) Diversos processos celulares presentes no corpo humano envolvem fenômenos elétricos. Um dos mais importantes é o fato de uma membrana celular, que separa o interior celular do exterior, apresentar um acúmulo de ânions (cargas negativas) e cátions (cargas positivas) nas superfícies interna e externa, respectivamente, o que resulta no surgimento de uma diferença de potencial  $U$  ao longo da membrana. Considere que  $U$  cresce linearmente de 0 a  $U_0$  na região entre  $x = 0$  e  $x = d$ , como mostra a figura.



- a) Indique o sentido do vetor campo elétrico no interior da membrana (se está apontando para o interior ou para o exterior da célula). Justifique sua resposta.
- b) Obtenha o módulo do campo elétrico (em V/m) considerando que a membrana tenha espessura  $d = 64 \text{ \AA}$  e que  $U_0 = 0,08 \text{ V}$ .
- c) Supondo agora uma membrana em que o campo elétrico tenha intensidade  $10^7 \text{ V/m}$ , encontre a razão  $F_e/F_g$ , em que  $F_e$  é o módulo da força eletrostática e  $F_g$  é o módulo da força gravitacional, ambas exercidas sobre um íon monovalente localizado na região  $0 < x < d$ , conforme a figura.

**Note e adote:**

$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

Carga de um íon monovalente =  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

Considere, para efeitos de cálculo desta questão, a massa de um íon como  $10^{-30} \text{ kg}$ .

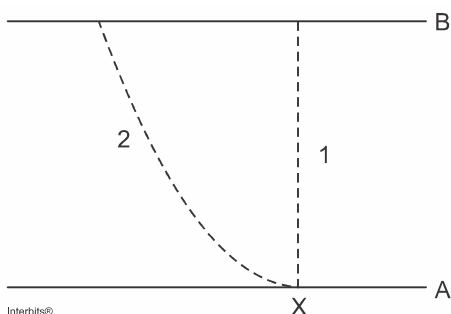
Aceleração da gravidade:  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

6. (Fuvest 1993) Um elétron penetra numa região de campo elétrico uniforme de intensidade  $90 \text{ N/C}$ , com velocidade inicial  $v_0 = 3,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  na mesma direção e sentido do campo.

Sabendo-se que a massa do elétron é igual a  $9,0 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  e a carga do elétron é igual a  $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , determine:

- a) a energia potencial elétrica no instante em que a velocidade do elétron, no interior desse campo, é nula.
- b) a aceleração do elétron.

7. (Fuvest 2018) Na figura, A e B representam duas placas metálicas; a diferença de potencial entre elas é  $V_B - V_A = 2,0 \times 10^4 \text{ V}$ . As linhas tracejadas 1 e 2 representam duas possíveis trajetórias de um elétron, no plano da figura.



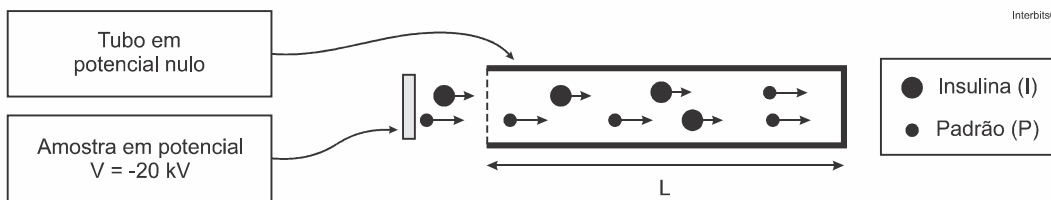
Considere a carga do elétron igual a  $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  e as seguintes afirmações com relação à energia cinética de um elétron que sai do ponto X na placa A e atinge a placa B:

- I. Se o elétron tiver velocidade inicial nula, sua energia cinética, ao atingir a placa B, será  $3,2 \times 10^{-15} \text{ J}$ .
- II. A variação da energia cinética do elétron é a mesma, independentemente de ele ter percorrido as trajetórias 1 ou 2.
- III. O trabalho realizado pela força elétrica sobre o elétron na trajetória 2 é maior do que o realizado sobre o elétron na trajetória 1.

Apenas é correto o que se afirma em

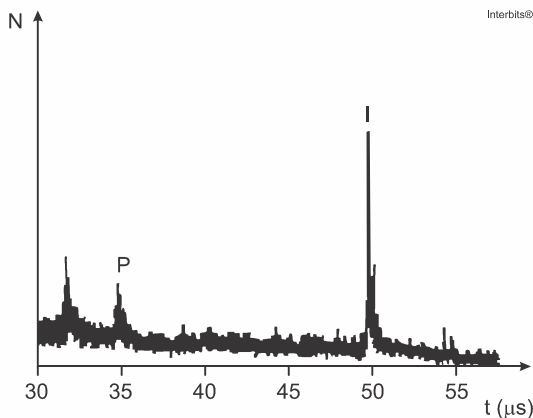
- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) I e II.
- e) I e III.

8. (Fuvest 2017) A determinação da massa da molécula de insulina é parte do estudo de sua estrutura. Para medir essa massa, as moléculas de insulina são previamente ionizadas, adquirindo, cada molécula, a carga de um elétron. Esses íons (I) são liberados com velocidade inicial nula a partir de uma amostra submetida a um potencial  $V = -20 \text{ kV}$ . Os íons são acelerados devido à diferença de potencial entre a amostra e um tubo metálico, em potencial nulo, no qual passam a se mover com velocidade constante. Para a calibração da medida, adiciona-se à amostra um material padrão cujas moléculas também são ionizadas, adquirindo, cada uma, a carga de um elétron; esses íons (P) têm massa conhecida igual a 2846 u. A situação está esquematizada na figura.



a) Determine a energia cinética  $E$  dos íons, quando estão dentro do tubo.

O gráfico a seguir mostra o número  $N$  de íons em função do tempo  $t$  despendido para percorrerem o comprimento  $L$  do tubo.



Determine:

b) a partir dos tempos indicados no gráfico, a razão  $R_v = \frac{v_I}{v_P}$  entre os módulos das velocidades  $v_I$ , de um íon de insulina, e  $v_P$ , de um íon P, em movimento dentro do tubo;

c) a razão  $R_m = \frac{m_I}{m_P}$  entre as massas  $m_I$  e  $m_P$ , respectivamente, de um íon de insulina e de um íon P;

d) a massa  $m_I$  de um íon de insulina, em unidades de massa atômica (u).

Note e adote:

A amostra e o tubo estão em vácuo.

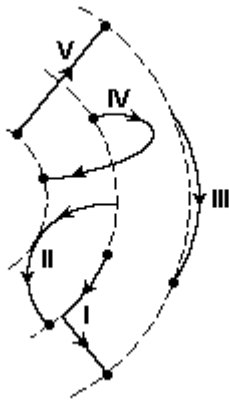
u = unidade de massa atômica.

Carga do elétron:  $e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$

9. (Unifesp 2006) Na figura, as linhas tracejadas representam superfícies equipotenciais de um campo elétrico; as

linhas cheias I, II, III, IV e V representam cinco possíveis trajetórias de uma partícula de carga  $q$ , positiva, realizadas entre dois pontos dessas superfícies, por um agente externo que realiza trabalho mínimo.



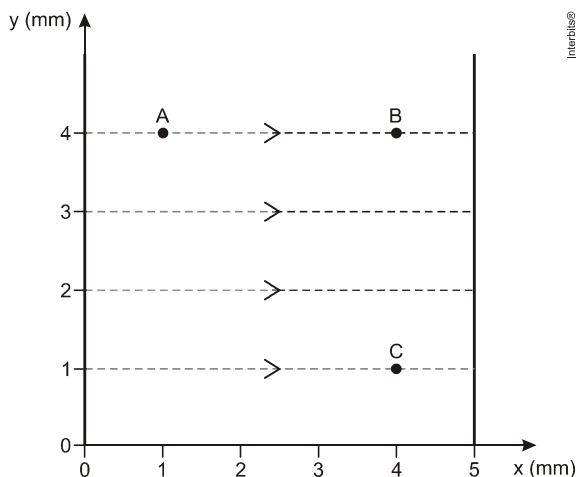
A trajetória em que esse trabalho é maior, em módulo, é:

- I.
- II.
- III.
- IV.
- V.

10. (Unesp 2001) Quando a atmosfera está em condições de estabilidade – não se avizinham tempestades, por exemplo – existe um campo elétrico uniforme nas proximidades da superfície terrestre de intensidade  $130\text{V/m}$ , aproximadamente, tendo a Terra carga negativa e a atmosfera carga positiva.

- Faça uma linha horizontal para representar a superfície da Terra, atribuindo a essa linha o potencial  $0,0\text{V}$ . Represente as linhas equipotenciais acima dessa linha, correspondentes às alturas  $1,0\text{m}$ ,  $2,0\text{m}$ ,  $3,0\text{m}$ ,  $4,0\text{m}$  e  $5,0\text{m}$ , assinalando, de um lado de cada linha, a altura, e do outro, o respectivo potencial elétrico.
- Qual deveria ser a carga elétrica de um corpo de massa  $130\text{V/m}$ , para que ele ficasse levitando graças a esse campo elétrico? (Adote  $g = 10\text{m/s}^2$ )  
Isso seria possível na prática? Considere que uma nuvem de tempestade tem algumas dezenas de coulombs e justifique sua resposta.

11. (Fuvest 2015) A região entre duas placas metálicas, planas e paralelas está esquematizada na figura abaixo. As linhas tracejadas representam o campo elétrico uniforme existente entre as placas. A distância entre as placas é  $5\text{mm}$  e a diferença de potencial entre elas é  $300\text{V}$ . As coordenadas dos pontos A, B e C são mostradas na figura. Determine



- os módulos  $E_A$ ,  $E_B$  e  $E_C$  do campo elétrico nos pontos A, B e C, respectivamente;

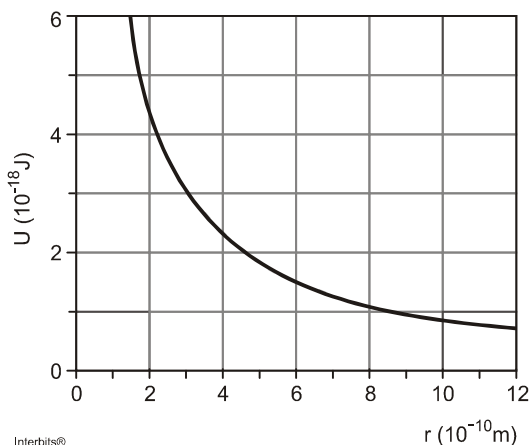
- b) as diferenças de potencial  $V_{AB}$  e  $V_{BC}$  entre os pontos A e B e entre os pontos B e C, respectivamente;  
 c) o trabalho  $\tau$  realizado pela força elétrica sobre um elétron que se desloca do ponto C ao ponto A.

Note e adote:

O sistema está em vácuo.

Carga do elétron =  $-1,6 \times 10^{-19}$  C.

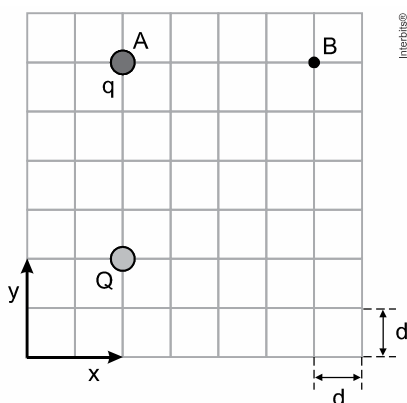
12. (Fuvest 2013) A energia potencial elétrica  $U$  de duas partículas em função da distância  $r$  que as separa está representada no gráfico da figura abaixo.



Uma das partículas está fixa em uma posição, enquanto a outra se move apenas devido à força elétrica de interação entre elas. Quando a distância entre as partículas varia de  $r_i = 3 \times 10^{-10}$  m a  $r_f = 9 \times 10^{-10}$  m, a energia cinética da partícula em movimento

- a) diminui  $1 \times 10^{-18}$  J.  
 b) aumenta  $1 \times 10^{-18}$  J.  
 c) diminui  $2 \times 10^{-18}$  J.  
 d) aumenta  $2 \times 10^{-18}$  J.  
 e) não se altera.

13. (Unifesp 2015) Uma carga elétrica puntiforme  $Q > 0$  está fixa em uma região do espaço e cria um campo elétrico ao seu redor. Outra carga elétrica puntiforme  $q$ , também positiva, é colocada em determinada posição desse campo elétrico, podendo mover-se dentro dele. A malha quadriculada representada na figura está contida em um plano  $xy$ , que também contém as cargas.



Quando na posição A,  $q$  fica sujeita a uma força eletrostática de módulo  $F$  exercida por  $Q$ .

- a) Calcule o módulo da força eletrostática entre  $Q$  e  $q$ , em função apenas de  $F$ , quando  $q$  estiver na posição B.  
 b) Adotando  $\sqrt{2} = 1,4$  e sendo  $K$  a constante eletrostática do meio onde se encontram as cargas, calcule o trabalho realizado pela força elétrica quando a carga  $q$  é transportada de A para B.

14. (Pucrj 2022) Considere um sistema inicial composto de, apenas, duas partículas carregadas eletricamente, fixas em suas posições, que apresenta energia potencial elétrica positiva de 15 mJ. A partir desse arranjo inicial, traz-se uma terceira partícula, carregada com carga não nula, desde o infinito, que passa a compor um novo sistema de três partículas fixas.

A energia potencial eletrostática desse novo sistema

- a) será maior que 15 mJ se a terceira partícula tiver carga de mesmo sinal que as outras duas.  
 b) será menor que 15 mJ se a terceira partícula tiver carga de mesmo sinal que as outras duas.  
 c) será maior que 15 mJ se a terceira partícula tiver carga de sinal oposto ao das outras duas.  
 d) será 15 mJ.

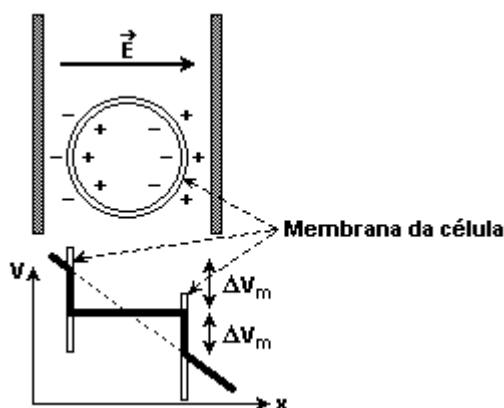
15. (Unicamp 1992) Considere uma molécula diatômica iônica. Um átomo tem carga  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C, e o outro tem carga oposta. A distância interatômica de equilíbrio é  $2,0 \cdot 10^{-10}$  m. No sistema Internacional  $1/4\pi\epsilon_0$  é igual a  $9,0 \cdot 10^9$ . Na distância de equilíbrio, a força de atração entre as cargas é anulada por outras forças internas da molécula. Pede-se:

- a) a resultante das forças internas que anula a força de atração entre as cargas.  
 b) considerando que, para distâncias interatômicas maiores que a distância de equilíbrio, as outras forças internas são desprezíveis, determine a energia necessária para separar completamente as duas cargas, isto é, para dissociar a molécula em dois íons.

16. (Fuvest 1995) Um sistema formado por três cargas puntiformes iguais, colocadas em repouso nos vértices de um triângulo equilátero, tem energia potencial eletrostática igual a  $U$ . Substitui-se uma das cargas por outra, na mesma posição, mas com o dobro do valor. A energia potencial eletrostática do novo sistema será igual a:

- a)  $4U/3$   
 b)  $3U/2$   
 c)  $5U/3$   
 d)  $2U$   
 e)  $3U$

17. (Unicamp 2005) A durabilidade dos alimentos é aumentada por meio de tratamentos térmicos, como no caso do leite longa vida. Esses processos térmicos matam os microorganismos, mas provocam efeitos colaterais indesejáveis. Um dos métodos alternativos é o que utiliza campos elétricos pulsados, provocando a variação de potencial através da célula, como ilustrado na figura a seguir. A membrana da célula de um microorganismo é destruída se uma diferença de potencial de  $\Delta V_m = 1$  V é estabelecida no interior da membrana, conforme a figura a seguir.



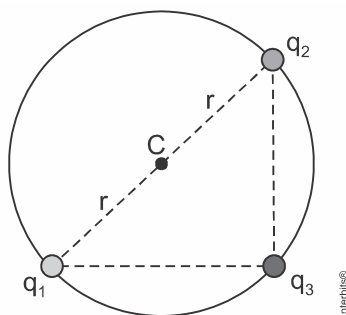
- a) Sabendo-se que o diâmetro de uma célula é de  $1\mu\text{m}$ , qual é a intensidade do campo elétrico que precisa ser aplicado para destruir a membrana?  
 b) Qual é o ganho de energia em eV de um elétron que atravessa a célula sob a tensão aplicada?

18. (Upf 2022) Em eletricidade, é considerado essencial o estudo do movimento de cargas elétricas sob efeito de campos elétricos. Considerando uma carga elétrica  $q$  pontual e positiva, abandonada e em repouso, num ponto do espaço onde existe um campo elétrico uniforme, podemos dizer que seu comportamento é descrito nas afirmações a

seguir, exceto:

- a) A carga  $q$  experimenta a ação de uma força elétrica na mesma direção e sentido do campo elétrico.
- b) A carga  $q$  irá se mover da região de maior potencial elétrico para a de menor potencial elétrico.
- c) O trabalho efetuado pela força elétrica sobre a carga  $q$  durante o seu deslocamento faz aumentar a energia cinética da carga.
- d) Enquanto a carga se movimenta, a sua energia potencial elétrica aumenta.
- e) O movimento da carga  $q$  no campo elétrico obedece à Segunda Lei de Newton.

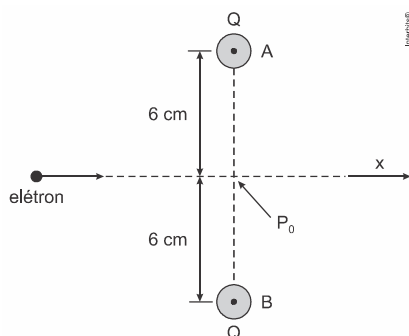
19. (Unesp 2017) Três esferas puntiformes, eletrizadas com cargas elétricas  $q_1 = q_2 = +Q$  e  $q_3 = -2Q$ , estão fixas e dispostas sobre uma circunferência de raio  $r$  e centro  $C$ , em uma região onde a constante eletrostática é igual a  $k_0$ , conforme representado na figura.



Considere  $V_C$  o potencial eletrostático e  $E_C$  o módulo do campo elétrico no ponto  $C$  devido às três cargas. Os valores de  $V_C$  e  $E_C$  são, respectivamente,

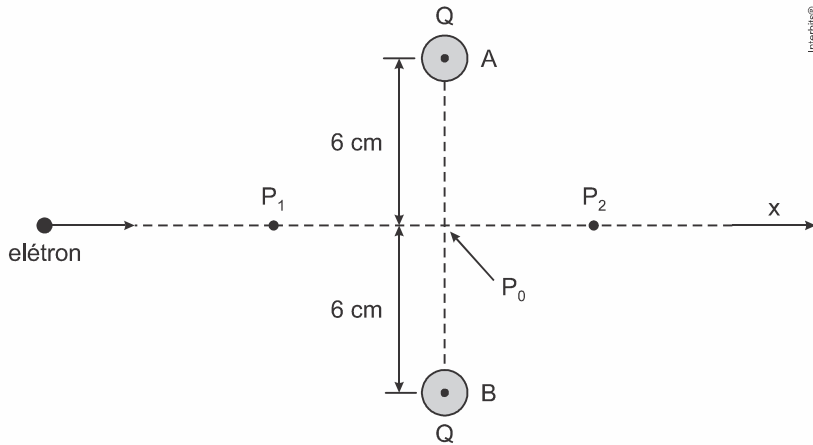
- a) zero e  $\frac{4 \cdot k_0 \cdot Q}{r^2}$
- b)  $\frac{4 \cdot k_0 \cdot Q}{r}$  e  $\frac{k_0 \cdot Q}{r^2}$
- c) zero e zero
- d)  $\frac{2 \cdot k_0 \cdot Q}{r}$  e  $\frac{2 \cdot k_0 \cdot Q}{r^2}$
- e) zero e  $\frac{2 \cdot k_0 \cdot Q}{r^2}$

20. (Fuvest 2008) Duas pequenas esferas iguais,  $A$  e  $B$ , carregadas, cada uma, com uma carga elétrica  $Q$  igual a  $-4,8 \times 10^{-9} \text{C}$ , estão fixas e com seus centros separados por uma distância de 12 cm. Deseja-se fornecer energia cinética a um elétron, inicialmente muito distante das esferas, de tal maneira que ele possa atravessar a região onde se situam essas esferas, ao longo da direção  $x$ , indicada na figura, mantendo-se equidistante das cargas.



- a) Esquematize, na figura a seguir, a direção e o sentido das forças resultantes  $F_1$  e  $F_2$ , que agem sobre o elétron quando ele está nas posições indicadas por  $P_1$  e  $P_2$ .





- b) Calcule o potencial elétrico  $V$ , em volts, criado pelas duas esferas no ponto  $P_0$ .  
 c) Estime a menor energia cinética  $E$ , em eV, que deve ser fornecida ao elétron, para que ele ultrapasse o ponto  $P_0$  e atinja a região à direita de  $P_0$  na figura.

NOTE E ADOTE:  
 Considere  $V = 0$  no infinito.

NOTE E ADOTE:  
 Num ponto  $P$ ,  $V = KQ/r$ , onde  $r$  é a distância da carga  $Q$  ao ponto  $P$ .

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

$$q_e = \text{carga do elétron} = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}.$$

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

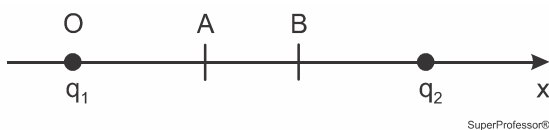
21. (Uece 2022) Duas cargas elétricas  $Q$  e  $-4Q$  estão separadas por uma distância  $d$ . Sobre a linha que une o centro das duas cargas existe um ponto  $P$  para o qual o campo elétrico resultante das mesmas é nulo. Considerando  $K$  a constante eletrostática do meio, o potencial elétrico no referido ponto é expresso por

- a)  $KQ/d$ .  
 b)  $-4KQ/d$ .  
 c)  $-KQ/d$ .  
 d)  $-3KQ/d$ .

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Nas questões com respostas numéricas, considere o módulo da aceleração da gravidade como  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ , densidade da água  $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ , o módulo da carga do elétron como  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , massa do átomo de hidrogênio  $m_H = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ , massa do elétron  $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $\pi = 3$ , constante de Planck  $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$  ou  $4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}$ , velocidade da luz no vácuo  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ , constante de Coulomb  $k_e = 9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ .

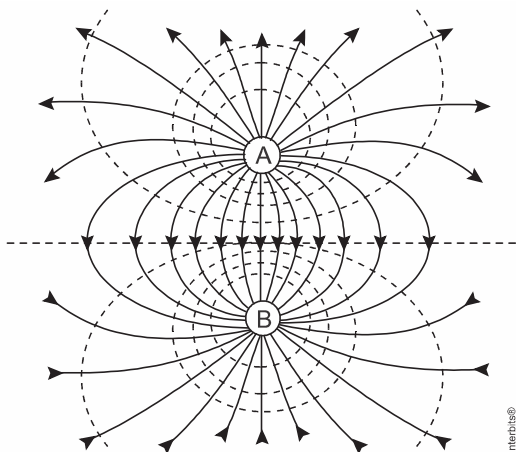
22. (Upe-ssa 3 2022) Duas partículas carregadas  $q_1 = -8,0 \times 10^{-9} \text{ C}$  e  $q_2 = +8,0 \times 10^{-9} \text{ C}$  são colocadas fixas a uma distância de  $d = 1,0 \text{ m}$  uma da outra. As localizações A e B estão a 40 cm e 60 cm da origem onde se encontra a carga  $q_1$ . Qual o valor da diferença de potencial, em volts, entre os pontos A e B,  $V_B - V_A$  ?



- a) 10,0  
 b) 30,0

- c) 50,0
- d) 80,0
- e) 120,0

23. (Unifesp 2008) A figura representa a configuração de um campo elétrico gerado por duas partículas carregadas, A e B.



Assinale a alternativa que apresenta as indicações corretas para as convenções gráficas que ainda não estão apresentadas nessa figura (círculos A e B) e para explicar as que já estão apresentadas (linhas cheias e tracejadas).

	carga da partícula A	carga da partícula B	linhas cheias com setas	linhas tracejadas
a)	(+)	(+)	linha de força	superfície equipotencial
b)	(+)	(-)	superfície equipotencial	linha de força
c)	(-)	(-)	linha de força	superfície equipotencial
d)	(-)	(+)	superfície equipotencial	linha de força
e)	(+)	(-)	linha de força	superfície equipotencial

- a) carga da partícula A: (+)  
carga da partícula B: (+)  
linhas cheias com setas: linha de força  
linhas tracejadas: superfície equipotencial
- b) carga da partícula A: (+)  
carga da partícula B: (-)  
linhas cheias com setas: superfície equipotencial  
linhas tracejadas: linha de força
- c) carga da partícula A: (-)  
carga da partícula B: (-)  
linhas cheias com setas: linha de força  
linhas tracejadas: superfície equipotencial
- d) carga da partícula A: (-)  
carga da partícula B: (+)  
linhas cheias com setas: superfície equipotencial  
linhas tracejadas: linha de força
- e) carga da partícula A: (+)

carga da partícula B: (-)

linhas cheias com setas: linha de força

linhas tracejadas: superfície equipotencial

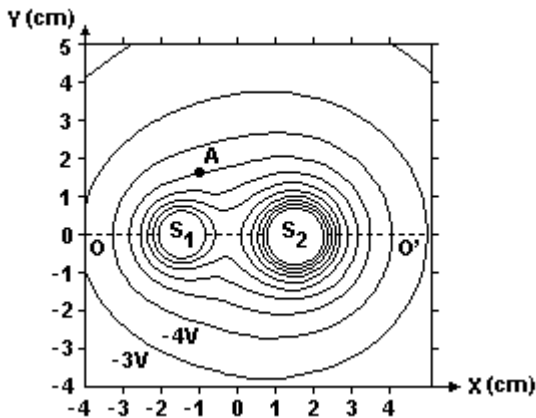
24. (Fuvest 2000) Na figura mostrada, estão representadas as superfícies equipotenciais do potencial eletrostático criado por duas esferas carregadas  $S_1$  e  $S_2$ . Os centros das esferas estão sobre a reta  $OO'$ . A diferença de potencial entre duas linhas sucessivas é de 1 volt, e as equipotenciais de  $-3V$  e  $-4V$  estão indicadas no gráfico.

a) Identifique os sinais das cargas elétricas  $Q_1$  e  $Q_2$  nas esferas  $S_1$  e  $S_2$ . Indique a relação entre os módulos das cargas  $|Q_1|$  e  $|Q_2|$ , utilizando os símbolos  $>$ ,  $<$  ou  $=$ .

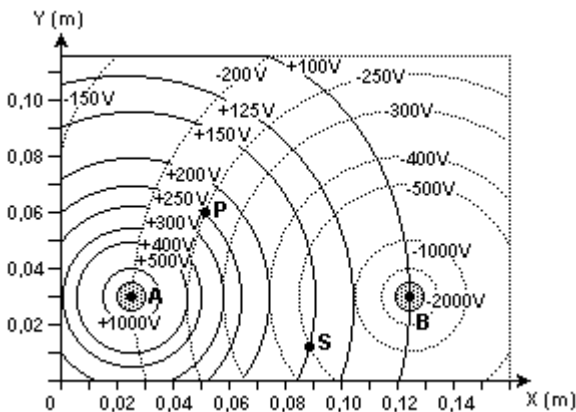
b) Represente, na figura, direção e sentido do vetor campo elétrico  $E$  no ponto A.

c) Estime o valor do campo elétrico  $E$  no ponto A, em N/C (newton/coulomb), utilizando a escala de distâncias indicada na figura.

d) Se existirem um ou mais pontos em que o campo elétrico seja nulo, demarque, com a letra N, aproximadamente, a região onde isso acontece. Se em nenhum ponto o campo for nulo, escreva na sua resposta: "Em nenhum ponto o campo é nulo".



25. (Fuvest 2003) Duas pequenas esferas metálicas, A e B, são mantidas em potenciais eletrostáticos constantes, respectivamente, positivo e negativo. As linhas cheias do gráfico representam as intersecções, com o plano do papel, das superfícies equipotenciais esféricas geradas por A, quando não há outros objetos nas proximidades. De forma análoga, as linhas tracejadas representam as intersecções com o plano do papel, das superfícies equipotenciais geradas por B. Os valores dos potenciais elétricos dessas superfícies estão indicados no gráfico. As questões se referem à situação em que A e B estão na presença uma da outra, nas posições indicadas no gráfico, com seus centros no plano do papel.



NOTE/ADOTE

Uma esfera com carga  $Q$  gera, fora dela, a uma distância  $r$  do seu centro, um potencial  $V$  e um campo elétrico de módulo  $E$ , dados pelas expressões:

$$V = K(Q/r); E = K(Q/r^2) = V/r; K = \text{constante}; 1\text{ volt/metro} = 1 \text{ newton/coloumb}$$

a) Trace, com caneta, em toda a extensão do gráfico da folha de respostas, a linha de potencial  $V = 0$ , quando as duas esferas estão nas posições indicadas. Identifique claramente essa linha por  $V = 0$ .

b) Determine, em volt/metro, utilizando dados do gráfico, os módulos dos campos elétricos  $E(PA)$  e  $E(PB)$  criados, no ponto P, respectivamente, pelas esferas A e B.

c) Represente, em uma escala conveniente, no gráfico, com origem no ponto P, os vetores  $E(PA)$ ,  $E(PB)$  e o vetor campo elétrico  $E(P)$  resultante em P. Determine, a partir desta construção gráfica, o módulo de  $E(P)$ , em volt/metro.

d) Estime o módulo do valor do trabalho  $\tau$ , em joules, realizado quando uma pequena carga  $q = 2,0\text{nC}$  é levada do ponto P ao ponto S, indicados no gráfico.

( $2,0\text{nC} = 2,0 \text{ nanocoulombs} = 2,0 \times 10^{-9}\text{C}$ ).

26. (Unesp 1993) Considere uma ampla região do espaço onde exista um campo elétrico uniforme e constante. Em quaisquer pontos desse espaço, como os pontos I e II, o valor desse campo é  $\vec{E}$  (Figura 1). Em seguida uma pequena esfera de material isolante e sem carga é introduzida nessa região, ficando o ponto II no centro da esfera e o ponto I à sua esquerda. O campo elétrico induzirá cargas na superfície da esfera (Figura 2).

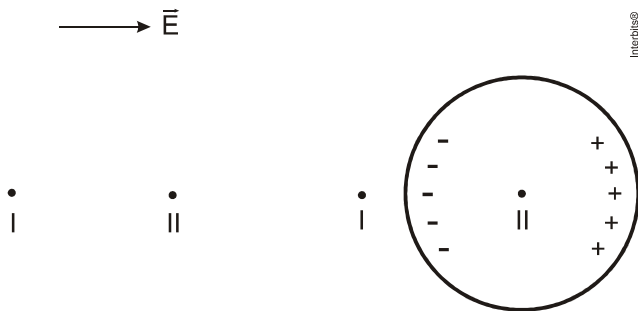
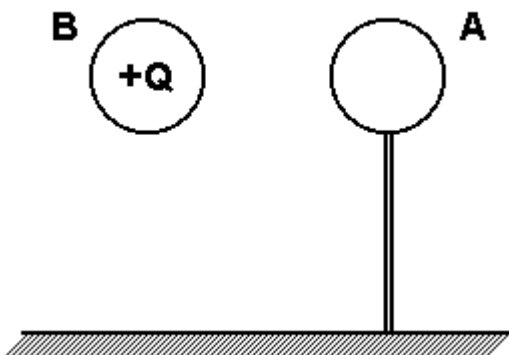


Figura 1

Figura 2

a) O que ocorrerá com a intensidade do campo elétrico nos pontos I e II?  
 b) Justifique sua resposta.

27. (Fuvest 2000) Duas esferas metálicas A e B estão próximas uma da outra. A esfera A está ligada à Terra, cujo potencial é nulo, por um fio condutor.



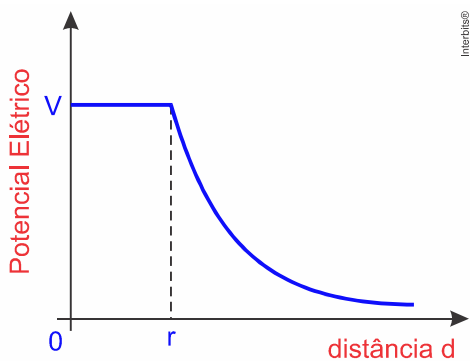
A esfera B está isolada e carregada com carga  $+Q$ . Considere as seguintes afirmações:

- I. O potencial da esfera A é nulo.
- II. A carga total da esfera A é nula
- III. A força elétrica total sobre a esfera A é nula

Está correto apenas o que se afirma em

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

28. (Ueg 2021) O gráfico a seguir apresenta o potencial criado por um condutor esférico de raio  $r$  carregado positivamente em função da distância  $d$ .



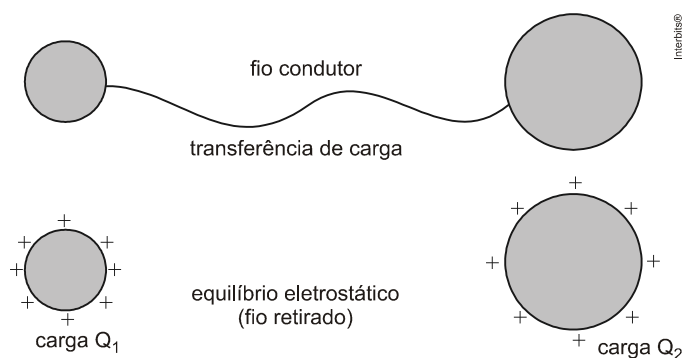
A esfera condutora está em equilíbrio eletrostático. Considerando a condição apresentada no gráfico, o potencial elétrico em

- a)  $d < r$  é dependente de  $d$ .
- b)  $d < r$  é sempre negativo.
- c)  $d > r$  reduz com  $1/d^2$ .
- d)  $d = r$  se anula.
- e)  $d > r$  decai com  $1/d$ .

29. (Unesp 2011) Uma esfera condutora descarregada (potencial elétrico nulo), de raio  $R_1 = 5,0$  cm, isolada, encontra-se distante de outra esfera condutora, de raio  $R_2 = 10,0$  cm, carregada com carga elétrica  $Q = 3,0\mu\text{C}$  (potencial elétrico não nulo), também isolada.

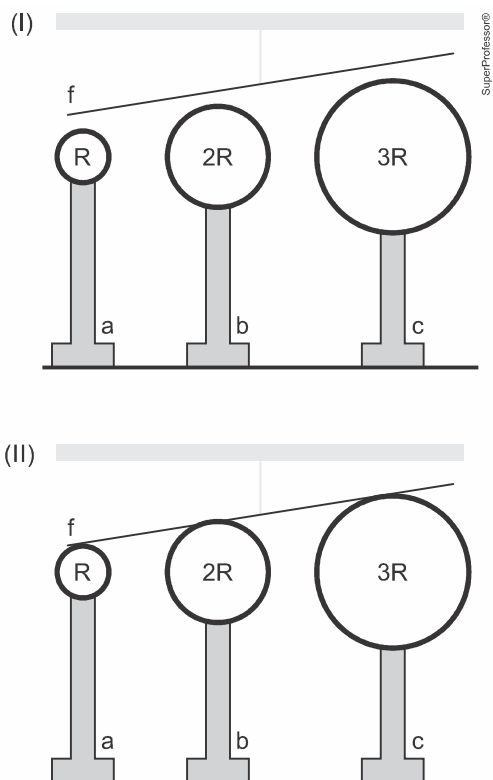


Em seguida, liga-se uma esfera à outra, por meio de um fio condutor longo, até que se estabeleça o equilíbrio eletrostático entre elas. Nesse processo, a carga elétrica total é conservada e o potencial elétrico em cada condutor esférico isolado descrito pela equação  $V = k \frac{q}{r}$ , onde  $k$  é a constante de Coulomb,  $q$  é a sua carga elétrica e  $r$  o seu raio.



Supondo que nenhuma carga elétrica se acumule no fio condutor, determine a carga elétrica final em cada uma das esferas.

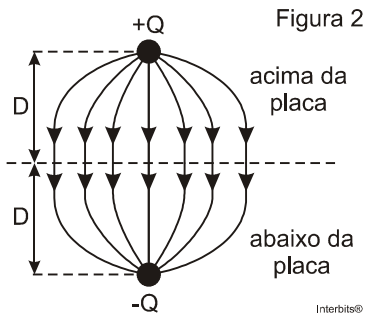
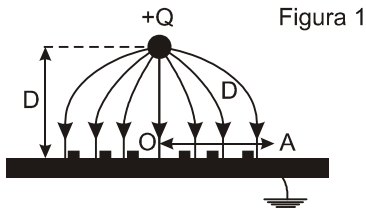
30. (Ufrgs 2022) A figura abaixo representa 3 esferas, a, b e c, com raios  $R$ ,  $2R$  e  $3R$ , perfeitamente condutoras e eletricamente carregadas, e um fio  $f$ , também perfeitamente condutor e neutro, suspenso por uma corda isolante, em dois momentos distintos (I) e (II). As esferas estão em suportes isolantes e separadas por grandes distâncias.



De início, no painel (I), a esfera a tem carga elétrica  $+2Q$ , a esfera b tem carga elétrica  $-3Q$ , a esfera c tem carga elétrica  $-2Q$ , e o fio está afastado das esferas. O fio  $f$  é então posto simultaneamente em contato com as três esferas, como mostra o painel (II). Após longo tempo nessa situação, o fio suspenso é afastado. As cargas elétricas nas esferas a, b e c são, aproximadamente,

- a)  $-3Q, -2Q, +2Q$ .
- b)  $-3Q, +Q, -Q$ .
- c)  $-2Q, +2Q, -3Q$ .
- d)  $-Q, -Q, -Q$ .
- e)  $-Q/2, -Q, -3Q/2$ .

31. (Fuvest 2006) Uma pequena esfera, com carga elétrica positiva  $Q = 1,5 \times 10^{-9} \text{ C}$ , está a uma altura  $D = 0,05 \text{ m}$  acima da superfície de uma grande placa condutora, ligada à Terra, induzindo sobre essa superfície cargas negativas, como na figura 1. O conjunto dessas cargas estabelece um campo elétrico que é idêntico, apenas na parte do espaço acima da placa, ao campo gerado por uma carga  $+Q$  e uma carga  $-Q$ , como se fosse uma "imagem" de  $Q$  que estivesse colocada na posição representada na figura 2.



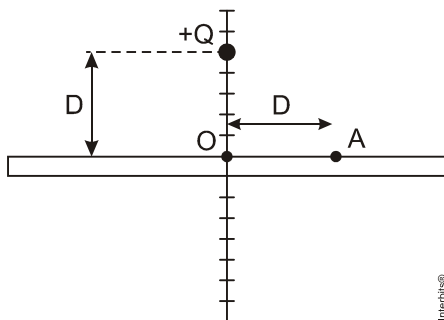
- Determine a intensidade da força  $F$ , em N, que age sobre a carga  $+Q$ , devida às cargas induzidas na placa.
- Determine a intensidade do campo elétrico  $E_0$ , em V/m, que as cargas negativas induzidas na placa criam no ponto onde se encontra a carga  $+Q$ .
- Represente, no diagrama a seguir, no ponto A, os vetores campo elétrico  $\vec{E}_+$  e  $\vec{E}_-$ , causados, respectivamente, pela carga  $+Q$  e pelas cargas induzidas na placa, bem como o campo resultante,  $\vec{E}_A$ . O ponto A está a uma distância D do ponto O da figura e muito próximo à placa, mas acima dela.
- Determine a intensidade do campo elétrico resultante  $E_A$ , em V/m, no ponto A.

NOTE E ADOTE

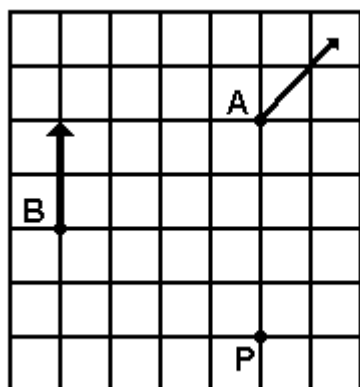
$$F = k Q_1 Q_2 / r^2; E = k Q_2 / r^2; \text{ onde}$$

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

$$1 \text{ V/m} = 1 \text{ N/C}$$



32. (Fuvest 1995) O campo elétrico de uma carga puntiforme em repouso tem, nos pontos A e B, as direções e sentidos indicados pelas flechas na figura a seguir. O módulo do campo elétrico no ponto B vale  $24 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ . O módulo do campo elétrico no ponto P da figura vale, em volt por metro:



- a) 3.
- b) 4.
- c)  $3\sqrt{2}$ .
- d) 6.
- e) 12.

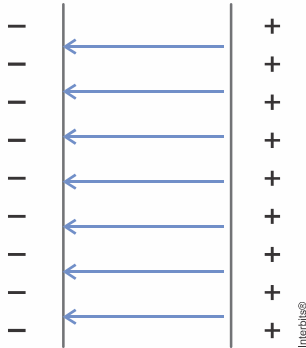


**Gabarito:**

**Resposta da questão 1:**

[E]

O sentido do campo elétrico é da placa positiva para a placa negativa, como mostra a figura abaixo.



Assim, com base no modelo físico, a membrana celular é formada por campos elétricos uniformes (de intensidades constantes) que apontam para dentro da célula.

**Resposta da questão 2:**

[B]

Aplicando a expressão do campo elétrico uniforme:

$$U = E_0 d = 4 \times 10^{-2} \times 5 \times 10^{-6} \Rightarrow \boxed{U = 2,0 \times 10^{-7} \text{ V}}$$

**Resposta da questão 3:**

[E]

$$U = E \cdot d$$

$$U = 120 \cdot 1,2 = 144 \text{ V}$$

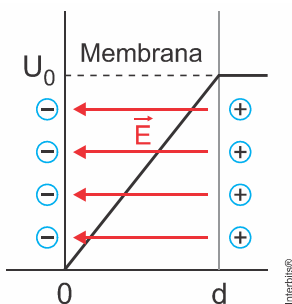
**Resposta da questão 4:**

[E]

$$\left\{ \begin{array}{l} E d = V \Rightarrow E = \frac{V}{d} \\ F = |q|E \Rightarrow F = eE \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{F = \frac{e V}{d}}$$

**Resposta da questão 5:**

a) Assimilando as paredes da membrana às placas de um capacitor, o vetor campo elétrico ( $\vec{E}$ ) tem sentido da placa positiva para a negativa, conforme ilustra a figura.



$$b) E d = U_0 \Rightarrow E = \frac{U_0}{d} = \frac{8 \times 10^{-2}}{64 \times 10^{-10}} \Rightarrow \boxed{E = 1,25 \times 10^7 \text{ V/m}}$$

c) Fazendo a razão entre as forças mencionadas e substituindo os valores dados:

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{qE}{mg} = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 10^7}{10^{-30} \times 10} \Rightarrow \boxed{\frac{F_e}{F_g} = 1,6 \times 10^{17}}$$

**Resposta da questão 6:**

a)  $4,0 \cdot 10^{18} \text{ J}$ .

b)  $1,6 \cdot 10^{13} \text{ m/s}$ .

**Resposta da questão 7:**

[D]

[I] Correta. Desconsiderando a ação de outras forças, a força elétrica é a resultante. Então, pelo teorema da energia cinética, vem:

$$W_{F_{el}} = E_{cin}^B - E_{cin}^A \Rightarrow q(V_A - V_B) = E_{cin}^B - 0 \Rightarrow E_{cin}^B = -1,6 \times 10^{-19} (-2 \times 10^4) \Rightarrow$$

$$\boxed{E_{cin}^B = 3,2 \times 10^{-15} \text{ J}}$$

[II] Correta. A força elétrica é conservativa e, de acordo com o teorema da energia potencial, o trabalho de forças conservativas independe da trajetória.

[III] Incorreta. O trabalho é o mesmo, independente da trajetória, como já justificado.

**Resposta da questão 8:**

a) Se as trajetórias das partículas são retilíneas, a única força responsável pela aceleração é a força elétrica, que é então a força resultante.

Como os dois tipos de íons têm mesma carga e são acelerados na mesma tensão, eles adquirem a mesma energia cinética que pode ser calculada pelo Teorema da Energia Cinética:

$$W_{res} = \Delta E_{cin} \Rightarrow qU = E - E_0 \Rightarrow -1,6 \times 10^{-19} \times (-20 \times 10^3 - 0) = E \Rightarrow$$

$$\boxed{E = 3,2 \times 10^{-15} \text{ J}}$$

b) No gráfico lê-se que os tempos gasto pelos íons (P) e pelos íons (I) na travessia do tubo de comprimento L são  $\Delta t_P = 35 \mu\text{s}$  e  $\Delta t_I = 50 \mu\text{s}$ , respectivamente.

Como no interior do tubo as velocidades são constantes, vem:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_I = \frac{L}{\Delta t_I} \\ v_P = \frac{L}{\Delta t_P} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{v_I}{v_P} = \frac{\Delta t_P}{\Delta t_I} = \frac{35}{50} = \frac{7}{10} \Rightarrow \boxed{\frac{v_I}{v_P} = 0,7}$$

c) Como as energias cinéticas são iguais, têm-se:

$$E_I = E_P \Rightarrow \frac{m_I v_I^2}{2} = \frac{m_P v_P^2}{2} \Rightarrow \frac{m_I}{m_P} = \left( \frac{v_P}{v_I} \right)^2 = \left( \frac{10}{7} \right)^2 \Rightarrow \boxed{\frac{m_I}{m_P} = \frac{100}{49}}$$

d) É dada a massa do íon (P):  $m_P = 2.849 \text{ u}$ .

Do item anterior:

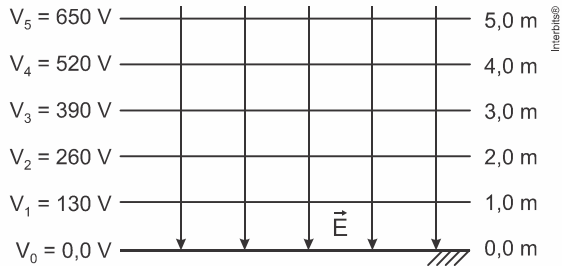
$$\frac{m_I}{m_P} = \frac{100}{49} \Rightarrow m_I = \frac{100}{49} m_P = \frac{100}{49} \times 2.846 \text{ u} \Rightarrow \boxed{m_I \cong 5808 \text{ u}}$$

**Resposta da questão 9:**

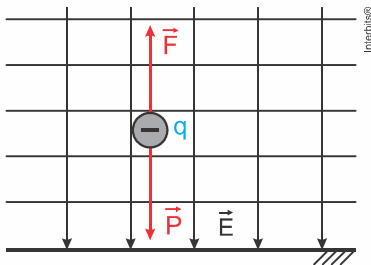
[E]

**Resposta da questão 10:**

a) Como a carga da Terra é negativa, as linhas de força do campo elétrico terrestre são verticais e para baixo. Se no sentido das linhas o potencial elétrico é decrescente, então a partir da superfície ele aumenta 130 volts a cada metro, como ilustra a figura.



b) Para que o corpo fique em repouso, a força elétrica deve ter intensidade igual à da força peso, porém em sentido oposto, como mostra a figura.



Para tal, a carga elétrica do corpo deve ser negativa.

Equacionando:

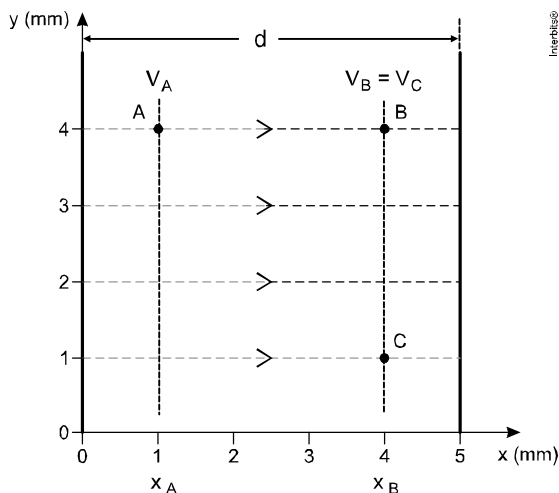
$$F = P \Rightarrow |q|E = mg \Rightarrow |q| = \frac{mg}{E} = \frac{1,3 \times 10}{130} \Rightarrow |q| = 0,1 \text{ C} \Rightarrow \boxed{q = -0,1 \text{ C}}$$

Na prática, isso não seria possível, pois um pequeno corpo não poderia ser eletrizado com uma carga elétrica desta ordem. Note que uma nuvem de tempestade, cujas dimensões são enormes, só consegue armazenar cargas elétricas de algumas dezenas de coulombs.

**Resposta da questão 11:**

a) Dados:  $V = 300 \text{ V}$ ;  $d = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

A figura ilustra os dados.



Como se trata de campo elétrico uniforme,  $E_A = E_B = E_C = E$ .

$$E d = V \Rightarrow E = \frac{V}{d} = \frac{300}{5 \times 10^{-3}} = 60 \times 10^3 \Rightarrow E = 6 \times 10^4 \text{ V/m.}$$

b) Da figura:  $x_A = 1 \text{ mm}$  e  $x_B = 4 \text{ mm}$ .

$$V_{AB} = E d_{AB} = E(x_B - x_A) = 6 \times 10^4 (4 - 1) \times 10^{-3} \Rightarrow V_{AB} = 180 \text{ V.}$$

Como os pontos B e C estão na mesma superfície equipotencial:

$$V_{BC} = 0 \text{ V.}$$

c) Dado:  $q = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

Analisando a figura dada:  $V_{CA} = V_{BA} = -V_{AB} = -180 \text{ V}$ .

$$\tau = q V_{CA} = -1,6 \times 10^{-19} \times (-180) \Rightarrow$$

$$\tau = 2,88 \times 10^{-17} \text{ J.}$$

### Resposta da questão 12:

[D]

Dados obtidos a partir da leitura do gráfico:

$$r_i = 3 \times 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow U_i = 3 \times 10^{-18} \text{ J};$$

$$r_f = 9 \times 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow U_f = 1 \times 10^{-18} \text{ J.}$$

Como a força elétrica (força conservativa), nesse caso, é a própria força resultante, podemos combinar os Teoremas da Energia Potencial (TEP) e da Energia Cinética (TEC).

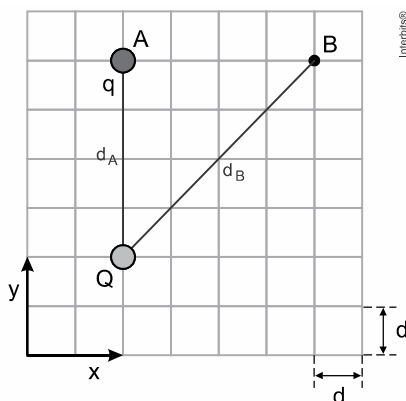
$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{\vec{F}_{\text{conservativa}}} = -\Delta U \\ \tau_{\vec{F}_{\text{resultante}}} = \Delta E_{\text{cin}} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta E_{\text{cin}} = -\Delta U \Rightarrow \Delta E_{\text{cin}} = -(U_f - U_i) = -(1 - 3) \times 10^{-18} \Rightarrow$$

$$\Delta E_{\text{cin}} = +2 \times 10^{-18} \text{ J.}$$

$\Delta E_{\text{cin}} > 0 \Rightarrow$  a energia cinética aumenta.

### Resposta da questão 13:

a) Analisemos a figura:



Na figura dada vemos que:

$$d_A = 4d.$$

O triângulo retângulo QAB é isósceles.

$$d_B = d_A \sqrt{2} \Rightarrow d_B = 4d \sqrt{2}.$$

Aplicando a lei de Coulomb para as duas situações propostas:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \frac{k |Q| |q|}{d_A^2} \\ F' = \frac{k |Q| |q|}{d_B^2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left( \frac{d_A}{d_B} \right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left( \frac{d_A}{\sqrt{2}d_A} \right)^2 \Rightarrow \boxed{F' = \frac{F}{2}}$$

b) Aplicando o teorema da energia potencial:

$$W_{AB} = E_{\text{pot}}^A - E_{\text{pot}}^B \Rightarrow W_{AB} = \frac{kQq}{d_A} - \frac{kQq}{d_B} \Rightarrow W_{AB} = \frac{kQq}{4d} - \frac{kQq}{4d\sqrt{2}} \Rightarrow$$

$$W_{AB} = \frac{kQq}{d} \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{4\sqrt{2}} \right) \Rightarrow W_{AB} = \frac{kQq}{d} \left( \frac{1}{4} - \frac{\sqrt{2}}{8} \right) \Rightarrow W_{AB} = \frac{kQq}{d} \left( \frac{2-\sqrt{2}}{8} \right) \Rightarrow$$

$$W_{AB} = \frac{kQq}{d} \left( \frac{2-1,4}{8} \right) \Rightarrow W_{AB} = \frac{kQq}{d} \left( \frac{6}{80} \right) \Rightarrow$$

$$\boxed{W_{AB} = \frac{3kQq}{40d}}$$

**Resposta da questão 14:**

[A]

A energia potencial eletrostática é dada por:

$$E_p = \frac{kQq}{d}$$

Por ser uma grandeza escalar, a energia desse novo sistema será maior do que a energia anterior de 15 mJ caso a terceira partícula tenha carga de mesmo sinal que as outras.

**Resposta da questão 15:**

a)  $5,8 \cdot 10^9$  Newtons.

b)  $1,2 \cdot 10^{18}$  Joules.

**Resposta da questão 16:**

[C]

**Resposta da questão 17:**

a)  $2 \times 10^6$  V/m

b) 2eV

**Resposta da questão 18:**

[D]

A carga positiva se movimenta no sentido de diminuição da sua energia potencial.

**Resposta da questão 19:**

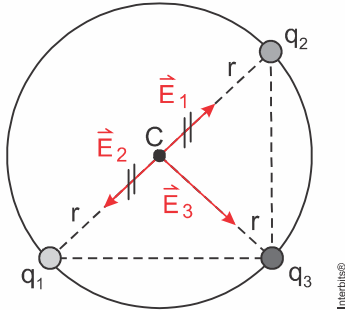
[E]

O potencial elétrico de uma carga puntiforme é uma grandeza escalar dado pela expressão:

$V = \frac{k_0 \cdot Q}{r}$ . Assim, o potencial elétrico resultante no centro C da circunferência é:

$$V_C = \frac{k_0 \cdot Q}{r} + \frac{k_0 \cdot Q}{r} + \frac{k_0 \cdot (-2Q)}{r} \Rightarrow \boxed{V_C = 0}$$

A figura mostra o vetor campo elétrico no centro C da circunferência devido a cada uma das cargas.

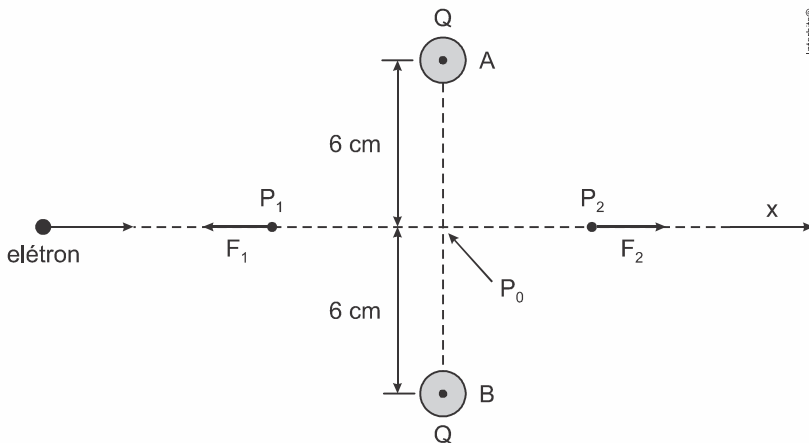


A intensidade do vetor campo elétrico resultante nesse ponto é:

$$E_C = E_3 = \frac{k_0 \cdot |q_3|}{r^2} = \frac{k_0 \cdot |-2Q|}{r^2} \Rightarrow \boxed{E_C = \frac{2 \cdot k_0 \cdot Q}{r^2}}$$

**Resposta da questão 20:**

a)



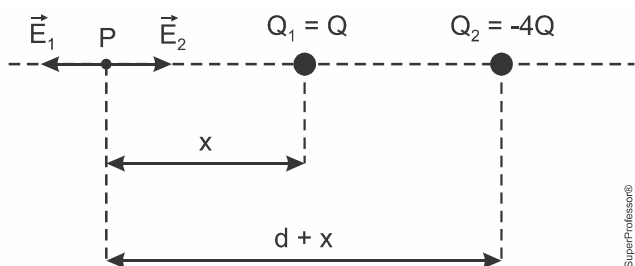
b)  $V = -1,44 \cdot 10^3 \text{ V}$ .

c)  $E = 1,44 \cdot 10^3 \text{ eV}$ .

**Resposta da questão 21:**

[C]

Observando a figura abaixo, devemos ter:



$$E_1 = E_2 \Rightarrow \frac{K|Q|}{x^2} = \frac{K|-4Q|}{(d+x)^2} \Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{4}{(d+x)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{x} = \frac{2}{d+x} \Rightarrow 2x = d+x \Rightarrow x = d$$

Portanto, o potencial no ponto P vale:

$$V_P = V_1 + V_2 = \frac{KQ}{d} + \frac{K \cdot (-4Q)}{d+d} = \frac{KQ}{d} - \frac{2KQ}{d}$$

$$\therefore V_P = -\frac{KQ}{d}$$

### Resposta da questão 22:

[E]

O potencial elétrico de várias cargas em um ponto do espaço é dado pela soma algébrica dos potenciais elétricos de cada carga individual naquele ponto. Esse potencial é determinado pela expressão:

$$V = k_0 \cdot \frac{q}{d}$$

Assim, o potencial do ponto A devido às duas cargas é:

$$V_A = k_0 \cdot \frac{q_1}{d_{q_1A}} + k_0 \cdot \frac{q_2}{d_{q_2A}} \Rightarrow V_A = k_0 \cdot \left( \frac{q_1}{d_{q_1A}} + \frac{q_2}{d_{q_2A}} \right) \Rightarrow$$

$$V_A = 9 \cdot 10^9 \cdot \left( \frac{-8 \cdot 10^{-9}}{0,4} + \frac{8 \cdot 10^{-9}}{0,6} \right) = \frac{-720}{4} + \frac{720}{6} \therefore V_A = -60 \text{ V}$$

E o potencial elétrico do ponto B devido às duas cargas é:

$$V_B = k_0 \cdot \frac{q_1}{d_{q_1B}} + k_0 \cdot \frac{q_2}{d_{q_2B}} \Rightarrow V_B = k_0 \cdot \left( \frac{q_1}{d_{q_1B}} + \frac{q_2}{d_{q_2B}} \right)$$

$$V_B = 9 \cdot 10^9 \cdot \left( \frac{-8 \cdot 10^{-9}}{0,6} + \frac{8 \cdot 10^{-9}}{0,4} \right) = \frac{-720}{6} + \frac{720}{4} \therefore V_B = 60 \text{ V}$$

Logo, a diferença de potencial entre o ponto B e o ponto A é:

$$V_B - V_A = 60 \text{ V} - (-60 \text{ V}) \therefore V_B - V_A = 120 \text{ V}$$

### Resposta da questão 23:

[E]

### Resposta da questão 24:

a) Os potenciais elétricos dos pontos do campo são negativos, independentes da posição relativa às esferas - o que evidencia que os sinais das cargas de  $S_1$  e  $S_2$  são negativos.

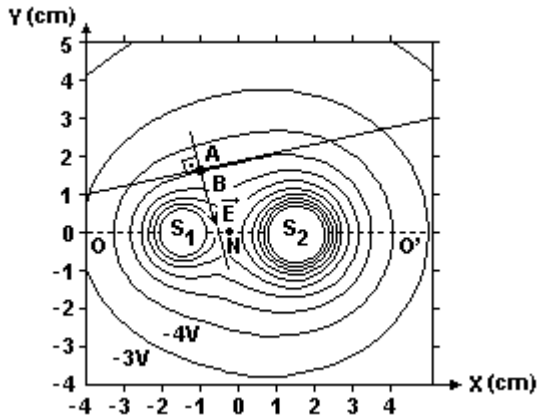
b) O vetor campo elétrico é perpendicular à S.E. e aponta para o menor potencial (ver figura).

c) Somando as superfícies A e B apresentadas na figura e, estimando a distância  $AB=0,5\text{cm}$  e considerando a aproximação  $E \cdot d = u$ , temos:

$$E \times 0,5 \times 10^2 = 1$$

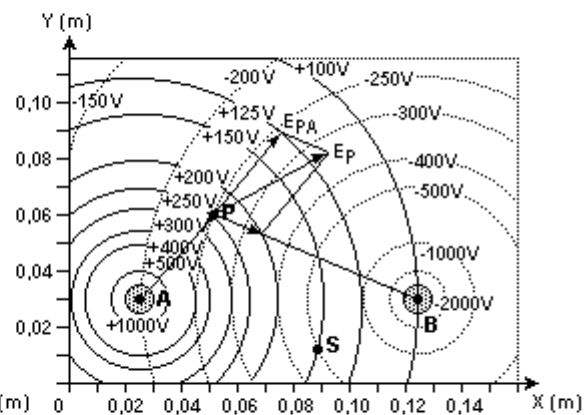
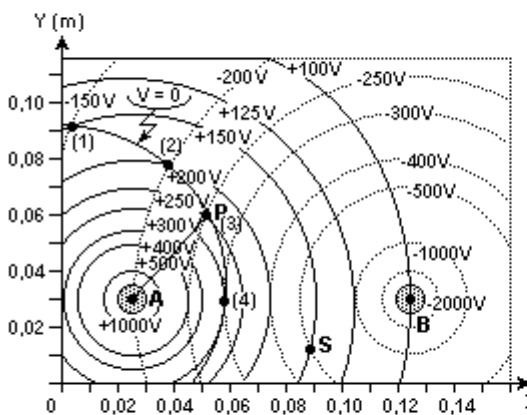
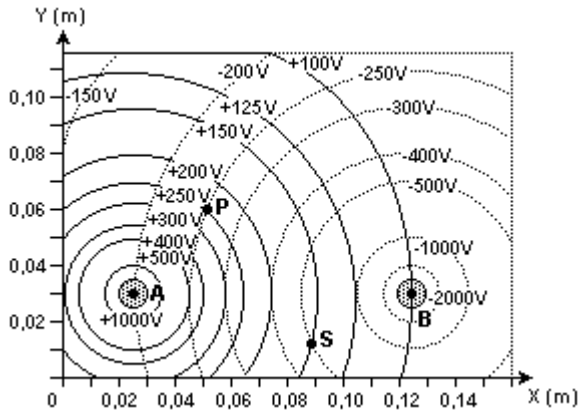
$$E = 200 \text{ N/C}$$

d) Ver figura.



**Resposta da questão 25:**

a) A figura 1 mostra que nos pontos (1), (2), (3) e (4) a soma dos potenciais produzidos pelas duas esferas é nulo. Logo, tais pontos pertencem ao lugar geométrico dos pontos onde  $V = 0$ :





b) Utilizando-se a escala do gráfico do enunciado:

1cm  $\rightarrow$  0,02m, temos que  $r_A \approx 0,04$ m.

Como  $V(P)^A = 250$ V, tem-se que a intensidade do campo elétrico  $E(P)^A$  é:

$$E(P)^A = |V(P)^A|/r_A = 6250\text{V/m}$$

Analogamente:  $r_B \approx 0,08$ m e  $V(P)^B = -250$ V,

então:  $E(P)^B = 3125\text{V/m}$ .

c) Na figura 2, acima, utilizaremos para os vetores campos elétricos a escala:

1cm  $\rightarrow$  3125V/m

Como  $E(P)$  corresponde a 2,5cm, tem-se:

$$E(P) = 2,5 \cdot 3125 = 7812,5\text{V/m}$$

d) O trabalho realizado ( $\tau$ ) pela força elétrica no deslocamento da carga  $q$ , desde o ponto P até o ponto S, é:

$$\tau = q (V(P) - V(S)), \text{ onde:}$$

$$q = 2,0 \cdot 10^9\text{C}$$

$$V(P) = 0$$

$$V(S) = 150 - 500 = -350\text{V}$$

$$\text{Assim: } \tau = 2,0 \cdot 10^9 [0 - (-350)] = 7,0 \cdot 10^7\text{J}$$

**Resposta da questão 26:**

a) I – aumenta, II – diminui.

b) A distribuição de cargas na esfera cria um novo campo elétrico, que tem sentido para a direita no ponto I e para a esquerda no ponto II, tornando nula a intensidade do campo elétrico resultante nesse ponto, bem como no interior da esfera.

**Resposta da questão 27:**

[A]

**Resposta da questão 28:**

[E]

- No interior do condutor ( $d \leq r$ ), o potencial elétrico é constante e igual ao potencial da superfície:

$$V = \frac{kQ}{r}.$$

- Para pontos externos ( $d > r$ ), a expressão do potencial elétrico é:

$$V = \frac{kQ}{d}. \text{ Ou seja, o potencial decai com } 1/d.$$

**Resposta da questão 29:**

Após o contato, as esferas terão o mesmo potencial elétrico.

$$V_1 = V_2 \rightarrow \frac{kQ_1}{R_1} = \frac{kQ_2}{R_2} \rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{5}{10} = \frac{1}{2} \rightarrow Q_2 = 2Q_1 \text{ (01)}$$

A carga total não muda, portanto:  $Q_1 + Q_2 = 3$  (02)

$$\text{Substituindo 01 em 02, vem: } Q_1 + 2Q_1 = 3 \rightarrow 3Q_1 = 3 \rightarrow \begin{cases} Q_1 = 1\mu\text{C} \\ Q_2 = 2\mu\text{C} \end{cases}$$

**Resposta da questão 30:**

[E]

O sistema é eletricamente isolado; assim a carga total é conservada.

$$Q'_a + Q'_b + Q'_c = Q_a + Q_b + Q_c \Rightarrow Q'_a + Q'_b + Q'_c = 2Q - 3Q - 2Q \Rightarrow$$

$$\boxed{Q'_a + Q'_b + Q'_c = 3Q}$$

Após longo tempo, o equilíbrio eletrostático é atingido, quando as esferas igualarem os potenciais eletrostáticos.

$$V'_a = V'_b = V'_c \Rightarrow \frac{kQ'_a}{R} = \frac{kQ'_b}{2R} = \frac{kQ'_c}{3R} \Rightarrow \frac{Q'_a}{1} = \frac{Q'_b}{2} = \frac{Q'_c}{3}$$

Usando as propriedades das proporções:

$$\frac{Q'_a}{1} = \frac{Q'_b}{2} = \frac{Q'_c}{3} = \frac{Q'_a + Q'_b + Q'_c}{1+2+3} \Rightarrow \frac{Q'_a}{1} = \frac{Q'_b}{2} = \frac{Q'_c}{3} = \frac{-3Q}{6} = \frac{-Q}{2}$$

$$\left\{ \frac{Q'_a}{1} = \frac{-Q}{2} \Rightarrow \boxed{Q'_a = \frac{-Q}{2}} \right.$$

$$\left\{ \frac{Q'_b}{2} = \frac{-Q}{2} \Rightarrow \boxed{Q'_b = -Q} \right.$$

$$\left\{ \frac{Q'_c}{3} = \frac{-Q}{2} \Rightarrow \boxed{Q'_c = \frac{-3Q}{2}} \right.$$

**Resposta da questão 31:**

a) Dados:  $D = 0,05\text{m}$ ;  $r = 2D = 0,1\text{m} = 10^{-1}\text{m}$ ;  $Q = 1,5 \times 10^{-9}\text{C}$ ;  $k = 9 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ .

A intensidade da força pedida é igual à da força entre as duas cargas puntiformes, de mesmo módulo. Então:

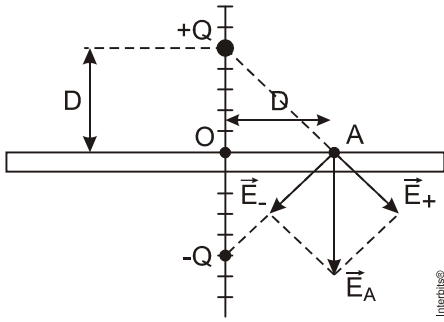
$$F = \frac{k|Q|^2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (1,5 \times 10^{-9})^2}{(10^{-1})^2} \Rightarrow \frac{9 \times 10^9 \times 2,25 \times 10^{-18}}{10^{-2}} \Rightarrow$$

$$\boxed{F = 2,025 \times 10^{-6} \text{ N.}}$$

b) Aplicando a expressão da força que o campo elétrico aplica numa carga elétrica:

$$F = |Q|E_0 \Rightarrow E_0 = \frac{F}{|Q|} = \frac{2,025 \times 10^{-6}}{1,5 \times 10^{-9}} \Rightarrow \boxed{E_0 = 1,35 \times 10^3 \text{ V/m.}}$$

c) Observe a figura:



d) A distância ( $d$ ) de cada carga ao ponto  $A$  pode ser calculada pelo teorema de Pitágoras:

$$d^2 = D^2 + D^2 \Rightarrow d = D\sqrt{2} \Rightarrow d = 5\sqrt{2} \times 10^{-2} \text{ m.}$$

Calculando as intensidades dos campos elétricos no ponto  $A$ .

$$E_- = E_+ = E = \frac{k|Q|}{d^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 1,5 \times 10^{-9}}{(5\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = \frac{13,5}{50 \times 10^{-4}} \Rightarrow E = 2,7 \times 10^3 \text{ V/m.}$$

Como  $E_+$  e  $E_-$  são perpendiculares entre si:

$$E_A^2 = E_+^2 + E_-^2 \Rightarrow E_A^2 = 2 E^2 \Rightarrow E_A = \sqrt{2} E = 1,41 \times 2,7 \times 10^3 \Rightarrow$$

$$E_A = 3,81 \times 10^3 \text{ V/m.}$$

**Resposta da questão 32:**

[D]