

پاسخنامه تشریحی

۱

الف

کره‌ها مشابه‌اند؛ پس، بار الکتریکی آنها پس از اتصال، با هم برابر می‌شود.

به کمک قانون پایستگی بار داریم:

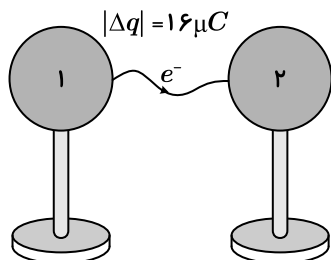
$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \Rightarrow q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{-8\mu C + 24\mu C}{2} = 8\mu C$$

ب

بار کره (۱) منفی و بار کره (۲) مثبت است؛ بنابراین با تماس دو کره، الکترون‌ها از کره (۱) به کره (۲) می‌روند. از طرفی تعداد الکترون‌هایی که کره (۲) می‌گیرد، به مقدار بار

جابه‌جاشده بستگی دارد که برابر با $q'_2 - q_2$ است:

پس، اول بار جابه‌جاشده را به دست می‌آوریم:



$$\Delta q_2 = q'_2 - q_2 = 8\mu C - (24\mu C) = -16\mu C$$

۲

الف

با توجه به سری الکتریسیته مالشی، بار کهربا با گرفتن الکترون منفی می‌شود؛ چون، به انتهای منفی سری نزدیک‌تر است، بار پشم هم با از دست دادن الکترون مثبت می‌شود.

ب

بار پشم که 10^9 الکترون از دست داده است، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$q_{\text{پشم}} = +ne \xrightarrow{e=1.6 \times 10^{-19} C} q_{\text{پشم}} = 10^9 \times 1.6 \times 10^{-19} C = 1.6 \times 10^{-10} C = 1.6 pC$$

با توجه به پایستگی بار، بار کهربا برابر منفی بار پشم است؛ پس:

$$q_{\text{کهربا}} = -q_{\text{پشم}} = -1.6 pC$$

پ

اگر به سری الکتریسیته مالشی نگاه کنید، می‌فهمید که لاستیک الکترون‌خواهی بیشتری دارد، بنابراین، الکترون جذب می‌کند و بارش منفی می‌شود. از طرفی با جدا شدن الکترون از

سرب، بار آن مثبت می‌شود؛ بنابراین، کهربا که بار منفی دارد، سرب را جذب و لاستیک را دفع می‌کند.

۳

بار الکتریکی باید مضرب صحیحی از $1.6 \times 10^{-19} C$ باشد. باید بررسی کنیم کدام گزینه مضرب صحیحی از بار پایه می‌شود. برای این کار، بار هر گزینه را تقسیم بر $1.6 \times 10^{-19} C$ می‌کنیم.

گزینه (۱):

$$n = \frac{4 \times 10^{-19} C}{1.6 \times 10^{-19} C} = \frac{4}{1.6} = 2.5$$

۲٫۵ مضرب صحیح نیست.

گزینه (۲):

$$n = \frac{8 \times 10^{-19} C}{1.6 \times 10^{-19} C} = 5$$

که این مقدار مضرب صحیح است.

۴

با توجه به نکته بالا داریم:

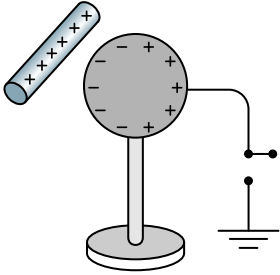
$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1| \times |q'_2|}{|q_1| \times |q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \xrightarrow{q'_1=q_1, q'_2=2q_2, r'=2r} \frac{|q_1| \times |2q_2|}{|q_1| \times |q_2|} \times \left(\frac{r}{2r}\right)^2 = 2 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 2 \times (2)^2 = 2 \times 4 = 8$$

۵

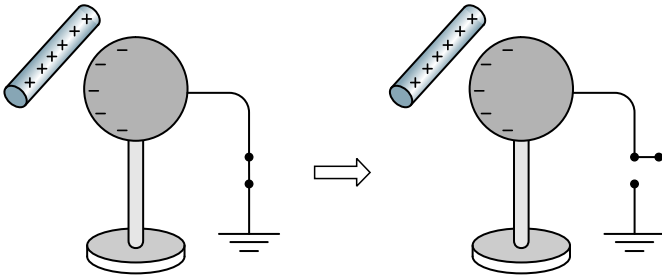
شکل داده شده یک سازوکار آزمایشگاهی برای مشاهده این موضوع را که با افزایش فاصله، میدان الکتریکی کاهش می‌یابد، نشان می‌دهد. دو شمع، یکی در فاصله‌ای نزدیک و دیگری در فاصله‌ای دور از کلاهک یک مولد وان دوگراف قرار گرفته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، شعله شمع نزدیک‌تر، به سمت کلاهک کشیده شده است. در حالی که شعله شمع دورتر تغییر چندانی نکرده است. دلیل آن است که کلاهک مولد وان دوگراف بار منفی بزرگی دارد که یون‌های مثبت درون شعله شمع نزدیک‌تر را به سمت خود می‌کشد، در حالی که شمع دیگر در فاصله دوری از کلاهک قرار گرفته است که تحت تأثیر میدان الکتریکی ضعیفی قرار می‌گیرد.

۶

گام اول: با توجه به سری الکتریسیته مالشی، با مالش میله شیشه‌ای به پارچه ابریشمی، میله بار مثبت و پارچه بار منفی می‌گیرد.
گام دوم: با نزدیک کردن میله به بار مثبت به کره مطابق شکل روبه‌رو، الکترون‌های آزاد سطح کره به سمت میله کشیده می‌شوند.

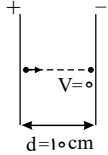


گام سوم: با بستن کلید، الکترون‌های آزاد از زمین وارد کره می‌شوند و بارهای مثبت تجمع یافته در طرف راست کره را خنثی می‌کنند. با این اتفاق بار خالص کره منفی می‌شود و با باز کردن کلید، بار کره منفی می‌ماند.



۷

در غیاب نیروهای دیگر به جز نیروی الکتریکی، داریم:



$$E = \text{ثابت} \rightarrow U + K = \text{ثابت} \rightarrow U_f + K_f = U_i + K_i$$

$$\rightarrow (U_f - U_i) = -(K_f - K_i) \rightarrow \Delta U = -\Delta K \xrightarrow{\Delta U = q\Delta V}$$

از طرفی:

$$q\Delta V = -\Delta K \rightarrow (-8 \times 10^{-6})(-1000) = -(\cancel{K_f} - K_i)$$

نکته: چون بار ذره منفی بوده و ذره در نهایت متوقف شده است، می‌فهمیم که به ذره در خلاف جهت حرکت آن ذره نیرو وارد شده است؛ یعنی ذره از صفحه با بار مثبت به طرف صفحه با بار منفی پرتاب شده است.

بنابراین:

$$\text{اختلاف پتانسیل} \begin{cases} \Delta V = V_f - V_i = -1000V \\ v_f < v_i \end{cases}$$

$$K_i = 8 \times 10^{-3} \rightarrow \frac{1}{2}(0.2 \times 10^{-6} \times 10^{-3})v_f^2 = 8 \times 10^{-3} \rightarrow v_f^2 = 8 \times 10^9 = 80 \times 10^8 \rightarrow v = 4000 \sqrt{5} \text{ m/s}$$

۸

با استفاده از تعریف پتانسیل الکتریکی و در نظر گرفتن زمین با اندیس E ، داریم:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = \frac{W_{\text{خارجی}}}{q} \Rightarrow \begin{cases} V_A - V_E = \frac{200 \times 10^{-6}}{20 \times 10^{-6}} \Rightarrow V_A - V_E = 10V \\ V_B - V_E = \frac{400 \times 10^{-6}}{-8 \times 10^{-6}} \Rightarrow V_B - V_E = -50V \end{cases}$$

$$\Rightarrow (V_B - V_E) - (V_A - V_E) = -50 - 10 \Rightarrow V_B - V_A = -60V$$

برای انتقال بار $5 \mu C$ از نقطه A تا نقطه B داریم:

$$V_B - V_A = \frac{-W_E}{q} \Rightarrow -60 = \frac{-W_E}{5 \times 10^{-6}} \Rightarrow W_E = 300 \times 10^{-6} J = 300 \mu J$$

۹

الف

یعنی حداکثر ولتاژی که می‌تواند این خازن را به آن متصل کرد، تا فروریزش الکتریکی اتفاق نیفتد. یا حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن.

ب

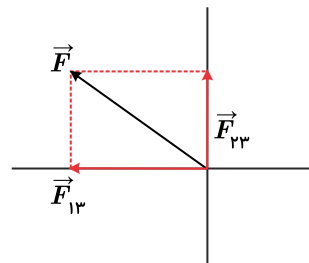
$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-6} \times 400^2 = 0.8 J$$

۱۰

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow F_{12} = \frac{9 \times 10^9 \times 40 \times 10^{-9} \times 20 \times 10^{-9}}{9 \times 10^{-2}} = 8 \times 10^{-3} N$$

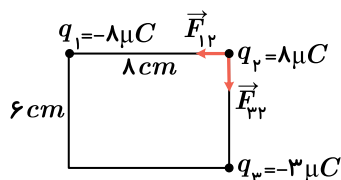
$$F_{23} = \frac{9 \times 10^9 \times 30 \times 10^{-9} \times 20 \times 10^{-9}}{9 \times 10^{-2}} = 6 \times 10^{-3} N$$

$$\vec{F} = (-8 \times 10^{-3} N)\vec{i} + (6 \times 10^{-3} N)\vec{j}$$



۱۱

گام اول: جهت نیروهای وارد بر q_2 را مشخص می‌کنیم:



گام دوم: q_2 را در نظر نمی‌گیریم و نیروی وارد بر q_2 از طرف q_1 را به دست می‌آوریم. همان‌طور که در شکل بالا می‌بینید، این نیرو خلاف جهت \vec{i} است:

$$\vec{F}_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \frac{(4 \times 10^{-6} C)(4 \times 10^{-6} C)}{(6 \times 10^{-2} m)^2} = 90 N \Rightarrow \vec{F}_{12} = (-90 N)\vec{i}$$

گام سوم: این دفعه q_1 را کنار می‌گذاریم و \vec{F}_{23} را تعیین می‌کنیم، چون این نیرو در خلاف جهت \vec{j} است، داریم:

$$\vec{F}_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \frac{(3 \times 10^{-6} C)(4 \times 10^{-6} C)}{(6 \times 10^{-2} m)^2} = 60 N \Rightarrow \vec{F}_{23} = (-60 N)\vec{j}$$

گام چهارم: با توجه به گام دوم و سوم، نیروی برآیند برابر است با:

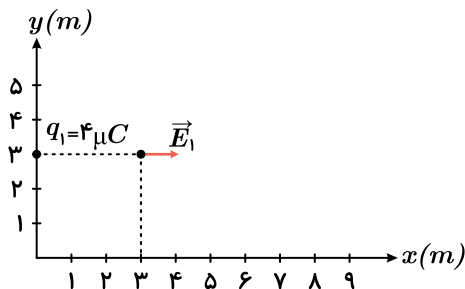
$$F_T = (-90 N)\vec{i} + (-60 N)\vec{j}$$

اندازه F_T هم از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید:

$$F_T = \sqrt{90^2 + 60^2} = \sqrt{11700} N$$

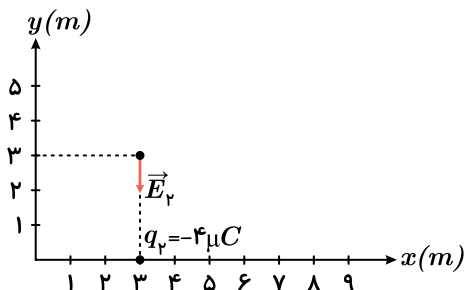
۱۲

گام اول: نقطه $\left[\begin{smallmatrix} 3 \\ 3 \end{smallmatrix} \right]$ را مشخص می‌کنیم و بدون در نظر گرفتن بار q_2 ، میدان حاصل از بار q_1 را به دست می‌آوریم:



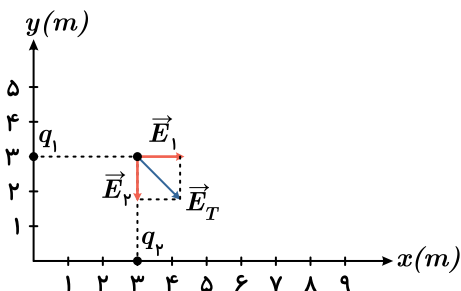
$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \left(\frac{4 \times 10^{-6} C}{(3m)^2} \right) = 4 \times 10^3 N/C \Rightarrow \vec{E}_1 = (4 \times 10^3 N/C) \vec{i}$$

گام دوم: حالا بدون در نظر گرفتن بار q_1 ، میدان حاصل از بار q_2 را به دست می‌آوریم:



$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} = (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \left(\frac{4 \times 10^{-6} C}{(3m)^2} \right) = 4 \times 10^3 N/C \Rightarrow \vec{E}_2 = (-4 \times 10^3 N/C) \vec{j}$$

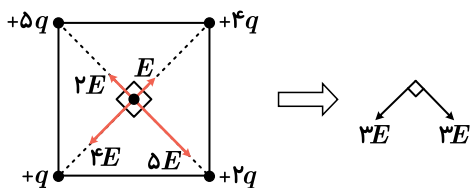
گام سوم: با به دست آوردن \vec{E}_1 و \vec{E}_2 کار را تمام می‌کنیم:



$$\vec{E}_T = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (4 \times 10^3 N/C) \vec{i} + (-4 \times 10^3 N/C) \vec{j} \Rightarrow E_T = \sqrt{(4 \times 10^3)^2 + (-4 \times 10^3)^2} = 4\sqrt{2} \times 10^3 N/C$$

۱۳

با توجه به شکل می‌بینیم که میدان حاصل روی هر کدام از قطرها برابر با $3E$ است.



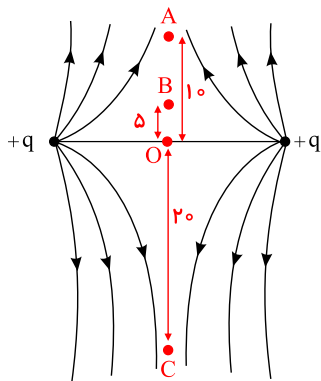
بنابراین:

$$E_T = \sqrt{(3E)^2 + (3E)^2} = 3\sqrt{2}E$$

۱۴

الف

با حرکت از A تا B چون حرکت خودبه‌خودی است، انرژی پتانسیل کاهش یافته و $U_B < U_A$ می‌شود. از طرفی در نقطه O چون میدان صفر است، انرژی پتانسیل هم صفر است. با حرکت از نقطه O به C ، چون بار منفی هم جهت میدان حرکت کرده، حرکت اجباری بوده و انرژی پتانسیل زیاد می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت:



$$U_B < U_A < U_C$$

۱۷ با توجه به قضیه کار - انرژی جنبشی داریم:

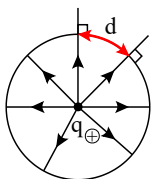
$$W_T = \Delta K \Rightarrow W_E + W_{mg} = K_B - K_A$$

از آنجایی که ذره متوقف می‌شود، انرژی جنبشی نهایی آن صفر است و از آنجایی که بار منفی در جهت خطوط میدان پرتاب می‌شود، نیروی الکتریکی وارد بر آن در خلاف جهت حرکت ($\alpha = 180^\circ$) و با توجه به شکل نیروی وزن در جهت حرکت ($\alpha = 0^\circ$) است. بنابراین:

$$\begin{aligned} W_E + W_{mg} &= -K_1 \Rightarrow |q| E d \cos 180^\circ + mgd \cos 0 = -\frac{1}{2}mv^2 \\ \Rightarrow 32 \times 10^{-6} \times 3000 \times d \times (-1) + 1,6 \times 10^{-3} \times 10 \times d &= -\frac{1}{2} \times 1,6 \times 10^{-3} \times 1^2 \\ \Rightarrow d &= 0,01m \Rightarrow d = 10mm \end{aligned}$$

۱۸ می‌دانیم خطوط میدان اطراف یک بار به صورت شعاعی رسم می‌شود. حال اگر بار را روی محیط دایره حرکت دهیم، فاصله تا مرکز (بار q^+) ثابت می‌ماند؛ پس میدان و نیروی الکتریکی $F = Eq$ هم ثابت می‌مانند.

از طرفی طبق رابطه $\Delta U = Fd \cos \theta$ ، چون همواره مسیر حرکت روی دایره بر خطوط میدان (شعاع) عمود است، پس $\Delta U = 0$



۱۹

در حرکت غیر خودبه‌خودی، ΔU مثبت است.

$$\begin{aligned} W_E = \Delta K &\xrightarrow{W_E = -\Delta U} -300 \times 10^{-6} = \frac{1}{2} \times (10^{-2} \times 10^{-3})((V_0 - 6)^2 - V_0^2) \\ -60 &= \cancel{V_0^2} - 12V_0 + 36 - \cancel{V_0^2} \Rightarrow 12V_0 = 96 \Rightarrow V_0 = 8 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

۲۰

$$\begin{aligned} F = mg \rightarrow k \frac{q_1 q_2}{r^2} &= mg \\ 9 \times 10^9 \frac{0,4 \times 10^{-6} \times 0,5 \times 10^{-6}}{d^2} &= 2 \times 10^{-3} \times 10 \Rightarrow d = 0,3 \end{aligned}$$