



چهارشنبه
۱۴۰۳/۱۲/۲۹

دفترچه پاسخ

الکتریسیته ساکن
(فصل ۱ یازدهم)

دوبینگ ماز

گروه آزمایشی علوم تجربی
فیزیک

| ویراستاران | طراحان | مسئول درس | درس |
|-------------------------------|--|-------------------------------|-------|
| محمدجواد سورچی پویا هدایتی | سجاد صادقی زاده - محسن قندچلر سارا قانع - محمدجواد سورچی علیرضا محمدی - مجید میرزائی | سجاد صادقی زاده سعید احمدی | فیزیک |

| | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| ۴ دوازدهم | ۳ دوازدهم | ۲ دوازدهم | ۱ دوازدهم | ۳ یازدهم | ۲ یازدهم | ۱ یازدهم | ۳ و ۴ دهم | ۲ و ۱ دهم |
| هفته ششم | هفته پنجم | هفته چهارم | | هفته سوم | | هفته دوم | هفته اول | |

۵۵ روز جمع بندی تا کنکور اردیبهشت

حق چاپ و تکثیر سؤالات به هر روش (الکترونیکی و ...) پس از برگزاری آزمون برای تمامی اشخاص حقیقی و حقوقی تنها با مجوز «گروه ماز» مجاز می باشد و با متخلفین برابر مقررات رفتار می شود.

به دلیل عدم رضایت تیم ماز، هر گونه استفاده غیرقانونی از دفترچه سؤالات و پاسخنامه ماز برای تمامی اشخاص، شرعاً حرام است.





اهمیت مباحث این آزمون در کنکور...

خب بریم سراغ فصل مهم «الکتروسیته ساکن» از فیزیک یازدهم.

فصل ۱ فیزیک یازدهم

بعضی از قسمت‌های این فصل نسبتاً دشوار هستند و ما سعی کردیم توی این آزمون سؤالات متنوعی از این مباحث براتون طرح کنیم تا حسابی واسه کنکور آماده باشین! یکم با این فصل آشنا بشیم و بعدش بریم باهمدیگه سراغ بررسی سؤالاتش.

۱- مباحث اصلی این فصل چیا هستند؟
مهم‌ترین مباحث این فصل، مباحث مربوط به «قانون کولن»، «میدان الکتریکی»، «پتانسیل و انرژی پتانسیل الکتریکی» و «خازن» هستند. از مباحث اولیه فصل مثل «گسستگی بار الکتریکی» و «روش‌های باردار کردن اجسام» هم غافل نشین که ممکنه ازشون سؤال بیاد. دانش‌آموزای رشته ریاضی علاوه بر مباحث بالا، مبحث «چگالی سطحی بار الکتریکی» رو هم دارن که خیلی مهمه!

۲- چرا این فصل مهمه؟
از این فصل حدوداً ۳ یا ۴ سؤال توی کنکور مطرح می‌شه که تعداد قابل توجهیه. از طرفی مباحث این فصل قابلیت ترکیب با مطالب فصل‌های بعدی فیزیک یازدهم رو هم دارن که باعث می‌شه اهمیت این فصل بیش‌تر هم بشه.

۳- توی کنکورهای اخیر چند سؤال از این فصل اومده؟
توی جدول زیر، تعداد سؤالاتی که از این فصل توی کنکور اومده رو براتون آوردیم:

| سال | ۱۳۹۹ | ۱۴۰۰ | ۱۴۰۱ | ۱۴۰۲ (نوبت اول) | ۱۴۰۲ (نوبت دوم) | ۱۴۰۳ (نوبت اول) | ۱۴۰۳ (نوبت دوم) |
|-------|------|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| تجربی | ۳ | ۴ | ۴ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ |
| ریاضی | ۴ | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ |

همون‌طور که می‌بینین، باید انتظار حداقل ۳ تست رو از این فصل داشته باشیم.



۱- دو جسم خنثی A و B را مالش می‌دهیم تا دارای بار الکتریکی به بزرگی $8nC$ شوند. با توجه به سری الکتریسیته مالشی زیر، چه تعداد از عبارت‌های زیر صحیح است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$)

| |
|-----------------|
| انتهای مثبت سری |
| A |
| B |
| انتهای منفی سری |

- الف: تعداد 5×10^{19} الکترون از جسم A به جسم B منتقل شده است.
 ب: اگر جسم A را به کلاهک الکتروسکوپ با بار مثبت نزدیک کنیم، فاصله ورقه‌های الکتروسکوپ کاهش می‌یابد.
 پ: جسم‌های A و B یکدیگر را با نیروی الکتریکی می‌رانند.
- ۱ (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴) صفر

(آسان - مفهومی/محاسباتی - ۱۱۰)

پاسخ: گزینه ۴

بررسی موارد:

الف با توجه به این که در سری الکتریسیته مالشی، جسم A بالاتر از جسم B قرار دارد، پس از مالش دو جسم، بار A مثبت و بار B منفی است؛ بنابراین تعدادی الکترون از A به B منتقل شده‌اند. تعداد این الکترون‌ها برابر است با:

$$q = ne \Rightarrow 8 \times 10^{-9} = n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = 5 \times 10^{10} \quad (*)$$

ب بار جسم A مثبت است و اگر آن را به کلاهک الکتروسکوپ دارای بار مثبت نزدیک کنیم، با توجه به هم‌نام بودن جسم و الکتروسکوپ، فاصله ورقه‌ها افزایش می‌یابد. (*)

پ با توجه به توضیحات قسمت «الف»، بار دو جسم، ناهم‌نام است؛ بنابراین جسم‌ها یکدیگر را با نیروی الکتریکی می‌ربایند (جذب می‌کنند). (*)
 با توجه به توضیحات فوق، هر سه عبارت، نادرست هستند.

بار الکتریکی

۱- بار الکتریکی، کمیتی گسسته (کوانتیده) است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q = \pm ne \quad , \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

در رابطه فوق e بار بنیادی و برابر $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ است.

۲- اگر تعداد الکترون‌های یک جسم بیشتر از پروتون‌های آن باشد، علامت بار آن منفی خواهد بود و اگر تعداد الکترون‌های آن کمتر از پروتون‌هایش باشد، علامت بار آن مثبت خواهد بود.

مثال

تعداد الکترون‌های جسمی $2/5 \times 10^{10}$ واحد بیش‌تر از پروتون‌های آن است. بار الکتریکی این جسم چند نانوکولن است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$)
پاسخ: ابتدا دقت کنید که چون الکترون‌ها بیش‌تر هستند، علامت بار جسم منفی است؛ بنابراین می‌توان نوشت:

$$q = -ne = -2/5 \times 10^{10} \times 1/6 \times 10^{-19} = -4 \times 10^{-9} C = -4 nC$$

روش‌های باردار کردن اجسام: مالش

یکی از روش‌های باردار کردن اجسام که معمولاً برای اجسام نارسانا به کار می‌رود، روش مالش است. در مورد این روش خوب است نکات زیر را بدانیم:

- ۱- هنگامی که دو جسم خنثی از طریق مالش، باردار می‌شوند، بار یکی از آن‌ها منفی و بار دیگری مثبت خواهد شد؛ بنابراین علامت بارها مخالف هم خواهد بود.
- ۲- چون در روش مالش تعداد الکترون‌هایی که یک جسم از دست می‌دهد با تعداد الکترون‌هایی که جسم دیگر به دست می‌آورد برابر است، اندازه بار دو جسم با هم برابر خواهد بود؛ به عبارت دیگر اگر بار یک جسم +q باشد، بار دیگری -q خواهد بود.
- ۳- چون در روش مالش، علامت بار اجسام مخالف هم است، نیروی الکتریکی بین این دو جسم پس از مالش از نوع ربایشی خواهد بود.
- ۴- هنگامی که دو جسم را به هم مالش می‌دهیم تا باردار شوند، جسمی که الکترون‌خواه‌تر است (در جدول سری الکتریسیته مالشی در قسمت پایین‌تری قرار دارد)، الکترون می‌گیرد و بار آن منفی می‌شود. همچنین جسمی که کم‌تر الکترون‌خواه است (در جدول سری الکتریسیته مالشی در قسمت بالاتری قرار دارد)، الکترون از دست می‌دهد و بار آن مثبت خواهد بود.

مثال

مطابق جدول مقابل که بخشی از سری الکتریسیته مالشی را نشان می‌دهد، به سؤالات زیر پاسخ دهید.

| |
|-----------------|
| انتهای مثبت سری |
| شیشه |
| ابریشم |
| لاستیک |
| تفلون |
| انتهای منفی سری |

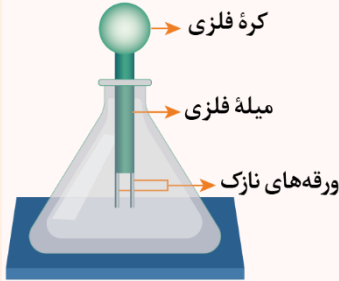
سری الکتریسیته مالشی

- ۱- اگر یک میله شیشه‌ای را به یک پارچه ابریشمی مالش دهیم چه اتفاقی می‌افتد؟
 با مالش شیشه به ابریشم، شیشه الکترون از دست می‌دهد و دارای بار مثبت می‌شود و ابریشم الکترون می‌گیرد و دارای بار منفی خواهد بود.
 دقت کنید که اندازه بار دو جسم با هم برابر است و علامت بار آن‌ها مخالف هم می‌باشد.



۲- یک میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی و یک قطعه تفلون را با یک لاستیک مالش می‌دهیم تا باردار شوند. اگر شیشه و لاستیک را در نزدیکی هم قرار دهیم، نیروی الکتریکی بین آن‌ها از چه نوعی خواهد بود؟
در مالش شیشه با ابریشم، شیشه دارای بار مثبت می‌شود، زیرا در قسمت بالاتری از جدول قرار دارد. در مالش تفلون و لاستیک هم لاستیک دارای بار مثبت می‌شود؛ بنابراین بار لاستیک و شیشه هم‌علامت است و در نتیجه نیروی بین آن‌ها از نوع رانشی خواهد بود.

الکتروسکوپ



یک وسیله آزمایشگاهی است که می‌توان برای تشخیص باردار بودن و یا نبودن، نوع بار و رسانا بودن اجسام از آن استفاده کرد و همچنین می‌توان مقایسه بار دو جسم را با استفاده از این وسیله معین نمود.

- ۱- اگر یک جسم باردار را به کلاهک الکتروسکوپ بدون باری نزدیک کنیم، ورقه‌های الکتروسکوپ از هم دور شده و باز می‌شوند. دقت کنید علامت بار در این حالت اهمیت ندارد.
 - ۲- اگر یک جسم باردار را به کلاهک الکتروسکوپ باردار نزدیک کنیم، دو حالت زیر می‌تواند رخ دهد:
 - ۱-۲: بار جسم و الکتروسکوپ هم‌نام باشد:
 - در این حالت با نزدیک شدن جسم به الکتروسکوپ، ورقه‌های الکتروسکوپ از هم دورتر می‌شوند.
 - ۲-۲: بار جسم و الکتروسکوپ ناهم‌نام باشد:
 - در این حالت با نزدیک شدن جسم به کلاهک الکتروسکوپ ورقه‌ها به هم نزدیک می‌شوند. اگر بار جسم خیلی بزرگ باشد ممکن است ورقه‌ها کاملاً بسته شوند و دوباره شروع به باز شدن کنند.
 - ۳- با توجه به دو نکته فوق می‌توان کاربردهای زیر را برای الکتروسکوپ در نظر گرفت:
 - ۱-۳: تشخیص باردار بودن جسم: کافی است جسم را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک کنیم. اگر ورقه‌ها باز شوند، جسم باردار است.
 - ۲-۳: تشخیص نوع بار جسم: کافی است جسم را به کلاهک یک الکتروسکوپ باردار که نوع بار آن را می‌دانیم نزدیک کنیم. اگر فاصله ورقه‌ها بیش‌تر شد، بار جسم هم‌علامت با بار الکتروسکوپ است و اگر فاصله ورقه‌ها کم‌تر شد، علامت بار جسم باردار مخالف علامت بار الکتروسکوپ است.
 - ۳-۳: تشخیص رسانا یا نارسانا بودن جسم:
- جسم را به کلاهک الکتروسکوپ باردار تماس می‌دهیم. اگر فاصله ورقه‌ها از هم تغییر محسوسی نکند، جسم نارسانا است و اگر این فاصله تغییر کند، جسم رسانا است.

گروه آموزشی ماز

۲- فاصله بین دو بار الکتریکی، چند درصد و چگونه تغییر کند تا بزرگی نیروی الکتریکی بین آن‌ها ۳۶ درصد کاهش یابد؟

(۴) ۲۰ درصد کاهش

(۳) ۲۰ درصد افزایش

(۲) ۲۵ درصد کاهش

(۱) ۲۵ درصد افزایش

(آسان - محاسباتی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۱

برای مقایسه نیروی الکتریکی در دو حالت می‌توان نوشت:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow{q_1, q_2, k \text{ ثابت}} \frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2$$

$$\Rightarrow \frac{64}{100} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \Rightarrow \frac{r}{r'} = \frac{8}{10} \Rightarrow r' = \frac{5}{4}r = \frac{125}{100}r$$

بنابراین فاصله بین بارها باید ۲۵ درصد افزایش یابد.

قانون کولن

اگر دو بار q_1 و q_2 در فاصله r از یکدیگر باشند، نیروی الکتریکی F را به یکدیگر وارد می‌کنند که بزرگی آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

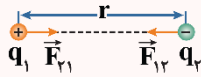
r : فاصله بین دو بار برحسب متر (m)

$|q_1|$ و $|q_2|$: اندازه بار الکتریکی برحسب کولن (C)

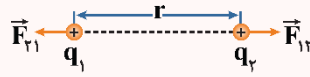
k : ثابت کولن که برابر با $\frac{9 \times 10^9 \text{ N.m}^2}{\text{C}^2}$ است.



اگر بارهای q_1 و q_2 هم‌نام باشند، نیروی الکتریکی بین آن‌ها دافعه و اگر ناهم‌نام باشند، نیروی بین آن‌ها جاذبه است.



نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ناهم‌نام، جاذبه است.



نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی هم‌نام، دافعه است.

گروه آموزشی ماز

۳- دو گوی رسانای کوچک و یکسان دارای بار الکتریکی $q_1 = 2\mu\text{C}$ و q_2 هستند و در فاصله r از یکدیگر با نیروی F همدیگر را جذب می‌کنند. اگر این دو گوی را به هم تماس دهیم، سپس در فاصله $\frac{r}{4}$ از هم قرار دهیم، نیروی الکتریکی که به هم وارد می‌کنند، ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. اندازه بار q_2 چند میکروکولن است؟

۴) ۵ یا ۸/۰

۳) ۴ یا ۶/۰

۲) ۴

۱) ۵

(سخت - مفهومی/محاسباتی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۴

با توجه به این‌که در ابتدا گوی‌ها همدیگر را جذب می‌کنند، درمی‌یابیم بار گوی‌ها ناهم‌نام است. از طرفی با توجه به یکسان بودن گوی‌ها، پس از تماس بار گوی‌ها یکسان خواهد شد و داریم:

$$q'_1 = q'_2 = q' = \frac{q_1 + q_2}{2} \xrightarrow{q_2 < 0} |q'| = \frac{|2 - |q_2||}{2}$$

حالا طبق قانون کولن می‌توانیم بنویسیم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1||q'_2|}{2 \times |q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \Rightarrow \frac{F - 10\% F}{F} = \frac{9}{10} = \frac{q'^2}{2 \times |q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2$$

$$\Rightarrow \frac{q'^2}{2 \times |q_2|} = \frac{9}{40} \Rightarrow \frac{\left(\frac{2 - |q_2|}{2}\right)^2}{2 \times |q_2|} = \frac{9}{40} \Rightarrow \frac{q_2^2 - 4|q_2| + 4}{2 \times |q_2|} = 9/40$$

$$\Rightarrow q_2^2 - 5/8 |q_2| + 4 = 0 \Rightarrow (|q_2| - 5)(|q_2| - 8/1) = 0$$

$$|q_2| = 5\mu\text{C}$$

یا

$$|q_2| = 8/1\mu\text{C}$$

مقایسه نیروی الکتریکی

برای مقایسه نیروی الکتریکی بین بارها می‌توان نوشت:

$$F \propto \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{|q'_1q'_2|}{|q_1q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \xrightarrow{\text{اگر اندازه بارها ثابت باشد}} \frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2$$

مثال

دو بار الکتریکی در فاصله 10cm به هم نیروی الکتریکی F را وارد می‌کنند. فاصله بارها را چند سانتی‌متر افزایش دهیم تا نیروی الکتریکی بین آن‌ها $\frac{F}{4}$ شود؟

پاسخ:

$$F \propto \frac{|q_1q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{بارها ثابت‌اند}} \frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \rightarrow \frac{1}{4} = \left(\frac{10}{r'}\right)^2$$

$$\rightarrow r' = 20\text{cm} \rightarrow \text{فاصله بارها باید } 10\text{cm} \text{ افزایش یابد.}$$

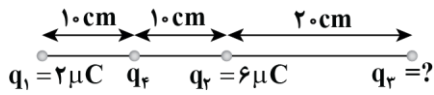
نکات طلایی

۱- هنگامی که دو کره مشابه رسانا که دارای بارهای الکتریکی q_1 و q_2 هستند، به هم تماس داده می‌شوند، بار نهایی آن‌ها برابر $\frac{q_1 + q_2}{2}$ می‌شود.

۲- هنگامی که دو کره مشابه رسانا که دارای بارهای الکتریکی q_1 و q_2 هستند، به هم تماس داده می‌شوند، اندازه بار جابه‌جاشده بین آن‌ها برابر $\frac{|q_1 - q_2|}{2}$ است.

گروه آموزشی ماز





۴- در شکل زیر، برابند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_4 صفر است. بار q_3 چند میکروکولن است؟

- ۱۸ (۲)
-۳۶ (۴)

- ۱۸ (۱)
۳۶ (۳)

(متوسط - محاسباتی - ۱۱۰۱)

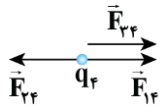
پاسخ: گزینه ۴

گام اول:

ابتدا نیروهای F_{14} ، F_{24} را محاسبه می‌کنیم. طبق رابطه $F = \frac{kqq'}{r^2}$ داریم:

$$F_{14} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times q_4}{(10)^2 \times 10^{-4}} = 18 \times 10^5 q_4$$

$$F_{24} = \frac{9 \times 10^9 \times 6 \times 10^{-6} \times q_4}{(10)^2 \times 10^{-4}} = 54 \times 10^5 q_4$$



گام آخر:

چون $F_{14} < F_{24}$ است برای صفر شدن برابند نیروهای وارد بر q_4 لازم است F_{34} در جهت F_{14} باشد:

$$F_{24} = F_{14} + F_{34} \Rightarrow 54 \times 10^5 q_4 = 18 \times 10^5 q_4 + q_{34}$$

$$q_{34} = 36 \times 10^5 q_4 = \frac{9 \times 10^9 \times q_3 \times q_4}{(30)^2 \times 10^{-4}}$$

$$|q_3| = 36 \times 10^{-6} = 36 \mu C$$

چون نیروی F_{34} جاذبه است، پس بار q_3 منفی است و گزینه (۴) درست است.

محاسبه نیروی الکتریکی در حضور چند بار

در سؤالاتی که چند بار الکتریکی وجود دارند و نیروی الکتریکی وارد بر یکی از آنها را می‌خواهیم، گام‌های زیر را طی می‌کنیم.

گام اول: بردار نیروی الکتریکی که هر یک از بارها وارد می‌کنند را رسم می‌کنیم.

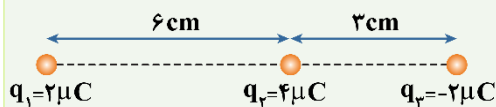
گام دوم: نیروهای الکتریکی را جداگانه محاسبه می‌کنیم.

گام سوم: بردارهای به‌دست‌آمده را به‌صورت برداری جمع می‌کنیم. اگر بردارها هم‌جهت باشند، اندازه آنها جمع می‌شود، اگر خلاف جهت هم باشند، اندازه آنها از هم کم می‌شود و اگر عمود بر هم باشند با کمک رابطه فیثاغورس برابند آنها محاسبه می‌شود.

در ادامه با حل یک مثال، مطالب فوق را مرور می‌کنیم.

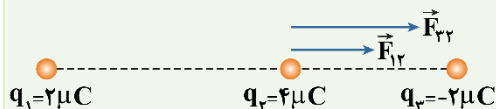
مثال

مطابق شکل، سه بار الکتریکی روی یک خط قرار دارند. نیروی الکتریکی برابند وارد بر q_2 چند نیوتون است؟ $(k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2})$



پاسخ تشریحی:

ابتدا دقت کنید که بار q_1 ، q_2 را دفع می‌کند و بار q_3 ، q_2 را جذب می‌کند؛ بنابراین جهت نیروهای وارد بر q_2 مطابق شکل زیر است.



در ادامه این دو نیرو را محاسبه می‌کنیم:

$$F_{12} = k \frac{|q_1 q_2|}{r_{12}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-2})^2} = 20 \text{ N}$$

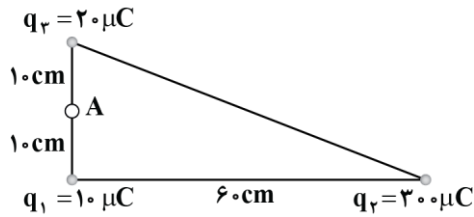
$$F_{32} = k \frac{|q_3 q_2|}{r_{32}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 80 \text{ N}$$

در ادامه با توجه به این‌که دو نیرو هم‌جهت هستند، برابند آنها برابر مجموع اندازه آنهاست و نیروی کل برابر است با:

$$\vec{F}_{t2} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} \Rightarrow |\vec{F}_{t2}| = F_{12} + F_{32} = 20 + 80 = 100 \text{ N}$$



۵- در شکل زیر، اگر بار الکتریکی q_4 را در نقطه A قرار دهیم، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_1 برابر با $195N$ می‌شود. بار q_4 چند میکروکولن است؟



- ۱) ۱۵
- ۲) ۱۵ یا ۲۵
- ۳) ۲۵ یا ۱۵
- ۴) ۱۵

(سخت - مفهومی/محاسباتی - ۱۱۰)

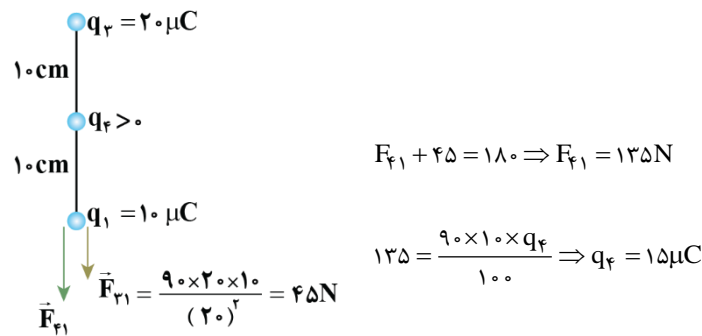
پاسخ: گزینه ۲

اگر برابند نیروهایی که بارهای q_3 و q_4 به بار q_1 وارد می‌کنند را F_j بنامیم، طبق شکل خواهیم داشت:

$$\sqrt{F_{r1}^2 + F_j^2} = 195N \xrightarrow{F_{r1} = \frac{9 \times 20 \times 10}{3600} = 75} \sqrt{(75)^2 + F_j^2} = 195 \Rightarrow F_j = 180N$$

بنابراین بزرگی نیرویی که بارهای q_3 و q_4 به q_1 وارد می‌کنند باید برابر $180N$ باشد که با توجه به علامت بار q_4 ، دو حالت زیر امکان پذیر است:

حالت اول:



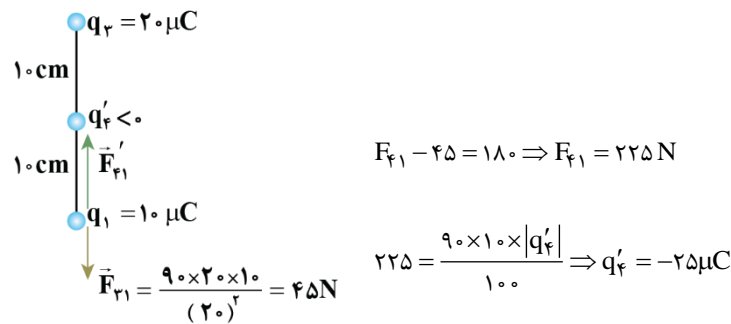
اگر $q_4 > 0$ در محل A قرار گیرد:

$$F_{f1} + 45 = 180 \Rightarrow F_{f1} = 135N$$

اکنون q_4 را به دست می‌آوریم:

$$135 = \frac{9 \times 10 \times q_4}{100} \Rightarrow q_4 = 15 \mu C$$

حالت دوم:



اگر $q_4' < 0$ در محل A قرار گیرد:

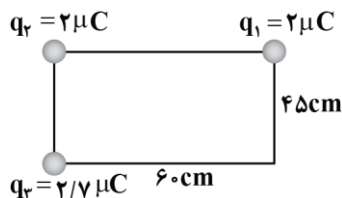
$$F_{f1} - 45 = 180 \Rightarrow F_{f1} = 225N$$

اکنون q_4' را به دست می‌آوریم:

$$225 = \frac{9 \times 10 \times |q_4'|}{100} \Rightarrow q_4' = -25 \mu C$$

گروه آموزشی ماز

۶- در مستطیل زیر، برابند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_2 چند برابر نیروی الکتریکی‌ای است که بار q_3 بر q_1 وارد می‌کند؟



- ۱) $\frac{13}{5}$
- ۲) $\frac{117}{40}$
- ۳) $\frac{247}{72}$
- ۴) $\frac{325}{108}$

(متوسط - محاسباتی - ۱۱۰)

پاسخ: گزینه ۴

طبق قانون کولن داریم:

$$F_{r2} = \frac{k(2)(2)}{(6)^2}, F_{r3} = \frac{k(2/7)(2)}{(4.5)^2} \Rightarrow \frac{F_{r3}}{F_{r2}} = 2/4$$

در نتیجه اگر $F_{r2} = F'$ باشد، آن‌گاه $F_{r3} = 2/4 F'$ است.

در این صورت برای محاسبه برابند نیروی الکتریکی وارد بر بار q_2 خواهیم داشت:

$$(F_{net})_2 = \sqrt{F_{r2}^2 + F_{r3}^2} = \sqrt{(F')^2 + (2/4 F')^2} = 2/5 F'$$



اکنون F_{13} را بررسی می‌کنیم.

با توجه به اندازه اضلاع مستطیل، قطر آن برابر با $\sqrt{(۴۵)^2 + (۶۰)^2} = ۷۵\text{cm}$ است.

$$F_{13} = \frac{k(r)(r/7)}{(75)^2} \Rightarrow \frac{F_{13}}{F'} = \frac{k(r)(r/7)}{k(r)(r)} = \frac{108}{125}$$

در نتیجه $F_{13} = \frac{108}{125} F'$ است.

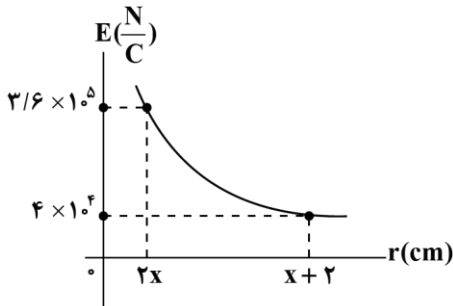
اکنون $\frac{(F_{net})_2}{F_{13}}$ را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{(F_{net})_2}{F_{13}} = \frac{13}{5} = \frac{325}{108}$$

گروه آموزشی ماز

۷- نمودار تغییرات میدان الکتریکی نقطه‌ای ناشی از بار الکتریکی q بر حسب فاصله از آن، مطابق شکل زیر است. اندازه میدان الکتریکی در فاصله ۱۶cm

از این بار چند واحد SI است؟



- ۱۰۰ (۱)
- ۲۰۰ (۲)
- ۴۵۰ (۳)
- ۹۰۰ (۴)

(متوسط - نموداری - ۱۱۰)

پاسخ: گزینه ۴

طبق رابطه $E = \frac{kq}{r^2}$ در صورت ثابت بودن q رابطه E ، به صورت زیر است:

$$E \propto \frac{1}{r^2}$$

از این نسبت استفاده می‌کنیم:

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \Rightarrow \frac{3/6 \times 10^5}{4 \times 10^4} = \left(\frac{x+2}{2x}\right)^2 \Rightarrow 9 = \left(\frac{x+2}{2x}\right)^2 \Rightarrow 3 = \frac{x+2}{2x} \Rightarrow 6x = x+2 \Rightarrow x = \frac{2}{5} = 0.4\text{ cm}$$

حال در گام بعدی kq را محاسبه می‌کنیم:

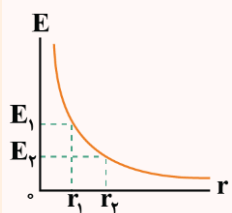
$$3/6 \times 10^5 = \frac{kq}{(0.8 \times 10^{-2})^2} \Rightarrow kq = 3/6 \times 10^5 \times 0.64 \times 10^{-4} = 23/0.4$$

در مرحله آخر خواسته سؤال را محاسبه می‌کنیم:

$$E = \frac{kq}{r^2} \Rightarrow E = \frac{23/0.4}{(16 \times 10^{-2})^2} = 900 \left(\frac{\text{N}}{\text{C}}\right)$$

نمودار تغییرات میدان الکتریکی بر حسب فاصله

نمودار تغییرات بزرگی میدان الکتریکی بر حسب فاصله از بار، مطابق شکل مقابل است: همان‌طور که واضح است با افزایش فاصله از بار، بزرگی میدان کاهش می‌یابد.



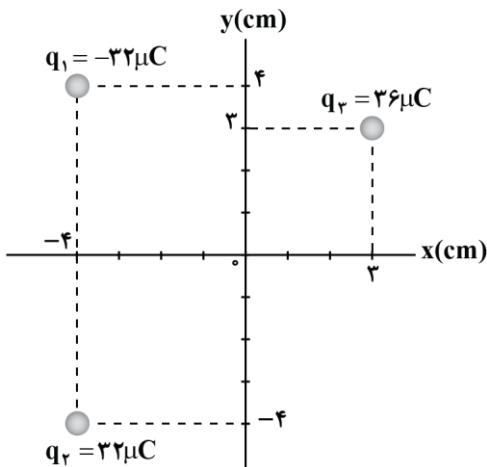
$$E = \frac{k|q|}{r^2} \xrightarrow{\text{ثابت است } k|q|} E \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

گروه آموزشی ماز





۸- مطابق شکل، سه بار الکتریکی در صفحه مختصات قرار دارند. میدان الکتریکی خالص در مبدأ مختصات چند واحد SI است؟ $(k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2})$



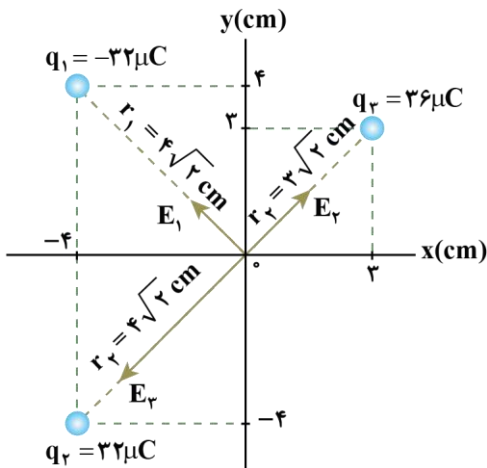
- (۱) $9\sqrt{2} \times 10^7 \vec{i}$
- (۲) $-9\sqrt{2} \times 10^7 \vec{i}$
- (۳) $9 \times 10^7 \vec{i}$
- (۴) $-9 \times 10^7 \vec{i}$

(متوسط - محاسباتی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۲

گام اول:

میدان الکتریکی حاصل از هر یک از بارهای q_1 ، q_2 و q_3 را در مبدأ مختصات محاسبه می‌کنیم:



$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{32 \times 10^{-6}}{(4\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = 9 \times 10^7 \frac{N}{C}$$

$$E_2 = E_1 \Rightarrow E_2 = 9 \times 10^7 \frac{N}{C}$$

$$E_3 = k \frac{|q_3|}{r_3^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{36 \times 10^{-6}}{(3\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = 18 \times 10^7 \frac{N}{C}$$

گام دوم:

با توجه به هم‌راستا بودن \vec{E}_2 و \vec{E}_3 ، ابتدا برآیند آن‌ها را حساب می‌کنیم. سپس برآیند حاصل را با \vec{E}_1 به دست می‌آوریم.

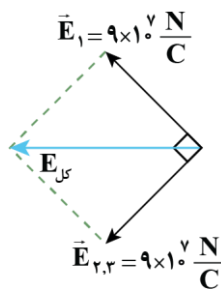
$$E_{2,3} = E_3 - E_2 = 18 \times 10^7 - 9 \times 10^7 = 9 \times 10^7 \frac{N}{C}$$

$$E_{\text{کل}} = \sqrt{E_1^2 + E_{2,3}^2} = 9 \times 10^7 \sqrt{2} \frac{N}{C}$$

گام آخر:

با توجه به شکل، جهت میدان در خلاف جهت محور x است؛ بنابراین بردار میدان الکتریکی خالص در مبدأ مختصات برابر است با:

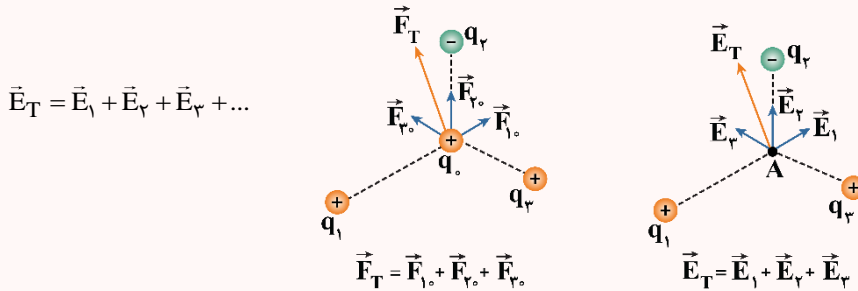
$$\vec{E}_{\text{کل}} = (-9\sqrt{2} \times 10^7 \frac{N}{C}) \vec{i}$$





اصل برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی

این اصل بیان می‌دارد که میدان الکتریکی ناشی از چند بار نقطه‌ای در نقطه‌ای از فضا، برابر با جمع برداری میدان‌های الکتریکی است که هر یک از بارها به‌طور مستقل در آن نقطه ایجاد می‌کنند.



$$\vec{E}_T = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \vec{F}_{30}$$

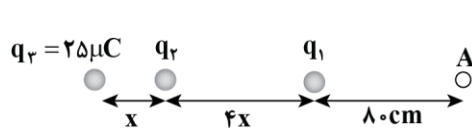
$$\vec{E}_T = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

۱- نیروی \vec{F}_T ، نیروی برابند وارد بر بار آزمون q_0 است.

۲- میدان الکتریکی \vec{E}_T در محل بار آزمون، جمع برداری میدان‌های \vec{E}_1 ، \vec{E}_2 و \vec{E}_3 در محل این بار است.

گروه آموزشی ماز

۹- مطابق شکل، سه بار الکتریکی q_1 ، q_2 و q_3 در تعادل الکترواستاتیکی قرار دارند. اگر اندازه میدان الکتریکی ناشی از بار q_2 در نقطه A برابر با



$\frac{N}{C} - 36000$ باشد، فاصله A تا بار q_3 چند سانتی‌متر است؟

- ۲) ۲۳۰
- ۳) ۲۴۰

- ۱) ۲۱۰
- ۳) ۲۴۰

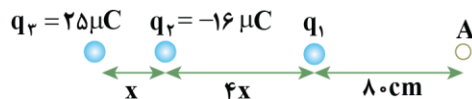
(سخت - محاسباتی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۲

ابتدا با توجه به تعادل ۳ بار الکتریکی، q_2 را به‌دست می‌آوریم:

$$q_1 \Rightarrow \left| \frac{q_3}{q_2} \right| = \left(\frac{r_{13}}{r_{12}} \right)^2 \Rightarrow \frac{25}{q_2} = \left(\frac{5x}{4x} \right)^2 \Rightarrow |q_2| = 16 \mu C$$

برای این‌که سه بار الکتریکی نشان داده‌شده در تعادل باشند، باید بارهای q_1 و q_3 مثبت باشند و q_2 منفی باشد.



$$E_2 = \frac{kq_2}{r_{2A}^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 16 \times 10^{-6}}{r_{2A}^2} = 36000 \Rightarrow r_{2A} = 2m = 200cm$$

با توجه به شکل، $r_{2A} = 4x + 80$ است:

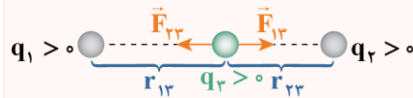
$$200 = 4x + 80 \Rightarrow x = 30cm$$

در نتیجه فاصله q_3 تا نقطه A برابر است با:

$$x + 4x + 80 = 5x + 80 = 5(30) + 80 = 230cm$$

بررسی تعادل برای بارهای قرار گرفته در یک راستا

فرض کنید دو بار معلوم q_1 و q_2 در نزدیکی یکدیگر قرار دارند. می‌خواهیم ببینیم بار مجهول q_3 را کجا قرار دهیم تا نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن صفر شود. برای این منظور دو حالت را بررسی می‌کنیم:



۱- بارهای q_1 و q_2 هم‌نام باشند:

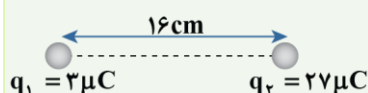
در این حالت بار q_3 باید در فاصله بین دو بار و نزدیک به بار کوچک‌تر قرار گیرد تا برابند نیروهای الکتریکی وارد بر آن صفر شود. در شکل بالا برای سادگی فرض کرده‌ایم همه بارها مثبت باشند.

$$q_3 > 0 : F_{13} = F_{23} \rightarrow k \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} = k \frac{q_2 q_3}{r_{23}^2} \rightarrow \frac{q_1}{r_{13}^2} = \frac{q_2}{r_{23}^2}$$

تذکره!

دقت کنید اندازه و علامت بار q_3 هیچ اهمیتی در جواب سؤال ندارد.

مثال



در شکل مقابل، بار q_3 را در چه فاصله‌ای از q_1 قرار دهیم تا نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 صفر شود؟



پاسخ تشریحی:

چون بارهای q_1 و q_2 هم‌علامت هستند، بار q_3 باید در فاصله بین دو بار و نزدیک به بار کوچک‌تر قرار گیرد. به شکل زیر دقت کنید:

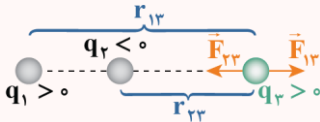
$$F_{13} = F_{23} \rightarrow k \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} = k \frac{q_2 q_3}{r_{23}^2}$$

$$\rightarrow \frac{q_1}{x^2} = \frac{q_2}{(16-x)^2} \rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{9}{(16-x)^2}$$

جنر $\rightarrow \frac{1}{x} = \frac{3}{16-x} \rightarrow 3x = 16-x \rightarrow x = 4 \text{ cm}$

بنابراین بار q_3 باید در فاصله ۴ cm از بار q_1 قرار گیرد.

۲- بارهای q_1 و q_2 ناهم‌نام باشند:



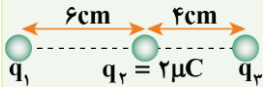
در این حالت بار q_3 باید خارج از فاصله بین دو بار و نزدیک به بار کوچک‌تر قرار گیرد تا برابری نیروهای الکتریکی وارد بر آن بتواند صفر شود. در ادامه کافی است که F_{13} و F_{23} هم‌اندازه باشند.

$$F_{13} = F_{23} \rightarrow k \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} = k \frac{q_2 q_3}{r_{23}^2} \rightarrow \frac{q_1}{r_{13}^2} = \frac{q_2}{r_{23}^2}$$

تذکره!

مانند حالت قبل، بار q_3 هیچ اهمیتی در جواب سؤال ندارد.

مثال



در شکل مقابل، بار q_3 در تعادل است. q_1 چند میکروکولن است؟

پاسخ تشریحی:

چون q_3 در تعادل است، نیروی الکتریکی‌ای که q_1 به q_3 وارد می‌کند باید هم‌اندازه نیروی الکتریکی‌ای باشد که q_2 به q_3 وارد می‌کند. همچنین دقت کنید که چون q_3 در خارج از فاصله دو بار قرار دارد، علامت بار q_1 مخالف q_2 است، پس بار q_1 منفی خواهد بود. در ادامه می‌توان نوشت:

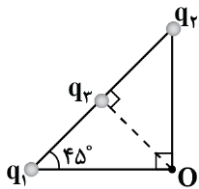
$$F_{13} = F_{23} \rightarrow k \frac{|q_1 q_3|}{r_{13}^2} = k \frac{|q_2 q_3|}{r_{23}^2}$$

$$\rightarrow \frac{|q_1|}{10^2} = \frac{2}{4^2} \rightarrow |q_1| = 12/5 \mu\text{C}$$

$\rightarrow q_1 = -12/5 \mu\text{C}$ منفی است.

گروه آموزشی ماز

۱۰- اگر در شکل مقابل، میدان خالص در نقطه O صفر باشد، کدام گزینه صحیح است؟



$$q_1 = q_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} q_3 \quad (1)$$

$$q_1 = q_2 = -\sqrt{2} q_3 \quad (2)$$

$$q_1 = q_2 = -\frac{\sqrt{2}}{2} q_3 \quad (1)$$

$$q_1 = q_2 = \sqrt{2} q_3 \quad (3)$$

(متوسط - مفهومی/محاسباتی - ۱۱۰۱)

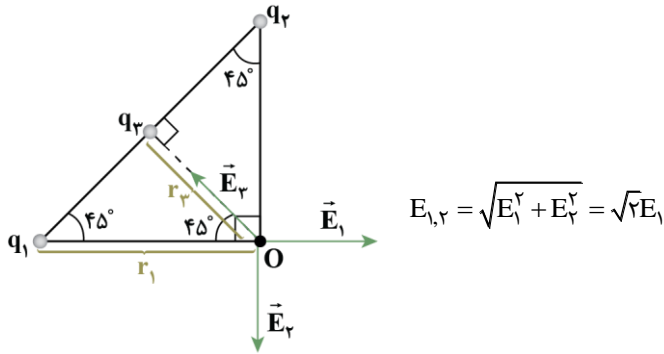
پاسخ: گزینه ۴

با توجه به شکل برای این که میدان خالص در نقطه O صفر شود، باید بارهای q_1 و q_2 هم‌نام باشند و بار q_3 باید ناهم‌نام با بارهای q_1 و q_2 باشد. از طرفی داریم:

$$E_1 = E_2 \Rightarrow \frac{k|q_1|}{r_1^2} = \frac{k|q_2|}{r_2^2} \rightarrow r_1 = r_2 \rightarrow |q_1| = |q_2|$$



چون E_1 و E_2 باهم برابرند و بر هم عمودند، داریم:



$$E_{1,2} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{2}E_1$$

$\vec{E}_{1,2}$ بر روی خط واصل بار q_3 و نقطه O قرار دارد و در خلاف جهت \vec{E}_3 است؛ بنابراین برای این که میدان خالص در نقطه O صفر باشد، باید:

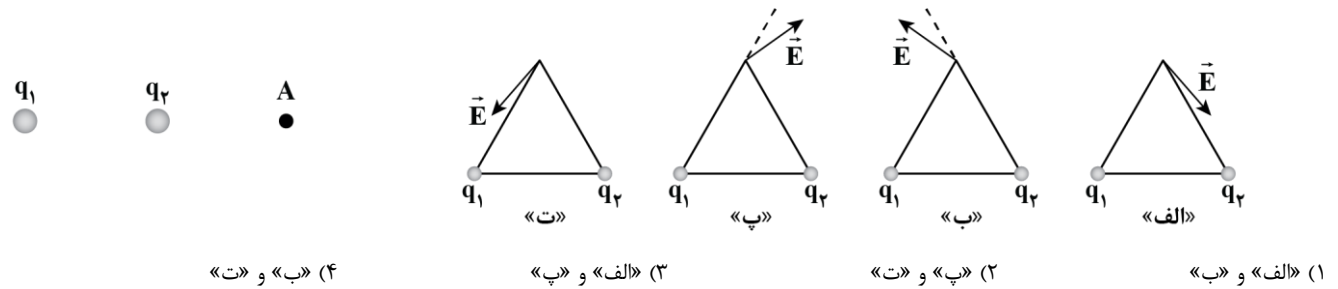
$$\vec{E}_{1,2} = -\vec{E}_3 \Rightarrow E_3 = \sqrt{2}E_1 \Rightarrow \frac{k|q_3|}{r_3^2} = \sqrt{2} \frac{k|q_1|}{r_1^2}$$

$$\frac{r_3 = \frac{\sqrt{2}}{2}r_1}{\frac{1}{r_3^2}} \rightarrow \frac{k|q_3|}{\frac{1}{r_3^2}} = \frac{\sqrt{2}k|q_1|}{r_1^2} \Rightarrow |q_3| = \frac{\sqrt{2}}{2}|q_1|$$

$$\Rightarrow |q_1| = \sqrt{2}|q_3| \Rightarrow q_1 = -\sqrt{2}q_3$$

گروه آموزشی ماز

۱۱- مطابق شکل، دو بار الکتریکی q_1 و q_2 در جای خود ثابت نگه داشته شده‌اند و میدان الکتریکی خالص آن‌ها در نقطه A برابر با صفر است. اگر این دو بار را مطابق شکل‌های «الف» تا «ت» در دو رأس مثلث متساوی‌الاضلاعی قرار دهیم، کدام شکل‌ها می‌توانند میدان الکتریکی خالص را در رأس سوم مثلث به درستی نشان دهند؟



(۴) «ب» و «ت»

(۳) «الف» و «پ»

(۲) «ب» و «ت»

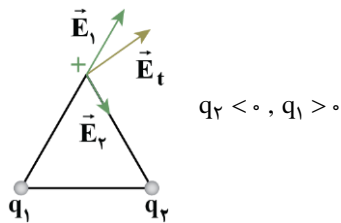
(۱) «الف» و «ب»

(متوسط - مفهومی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۲

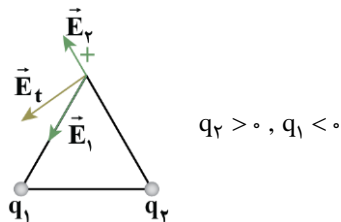
چون میدان الکتریکی خالص در خارج از خط واصل بین دو بار، صفر شده است، در نتیجه بارهای q_1 و q_2 دارای علامت مخالفاند و $|q_1| > |q_2|$ است.

حالت اول:



$$q_2 < 0, q_1 > 0$$

حالت دوم:

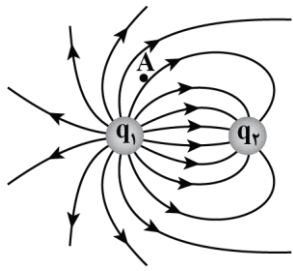


$$q_2 > 0, q_1 < 0$$

گروه آموزشی ماز



۱۲- خطوط میدان الکتریکی برای دو کره رسانای باردار کوچک در شکل زیر نشان داده شده است. کدام یک از عبارات‌های زیر صحیح است؟
الف: بار q_1 مثبت است.



ب: نیروی الکتریکی بین بارها از نوع جاذبه است.

پ: اگر یک الکترون را در نقطه A رها کنیم، نیرویی در جهت \nearrow به آن وارد می‌شود.

ت: اندازه بارهای q_1 و q_2 برابر است.

(۲) «ب» و «ت»

(۱) «الف» و «ب»

(۴) «ب» و «پ»

(۳) «الف» و «پ»

(آسان - مفهومی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۱

بررسی موارد:

الف

خطوط میدان از بار q_1 خارج شده و به بار q_2 وارد شده است؛ بنابراین q_1 مثبت و q_2 منفی است. (✓)

ب

چون بار الکتریکی دو جسم، ناهم‌نام است، نیروی الکتریکی بین آن‌ها جاذبه است. (✓)

پ

جهت میدان در هر نقطه مماس بر خطوط میدان است؛ بنابراین میدان در نقطه A در جهت \nearrow است. با توجه به این‌که به بار منفی در خلاف جهت میدان، نیرو وارد می‌شود، جهت نیروی الکتریکی وارد بر الکترون به صورت \swarrow است. (✗)

ت

تراکم خطوط در نزدیکی بار q_1 بیش‌تر از تراکم خطوط در نزدیکی q_2 است؛ بنابراین اندازه q_1 بزرگ‌تر از اندازه q_2 است. (✗)

خطوط میدان الکتریکی

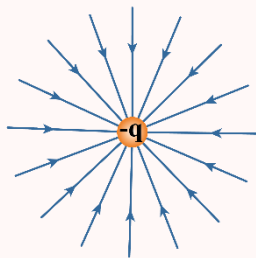
۱- برای مجسم کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار از خطوط میدان الکتریکی استفاده می‌کنیم. این خطوط ویژگی‌های زیر را دارا می‌باشند:
الف) از بار مثبت خارج می‌شوند و به بار منفی وارد می‌شوند.

ب) بردار میدان الکتریکی در هر نقطه هم‌جهت با خط مماس بر خطوط میدان الکتریکی در آن نقطه است.

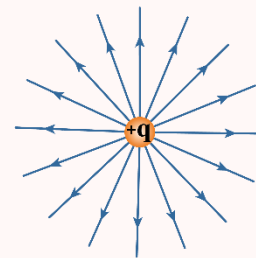
پ) هرچه تراکم خطوط میدان الکتریکی در ناحیه‌ای از فضا بیش‌تر باشد، اندازه میدان الکتریکی در آن ناحیه بیش‌تر است.

ت) خطوط میدان الکتریکی یکدیگر را قطع نمی‌کنند و از هر نقطه فقط یک خط میدان عبور می‌کند.

۲- خطوط میدان الکتریکی در اطراف یک ذره باردار منزوی مطابق شکل‌های زیر است:

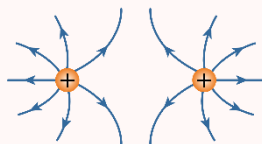


خطوط میدان الکتریکی در اطراف بار منفی

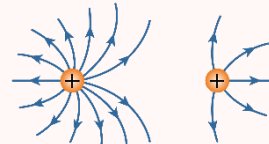


خطوط میدان الکتریکی در اطراف بار مثبت

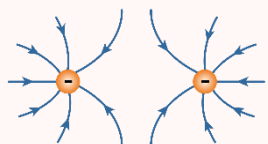
۳- خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو ذره باردار مطابق شکل‌های زیر است:



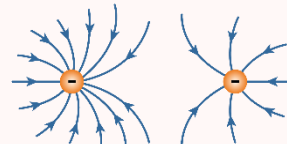
خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو بار مثبت هم‌اندازه



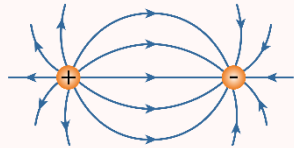
خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو بار مثبت غیرهم‌اندازه



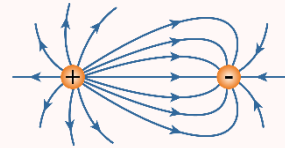
خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو بار منفی هم‌اندازه



خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو بار منفی غیرهم‌اندازه



خطوط میدان بارهای مثبت و منفی هم اندازه

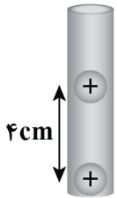


خطوط میدان بارهای مثبت و منفی غیرهم اندازه

گروه آموزشی ماز

۱۳- در شکل زیر، دو گوی مشابه به جرم $9g/10$ و بار یکسان مثبت q در فاصله 4cm از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است.

اختلاف تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های هر گوی چقدر است؟ $(e = 1/6 \times 10^{-19} \text{C}, k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}, g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}})$



- (۱) $6/25 \times 10^{10}$
- (۲) $6/25 \times 10^{11}$
- (۳) $2/5 \times 10^{10}$
- (۴) $2/5 \times 10^{11}$

(متوسط - محاسباتی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۴

گام اول:

برای آن که گوی بالایی در حالت تعادل باشد، باید نیروی الکتریکی و وزن آن هم اندازه باشند؛ بنابراین می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} \vec{F}_E &= mg \Rightarrow k \frac{q^2}{r^2} = mg \\ \Rightarrow 9 \cdot \frac{q^2}{4^2} &= 0.9 \times 10^{-3} \times 10 \\ \Rightarrow q^2 &= 16 \times 10^{-4} \Rightarrow q = 4 \times 10^{-2} \mu\text{C} = 4 \times 10^{-8} \text{C} \end{aligned}$$

گام آخر:

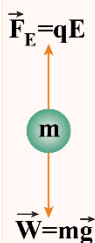
تعداد الکترون‌های کنده شده برابر است با:

$$q = ne \Rightarrow 4 \times 10^{-8} = n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = 2/5 \times 10^{11}$$

استراتژی حل

در این گونه از سؤالات باید نیروی الکتریکی، هم اندازه و در خلاف جهت نیروی وزن باشد تا بتواند اثر نیروی وزن را خنثی کند و جسم را معلق نگه دارد.

تعادل بین نیروی الکتریکی و وزن



در این قسمت می‌خواهیم تعادل جسم برداری را که تحت تأثیر نیروی الکتریکی و وزن قرار دارد بررسی کنیم. شکل روبه‌رو نیروهای وارد بر جسم را نشان می‌دهد: با توجه به این که جسم در تعادل قرار دارد، نیروی وزن و نیروی الکتریکی، هم اندازه هستند و می‌توان نوشت:

$$\text{شرط تعادل: } F_E = W \rightarrow |qE| = mg$$

در مورد جهت میدان و علامت بار به موارد زیر دقت کنید:

- (الف) اگر بار مثبت باشد ($q > 0$)، نیروی الکتریکی هم جهت با میدان الکتریکی است؛ بنابراین میدان الکتریکی به سمت بالا خواهد بود.
- (ب) اگر بار منفی باشد ($q < 0$)، نیروی الکتریکی و میدان در خلاف جهت هم هستند؛ بنابراین میدان الکتریکی به سمت پایین خواهد بود.

گروه آموزشی ماز

۱۴- یک ذره آلفا به جرم $6/6 \times 10^{-27} \text{kg}$ درون یک میدان الکتریکی به بزرگی $3/3 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ رها می‌شود. بزرگی شتابی که این ذره تحت تأثیر میدان

الکتریکی می‌گیرد، چند واحد SI است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} \text{C}$) و ذره آلفا از جنس هسته ${}^4_2\text{He}$ است.

- (۱) $1/6 \times 10^{12}$
- (۲) $3/2 \times 10^{12}$
- (۳) $1/6 \times 10^{11}$
- (۴) $3/2 \times 10^{11}$



(متوسط - محاسباتی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۱

گام اول:

نیروی الکتریکی وارد بر این ذره برابر است با:

$$|F| = q|E| \rightarrow |F| = 2 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^4 = 6 \times 10^{-15} \text{ N}$$

گام آخر:

شتاب ذره برابر است با:

$$a = \frac{F}{m} \Rightarrow a = \frac{6 \times 10^{-15}}{6 \times 10^{-27}} = 1 \times 10^{12} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان الکتریکی

گرچه برای تعریف میدان الکتریکی یک جسم باردار از بار آزمون مثبت استفاده کردیم ولی وجود این میدان مستقل از بار آزمون است؛ بنابراین، اگر بار الکتریکی در میدان الکتریکی ناشی از اجسام باردار دیگری قرار گیرد، این میدان بر آن نیرو وارد می‌کند که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

مطابق رابطه فوق به دو نتیجه زیر می‌رسیم:

۱- اندازه نیروی الکتریکی از رابطه $|F| = |q||E|$ محاسبه می‌شود.

۲- به بار مثبت در جهت میدان الکتریکی و به بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی نیرو وارد می‌شود.

گروه آموزشی ماز

۱۵- در کدام شکل زیر، اگر پروتونی را از نقطه A تا B جابه‌جا کنیم، انرژی پتانسیل الکتریکی آن ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد؟



(متوسط - مفهومی - ۱۱۰۱)

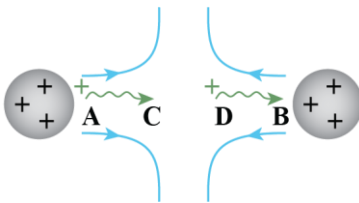
پاسخ: گزینه ۴

هرگاه حرکت بار، برخلاف میل طبیعی خود باشد ← انرژی پتانسیل الکتریکی بار، افزایش می‌یابد.

هرگاه حرکت بار، با میل طبیعی خود باشد ← انرژی پتانسیل الکتریکی بار، کاهش می‌یابد.

در گزینه (۴) با رسم خطوط میدان متوجه می‌شویم که در قسمت اول حرکت (مثلاً A تا C) پروتون که دارای بار مثبت است از کره مثبت سمت چپ در حال دور شدن است و این حرکت، با میل طبیعی پروتون است ← انرژی پتانسیل الکتریکی در حال کاهش است.

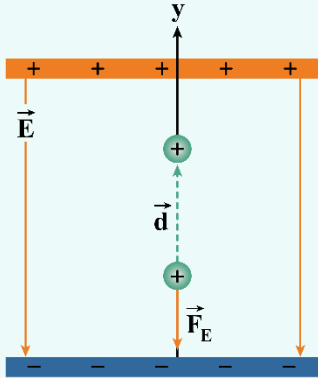
اما در قسمت دوم مسیر (مثلاً D تا B) پروتون در حال نزدیک شدن به کره مثبت سمت راست است که این حرکت برخلاف میل طبیعی پروتون است ← انرژی پتانسیل الکتریکی در حال افزایش است.



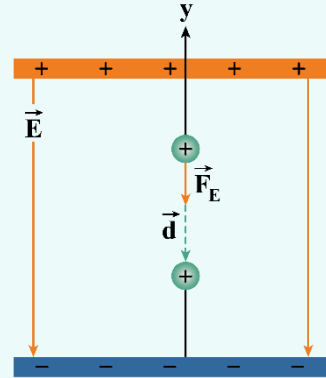


نکات طلایی

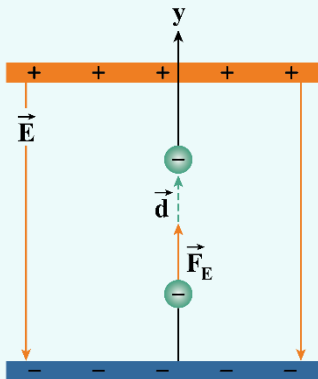
- ۱- به سادگی می‌توان دریافت، اگر بار الکتریکی مثبت، در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش یافته است و اگر بار الکتریکی منفی، در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد.
 - ۲- اگر یک بار الکتریکی را در یک میدان الکتریکی رها سازیم، همواره به سمتی می‌رود که انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد و اگر برای جابه‌جایی آن مجبور باشیم به‌زور این کار را انجام دهیم، انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد.
- در شکل‌های زیر چند حالت مربوط به جابه‌جایی بارهای مختلف و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی نشان داده شده است.



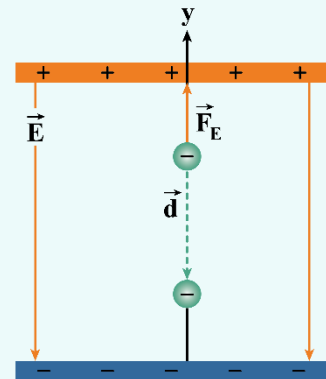
(الف) بار مثبت در جهت میدان الکتریکی \vec{E} حرکت می‌کند: میدان الکتریکی، کار مثبت W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E افزایش می‌یابد.



(ب) بار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی \vec{E} حرکت می‌کند: میدان الکتریکی، کار منفی W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E کاهش می‌یابد.



(الف) بار منفی در جهت میدان الکتریکی \vec{E} حرکت می‌کند: میدان الکتریکی، کار مثبت W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E کاهش می‌یابد.



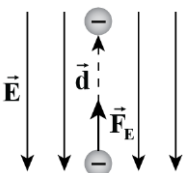
(ب) بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی \vec{E} حرکت می‌کند: میدان الکتریکی، کار منفی W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E افزایش می‌یابد.

گروه آموزشی ماز

۱۶- مطابق شکل زیر، در نتیجه برخورد پرتوهای کیهانی با مولکول‌های هوا، الکترون‌هایی از این مولکول‌ها کنده می‌شوند. در نزدیکی سطح زمین، میدان الکتریکی با بزرگی $25 \frac{N}{C}$ و جهت رو به پایین وجود دارد. اگر یکی از این الکترون‌ها، تحت تأثیر این میدان 2 km رو به بالا جابه‌جا شود، انرژی

پتانسیل الکتریکی آن چند ژول و چگونه تغییر می‌کند؟ ($e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

- ۱) 8×10^{-14} ژول کاهش می‌یابد.
- ۲) 8×10^{-14} ژول افزایش می‌یابد.
- ۳) 4×10^{-13} ژول کاهش می‌یابد.
- ۴) 4×10^{-13} ژول افزایش می‌یابد.



(آسان - مفهومی/محاسباتی - ۱۱۰)

پاسخ: گزینه ۱

برای محاسبه تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی الکترون داریم:

$$\Delta U_E = -|q|Ed \cos \theta = -1.6 \times 10^{-19} \times 25 \times 2000 \times \cos 0^\circ = -8 \times 10^{-14} \text{ J}$$

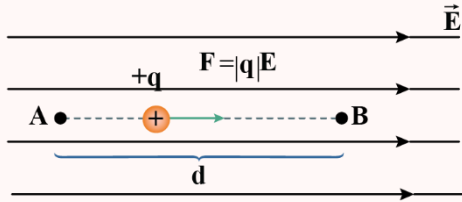


کار نیروی الکتریکی

کار نیروی الکتریکی وارد بر یک ذره باردار در میدان الکتریکی \vec{E} در یک جابه‌جایی مشخص، برابر با قرینه تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی در همان جابه‌جایی است.
 $W_E = -\Delta U_E$

تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک ذره باردار در میدان الکتریکی یکنواخت

فرض کنید ذره باردار $+q$ در یک میدان الکتریکی یکنواخت \vec{E} ، تحت اثر میدان الکتریکی، جابه‌جایی \vec{d} را انجام می‌دهد. طبق تعریف کار یک نیرو، خواهیم داشت:



$$W_E = F \cdot d \cdot \cos \theta = |q| E \cdot d \cdot \cos \theta$$

$$\Delta U_E = -W_E = -|q| E \cdot d \cdot \cos \theta$$

θ زاویه بین نیروی الکتریکی \vec{F}_E و جابه‌جایی \vec{d} است.

گروه آموزشی ماز

۱۷- الکترونی را در یک میدان الکتریکی یکنواخت به سمت صفحه با پتانسیل بیش‌تر حرکت می‌دهیم. چه تعداد از عبارات زیر در مورد این الکترون الزاماً درست است؟

الف: انرژی جنبشی الکترون افزایش می‌یابد.

ب: کار میدان الکتریکی مثبت است.

پ: کار کل مثبت است.

(۴) سه

(۳) دو

(۲) یک

(۱) صفر

(متوسط - مفهومی - ۱۱۰۱)

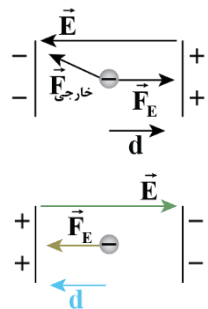
پاسخ: گزینه ۲

به‌طور کلی به یاد داشته باشید برای اظهارنظر در مورد انرژی جنبشی و کار کل، باید حتماً راجع به همه نیروهای وارد بر جسم اطلاعات داشته باشیم، به همین خاطر اظهارنظر قطعی در مورد انرژی جنبشی و کار کل امکان‌پذیر نیست.

مطابق شکل، ممکن است نیروی خارجی که ما به الکترون وارد می‌کنیم طوری باشد که مؤلفه‌های آن با F_E و mg برابر باشند.

در این صورت حرکت جسم با تندی ثابت خواهد بود و انرژی جنبشی آن نیز ثابت می‌ماند.

و در این صورت کار کل صفر می‌باشد (رد عبارات «الف» و «پ»)



طبق شکل، چون حرکت الکترون در جهت نیروی الکتریکی است، کار میدان الکتریکی مثبت است. (درستی عبارت «ب»)

کار میدان الکتریکی و تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی

تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی برابر قرینه کار نیروی الکتریکی است و می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} W = Fd \cos \theta \\ \Delta U = -W \end{cases} \rightarrow \Delta U = -Fd \cos \theta$$

$$F = E|q| \rightarrow \Delta U = -E|q|d \cos \theta$$

$$\rightarrow |\Delta U| = |Eqd \cos \theta|$$

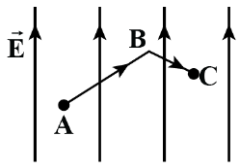
دقت کنید کار نیروی الکتریکی فقط به مبدأ و مقصد حرکت بار ربط دارد و مستقل از مسیر حرکت است؛ بنابراین تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی هم فقط به مبدأ و مقصد حرکت ربط دارد.

از رابطه فوق برای محاسبه تغییرات انرژی پتانسیل در یک میدان الکتریکی استفاده می‌کنیم. دقت کنید در حالتی که عمود بر خطوط میدان حرکت کنیم ($\cos \theta = 0$)، پتانسیل الکتریکی و انرژی پتانسیل الکتریکی ثابت می‌مانند، زیرا کار نیروی الکتریکی صفر است.

گروه آموزشی ماز



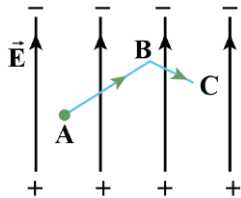
۱۸- در شکل زیر، بار الکتریکی $q = +50 \mu\text{C}$ مسیر ABC را طی می‌کند و تغییرات پتانسیل الکتریکی در مسیرهای AB و BC به ترتیب 60V و 20V است. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در نقطه C برابر با $1300 \mu\text{J}$ باشد، آن‌گاه انرژی پتانسیل الکتریکی در نقطه A چند میکروژول است؟



- ۷۰۰ (۱)
- ۱۱۰۰ (۲)
- ۱۵۰۰ (۳)
- ۳۳۰۰ (۴)

(متوسط - محاسباتی - ۱۱۰)

پاسخ: گزینه ۴



$$\Delta V_{AB} = -60\text{V}$$

مسیر AB : در این مسیر، بار الکتریکی به سمت صفحه منفی (پتانسیل کم‌تر) حرکت می‌کند. در نتیجه پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد.
مسیر BC : در این مسیر، بار الکتریکی به سمت صفحه مثبت (پتانسیل بیش‌تر) حرکت می‌کند. در نتیجه پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد.

$$\Delta V_{BC} = +20\text{V}$$

در نتیجه در کل حرکت خواهیم داشت:

$$\Delta V_{ABC} = \Delta V_{AB} + \Delta V_{BC} = -60 + 20 = -40\text{V}$$

اکنون تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی را به دست می‌آوریم:

$$\Delta U = q \cdot \Delta V \Rightarrow U_C - U_A = q \Delta V$$

$$\Rightarrow 1300 - U_A = (+50)(-40) \Rightarrow U_A = 3300 \mu\text{J}$$

تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی

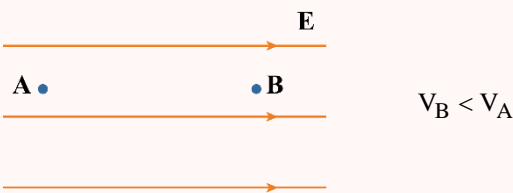
۱- هنگامی که بار q بین دو نقطه که اختلاف پتانسیل آن‌ها برابر ΔV است، جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن تغییر می‌کند. تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی بار یعنی ΔU به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\Delta U = q \Delta V$$

۲- مطابق رابطه بالا، بار مثبت با حرکت به سمت پتانسیل‌های بیش‌تر، انرژی پتانسیل الکتریکی‌اش زیاد می‌شود و انرژی پتانسیل الکتریکی بار منفی با حرکت به سمت پتانسیل‌های کم‌تر بیش‌تر می‌شود.

۳- اگر یک بار الکتریکی در جهت خودبه‌خودی حرکت کند، انرژی پتانسیل الکتریکی آن حتماً کم می‌شود. جهت حرکت خودبه‌خودی بار مثبت در جهت خطوط میدان الکتریکی است، درحالی‌که جهت حرکت خودبه‌خودی بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی است.

۴- با حرکت در جهت خطوط میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی (V) کاهش می‌یابد.

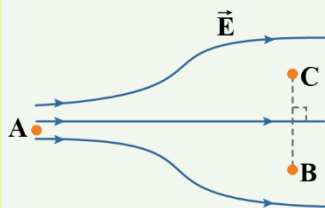


نکته

نوع و اندازه بار ذره در نحوه تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU) مؤثر است؛ ولی در نحوه تغییرات پتانسیل الکتریکی (ΔV) تأثیری ندارد. همچنین با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی ثابت می‌ماند.

مثال

شکل زیر، خطوط میدان الکتریکی را در ناحیه‌ای از صفحه نشان می‌دهد. درستی یا نادرستی گزاره‌های زیر را بررسی کنید.



الف: بزرگی میدان الکتریکی در نقطه A بیش‌تر از نقطه B است.

ب: پتانسیل الکتریکی نقاط B و C برابر است.

پ: با حرکت یک بار منفی از A تا B ، انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد.

ت: تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی یک بار الکتریکی در حرکت از A تا B ، برابر تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی آن در حرکت از A تا C است.

پاسخ:

هریک از عبارتها را جداگانه بررسی می‌کنیم:

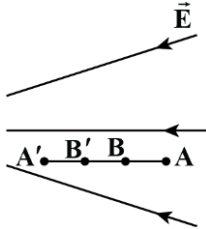
الف: تراکم خطوط میدان در نزدیکی نقطه A بیش‌تر از B است، پس بزرگی میدان الکتریکی در A بیش‌تر از B است. (✓)



ب: نقاط B و C در یک سطح عمود بر خطوط میدان قرار دارند، پس پتانسیل الکتریکی آن‌ها برابر است. (✓)
 پ: با حرکت بار منفی از A تا B، این بار در خلاف جهت خودبه‌خودی حرکت کرده است و در نتیجه انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد. (✓)
 ت: چون پتانسیل الکتریکی نقاط B و C برابر است، تغییرات پتانسیل و انرژی پتانسیل الکتریکی با جابه‌جایی از A تا B با جابه‌جایی از A تا C یکسان است. (✓)

گروه آموزشی ماز

۱۹- در میدان الکتریکی نشان داده‌شده، یک پروتون را از نقطه A به سمت چپ، شلیک می‌کنیم تا مسیر AA' را طی کند. اگر طول مسیرهای AB و B'A' با یکدیگر برابر باشند، کدام گزینه نادرست است؟



- ۱) کار میدان الکتریکی در مسیر B'A' از کار میدان الکتریکی در مسیر AB بزرگ‌تر است.
- ۲) تغییر انرژی جنبشی پروتون در مسیر B'A' بیش‌تر از تغییر انرژی جنبشی پروتون در مسیر AB است.
- ۳) کاهش پتانسیل الکتریکی در مسیر B'A' بیش‌تر از کاهش پتانسیل الکتریکی در مسیر AB است.
- ۴) افزایش انرژی پتانسیل الکتریکی پروتون در مسیر B'A' بیش‌تر از افزایش انرژی پتانسیل الکتریکی پروتون در مسیر AB است.

(متوسط - مفهومی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۴

با توجه به این که نیروی الکتریکی وارد بر پروتون به سمت چپ و جابه‌جایی آن نیز در همین جهت است، در نتیجه $\Delta U < 0$ است؛ یعنی انرژی پتانسیل الکتریکی پروتون در حال کاهش است.

دقت شود چون اندازه میدان الکتریکی در مسیر B'A' بزرگ‌تر از اندازه میدان الکتریکی در مسیر AB است، آن‌گاه به‌ازای مسافت‌های یکسان: اندازه کار میدان در مسیر B'A' بیش‌تر است.

تغییرات پتانسیل الکتریکی و تغییرات انرژی جنبشی در مسیر B'A' بیش‌تر است. چون حرکت در جهت میدان است، تغییرات پتانسیل الکتریکی از نوع کاهش است.

گروه آموزشی ماز

۲۰- ذره‌ای به جرم 50 g و بار الکتریکی $q = -10 \text{ mC}$ از نقطه A با پتانسیل $V_A = 120 \text{ V}$ ، با تندی $35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ به سمت نقطه B با پتانسیل $V_B = -180 \text{ V}$ شلیک می‌شود. تندی این بار الکتریکی در نقطه B چند متر بر ثانیه است؟ (تنها نیروی مؤثر بر بار، نیروی الکتریکی در نظر گرفته شود.)

۲۰ (۴)

۱۵ (۳)

۱۰ (۲)

۵ (۱)

(متوسط - محاسباتی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۱

چون تنها نیروی مؤثر بر بار، نیروی الکتریکی است، خواهیم داشت:

$$\Delta U = -\Delta K \Rightarrow q \Delta V = K_A - K_B = \frac{1}{2} m (v_A^2 - v_B^2)$$

در این صورت خواهیم داشت:

$$\Rightarrow (-10 \times 10^{-3}) \times [(-180) - (120)] = \frac{1}{2} (50 \times 10^{-3}) (35^2 - v_B^2) \Rightarrow v_B^2 = 25 \Rightarrow v_B = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

پایستگی انرژی و انرژی پتانسیل الکتریکی

در مسائلی که اتلاف انرژی نداریم و نیرویی جز نیروی الکتریکی روی ذره کار انجام نمی‌دهد، تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی و انرژی جنبشی، قرینه هم هستند؛ بنابراین برای محاسبه تغییرات انرژی جنبشی کافی است تغییرات انرژی پتانسیل را محاسبه کنیم و سپس آن را قرینه کنیم.

$$\Delta U + \Delta K = 0 \rightarrow \Delta K = -\Delta U$$

بنابراین با توجه به این که $|\Delta U| = |Eqd \cos \alpha|$ است، برای محاسبه ΔK داریم:

$$|\Delta K| = |Eqd \cos \alpha|$$

در حالتی که روی ذره فقط نیروی الکتریکی کار انجام می‌دهد، هرگاه در جهت خودبه‌خودی حرکت کند، $\Delta K > 0$ است و انرژی جنبشی زیاد می‌شود و هرگاه بار الکتریکی در خلاف جهت خودبه‌خودی حرکت کند، $\Delta K < 0$ است و انرژی جنبشی کم می‌شود.



نکته

q
A

B

فرض کنید بار الکتریکی q از نقطه A به B برود. در نمودار زیر برخی از نکات مهم در مورد این جابه‌جایی را جمع‌آوری کرده‌ایم:

تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی برابر قرینه کار نیروی الکتریکی است: $\Delta U_E = -W_E$

$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} \text{ اختلاف پتانسیل نقاط A و B برابر است با:}$$

با حرکت در جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی نقاط عبوری کاهش می‌یابد.

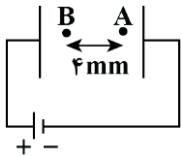
با حرکت در خلاف جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی نقاط عبوری افزایش می‌یابد.

با حرکت در جهت عمود بر میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی ثابت می‌ماند.

در صورتی که فقط نیروی الکتریکی روی ذره کار انجام دهد، انرژی مکانیکی، پایسته می‌ماند و تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی قرینه تغییرات انرژی جنبشی می‌شود: $\Delta U_E = -\Delta K$

گروه آموزشی ماز

۲۱- خازنی به ظرفیت $4\mu F$ دارای بار $20\mu C$ است. اگر فاصله بین صفحات خازن 20mm باشد و این فاصله را 25% افزایش دهیم، اختلاف پتانسیل بین نقاط A و B چند ولت تغییر می‌کند؟



- ۱) ۲ ولت کاهش می‌یابد.
- ۲) ۲ ولت افزایش می‌یابد.
- ۳) ۸ ولت کاهش می‌یابد.
- ۴) ۸ ولت افزایش می‌یابد.

(سخت - مفهومی/محاسباتی - ۱۱۰)

پاسخ: گزینه ۱

$$\text{اختلاف پتانسیل دو سر خازن برابر } V = \frac{Q}{C} = \frac{200 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6}} = 50\text{V} \text{ است.}$$

خازن به باتری متصل است؛ پس ولتاژ آن ثابت و طبق رابطه $E = \frac{V}{d}$ ، با افزایش d، میدان الکتریکی کاهش می‌یابد.

$$E = \frac{V}{d} = \frac{50}{20 \times 10^{-3}} = 2500 \frac{V}{m}$$

اختلاف پتانسیل اولیه بین نقاط A و B برابر است با:

$$V_{BA} = V_B - V_A = Ed_{BA} \Rightarrow V_B - V_A = 2500 \times 4 \times 10^{-3} = 10\text{V}$$

با افزایش d و ثابت ماندن اختلاف پتانسیل دو سر خازن، بزرگی میدان جدید را به دست می‌آوریم.

$$d' = d + \frac{25}{100}d = \frac{5}{4}d = \frac{5}{4} \times 20 \times 10^{-3} = 25 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$E' = \frac{V}{d'} = \frac{50}{25 \times 10^{-3}} = 2000 \frac{V}{m}$$

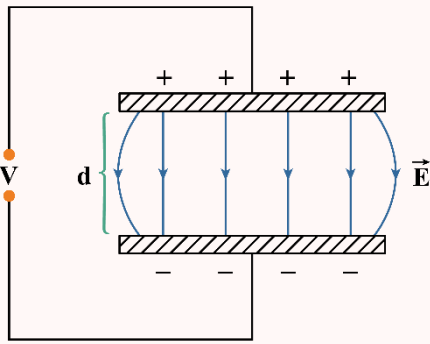
$$V'_{BA} = V'_B - V'_A = E'd_{BA} = 2000 \times 4 \times 10^{-3} = 8\text{V}$$

بنابراین V_{BA} از ۱۰ ولت به ۸ ولت رسیده است، یعنی ۲ ولت کاهش داشته است.



میدان الکتریکی یکنواخت

۱- اگر دو صفحه بزرگ فلزی را با بارهای $+q$ و $-q$ باردار کنیم و در مقابل هم در فاصله d قرار دهیم، به دور از لبه صفحه‌ها، میدان الکتریکی یکنواختی بین آن‌ها ایجاد می‌شود که اندازه آن از رابطه زیر به دست می‌آید:



$$E = \frac{V}{d}$$

۲- مطابق رابطه $E = \frac{V}{d}$ ، یکای میدان الکتریکی علاوه بر نیوتون کولن که در گذشته خواندیم، می‌تواند ولت متر هم باشد.

مثال

دو صفحه بزرگ فلزی را به اختلاف پتانسیل $20V$ وصل می‌کنیم و آن‌ها را در فاصله $5cm$ از هم قرار می‌دهیم. اندازه میدان الکتریکی بین دو صفحه چند واحد SI است؟

پاسخ:

مطابق رابطه $E = \frac{V}{d}$ داریم:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{20}{5 \times 10^{-2}} = 400 \frac{V}{m}$$

ظرفیت خازن

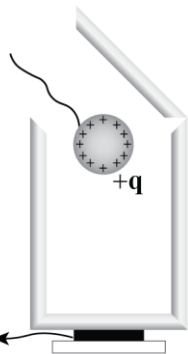
با توجه به آن‌که هرچه اختلاف پتانسیل بین دو صفحه خازن بیشتر باشد، بار ذخیره شده در آن بیشتر می‌شود، نسبت بار ذخیره شده به اختلاف پتانسیل بین دو صفحه آن را ظرفیت خازن می‌نامند. ظرفیت خازن، عددی ثابت است و آن را با C نشان می‌دهند و واحد آن فاراد یا کولن بر ولت است:

$$C = \frac{q}{V}$$

هنگامی که یک خازن به ظرفیت C توسط یک باتری با ولتاژ V باردار می‌شود، بار ذخیره شده در آن از رابطه $q = CV$ به دست می‌آید.

گروه آموزشی ماز

۲۲- مطابق شکل زیر، یک گوی فلزی با بار مثبت را که از نخ عایقی آویزان است، وارد ظرف می‌کنیم. اکنون گوی را با کف ظرف تماس می‌دهیم و سپس در پوش فلزی را می‌بندیم. آن‌گاه گوی را از ظرف جدا می‌کنیم و در پوش فلزی را با دسته عایقش برمی‌داریم. پس از خارج کردن گوی فلزی از ظرف، بار الکتریکی گوی است و از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت

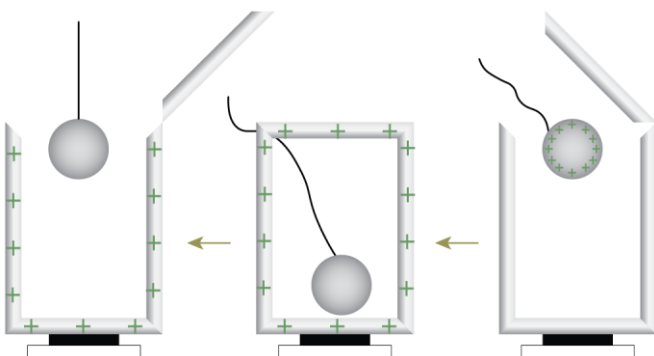


- ۱) صفر - بار الکتریکی در سطح خارجی رسانا پخش می‌شود.
- ۲) صفر - میدان الکتریکی درون رسانا صفر است.
- ۳) مثبت - بار الکتریکی در سطح خارجی رسانا پخش می‌شود.
- ۴) مثبت - میدان الکتریکی درون رسانا صفر است.

پاسخ: گزینه ۱

(آسان - مفهومی - ۱۱۰۱)

با توجه به این‌که بار الکتریکی در سطح خارجی رساناها پخش می‌شود، هنگامی که گوی را درون ظرف قرار می‌دهیم و سپس با ظرف تماس می‌دهیم، همه بار گوی به ظرف منتقل می‌شود؛ بنابراین بار گوی برابر صفر می‌شود.



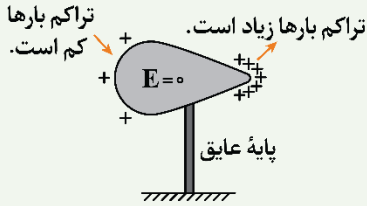


توزیع بار در جسم رسانا

- در رساناهای منزوی، بار الکتریکی به گونه‌ای در سطح جسم پخش می‌شود که ویژگی‌های زیر را داشته باشد:
- ۱- بار الکتریکی در سطح خارجی رسانا پخش می‌شود.
 - ۲- تجمع و تراکم بارها در نقاط نوک‌تیز بیشتر است.
 - ۳- میدان الکتریکی درون رسانا صفر است.
 - ۴- خطوط میدان الکتریکی در خارج از رسانا بر سطح آن عمود است.
 - ۵- پتانسیل الکتریکی همه نقاط رسانا با هم برابر است، به عبارت دیگر اختلاف پتانسیل الکتریکی نقاط رسانا با هم صفر است.

مثال

جسم فلزی دوکی شکل زیر را در نظر بگیرید. اگر این جسم را باردار کنیم، تراکم بارها در قسمت نوک‌تیز بیشتر از سایر قسمت‌های آن است.

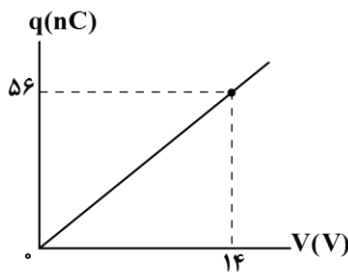


بنابراین اگر یک آونگ الکتریکی را نزدیک قسمت نوک‌تیز قرار دهیم، به نسبت قسمت پهن‌تر، بیشتر منحرف می‌شود.

گروه آموزشی ماز

۲۳- دو صفحه رسانا با مساحت 40 cm^2 را در فاصله 5 mm از هم قرار می‌دهیم و فاصله بین آن‌ها را با یک ماده دی‌الکتریک پر می‌کنیم. اگر با شارژ کردن این خازن، نمودار تغییرات بار ذخیره شده در آن بر حسب اختلاف پتانسیل دو سر آن مطابق شکل باشد، ثابت دی‌الکتریک عایق بین صفحه‌ها

چقدر است؟ $(\epsilon_0 \approx 9 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}})$



- (۱) $\frac{25}{9}$
- (۲) $\frac{25}{3}$
- (۳) $\frac{50}{9}$
- (۴) $\frac{50}{3}$

(متوسط - نموداری - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۳

گام اول:

با توجه به نمودار، اگر خازن با ولتاژ $V = 14 \text{ V}$ شارژ شود، بار ذخیره شده در آن برابر $q = 56 \text{ nC}$ می‌شود؛ بنابراین ظرفیت آن برابر است با:

$$C = \frac{q}{V} \Rightarrow C = \frac{56}{14} = 4 \text{ nF} = 4 \times 10^{-9} \text{ F}$$

گام آخر:

ثابت دی‌الکتریک را به دست می‌آوریم:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \Rightarrow 4 \times 10^{-9} = \kappa \times 9 \times 10^{-12} \times \frac{400 \times 10^{-4}}{0.5 \times 10^{-3}}$$

$$\Rightarrow 4 \times 10^{-9} = \kappa \times 9 \times 10^{-12} \times 80 \Rightarrow \kappa = \frac{50}{9}$$

ظرفیت خازن

با توجه به آن که هرچه اختلاف پتانسیل بین دو صفحه خازن بیشتر باشد، بار ذخیره شده در آن بیشتر می‌شود، نسبت بار ذخیره شده به اختلاف پتانسیل بین دو صفحه آن را ظرفیت خازن می‌نامند. ظرفیت خازن، عددی ثابت است و آن را با C نشان می‌دهند و واحد آن فاراد یا کولن بر ولت است:

$$C = \frac{q}{V}$$

هنگامی که یک خازن به ظرفیت C توسط یک باتری با ولتاژ V باردار می‌شود، بار ذخیره شده در آن از رابطه $q = CV$ به دست می‌آید.



عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن:

تنها ویژگی‌های ساختمانی می‌توانند بر روی ظرفیت خازن مؤثر باشند.

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

۱- فاصله بین صفحات (d)

۲- مساحت صفحات (A)

۳- دی‌الکتریک بین صفحات (با ثابت κ)

میدان الکتریکی بین صفحه‌های خازن از روابط زیر به دست می‌آید:

اگر ولتاژ را داشته باشیم $E = \frac{V}{d}$

اگر بار را داشته باشیم $E = \frac{q}{\kappa \epsilon_0 A}$

انرژی ذخیره شده در خازن از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\text{انرژی خازن} \rightarrow \begin{cases} U = \frac{1}{2} CV^2 \\ U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \\ U = \frac{1}{2} qV \end{cases}$$

مثال

یک خازن تخت از صفحه‌هایی با مساحت 10^{-3} m^2 ساخته شده است که در فاصله 5 mm از هم قرار گرفته‌اند و بین صفحه‌ها هوا است. اگر این خازن را به اختلاف پتانسیل 20 V متصل کنیم تا شارژ شود، به سؤالات زیر پاسخ دهید.

الف) ظرفیت خازن چند نانوفاراد است؟ $(\epsilon_0 = 9 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}})$

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} = 1 \times 9 \times 10^{-12} \times \frac{10^{-3}}{0.5 \times 10^{-3}} = 18 \times 10^{-12} \text{ F} = 0.18 \text{ nF}$$

ب) بزرگی میدان الکتریکی بین صفحه‌های خازن چند واحد SI است؟

$$E = \frac{V}{d} = \frac{20}{0.5 \times 10^{-3}} = 4 \times 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

پ) بار ذخیره شده در خازن چند نانوکولن است؟

$$q = CV \rightarrow q = 0.18 \times 20 = 0.36 \text{ nC}$$

ت) انرژی ذخیره شده در خازن چند نانوژول است؟

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 0.18 \times 20^2 = 3.6 \text{ nJ}$$

گروه آموزشی ماز

۲۴- اختلاف پتانسیل دو صفحه خازنی را $\frac{15}{11}$ برابر می‌کنیم. در این صورت انرژی خازن و بار ذخیره شده آن $104 \mu\text{C}$ و $16 \mu\text{C}$ تغییر می‌کنند. ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟

۲۰ (۴)

۱۰ (۳)

۸ (۲)

۴ (۱)

(متوسط - محاسباتی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۲

ابتدا بار خازن را در دو حالت حساب می‌کنیم:

$$q = CV \xrightarrow{C \text{ ثابت است}} \frac{q_2}{q_1} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \frac{q_1 + 16}{q_1} = \frac{15}{11} \Rightarrow q_1 = 44 \mu\text{C}$$

$$q_C = q_1 + 16 = 44 + 16 = 60 \mu\text{C}$$

در نتیجه $q_2 = 60 \mu\text{C}$ می‌باشد.



حالا با داشتن اختلاف انرژی و بار خازن در دو حالت، ظرفیت خازن را حساب می‌کنیم:

$$U_2 - U_1 = 104 \xrightarrow{U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}} \frac{1}{2C} (q_2^2 - q_1^2) = 104$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2C} (60^2 - 44^2) = 104 \Rightarrow C = 8 \mu F$$

گروه آموزشی ماز

۲۵- خازنی به یک باتری متصل شده تا شارژ شود. اگر در همین حالت، فاصله بین صفحه‌های خازن را ۲۰ درصد کاهش دهیم، بار الکتریکی، میدان الکتریکی و انرژی ذخیره‌شده در خازن به ترتیب از راست به چپ چند برابر می‌شوند؟

(۴) $\frac{5}{4}, \frac{5}{4}, \frac{5}{4}$

(۳) $\frac{4}{5}, \frac{5}{4}, 1$

(۲) $\frac{5}{4}, \frac{4}{5}, \frac{5}{4}$

(۱) $\frac{4}{5}, \frac{4}{5}, 1$

(متوسط - مفهومی/محاسباتی - ۱۱۰۱)

پاسخ: گزینه ۴

با توجه به این که خازن به باتری متصل است، ولتاژ آن ثابت می‌ماند.

$$\frac{V_2}{V_1} = 1$$

با کاهش ۲۰ درصدی فاصله بین صفحه‌ها، فاصله بین آن‌ها $\frac{4}{5}$ برابر می‌شود و داریم:

$$d_2 = d_1 - \frac{20}{100} = \frac{80}{100} d_1 = \frac{4}{5} d_1 \Rightarrow \frac{d_2}{d_1} = \frac{4}{5}$$

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{5}{4}$$

در ادامه تغییر هر یک از کمیت‌های خواسته‌شده را محاسبه می‌کنیم.

بار الکتریکی:

$$q = CV \xrightarrow{V \text{ ثابت}} \frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{5}{4}$$

میدان الکتریکی:

$$E = \frac{V}{d} \xrightarrow{V \text{ ثابت}} \frac{E_2}{E_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{5}{4}$$

انرژی الکتریکی:

$$U = \frac{1}{2} CV^2 \xrightarrow{V \text{ ثابت}} \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{5}{4}$$

نکته

هنگامی که در ویژگی‌های یک خازن تغییر ایجاد کنیم، دو حالت زیر امکان‌پذیر است:

۱- خازن به باتری وصل باشد: در این حالت ولتاژ خازن ثابت می‌ماند.

۲- خازن شارژ و از باتری جدا شده باشد: در این حالت بار خازن ثابت می‌ماند.

گروه آموزشی ماز





الکتریسیته ساکن

بار الکتریکی

دو نوع بار الکتریکی وجود دارد:
 ۱- بار الکتریکی مثبت که منشأ آن پروتون‌ها هستند.
 ۲- بار الکتریکی منفی که منشأ آن الکترون‌ها هستند.

پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

پایستگی: بار الکتریکی خودبه‌خود به‌وجود نمی‌آید و خودبه‌خود از بین نمی‌رود! بلکه از جسی به جسی دیگر منتقل می‌شود.

اصل کوانتیده بودن: کم‌ترین باری که یک جسم می‌تواند داشته باشد به‌اندازه بار یک الکترون است. این مقدار را «بار بنیادی» می‌گویند.

بار الکتریکی یک جسم، مضرب صحیحی از بار بنیادی (e) است:
 $q = \pm ne$ و $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

روش باردار کردن اجسام

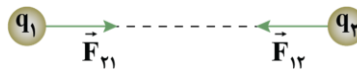
به سه روش می‌توان اجسام را باردار کرد: ۱- مالش ۲- تماس ۳- القا

الکتروسکوپ (برق‌نما)

الکتروسکوپ وسیله‌ای آزمایشگاهی است که از یک رسانای یکپارچه شامل کلاهک فلزی، میله فلزی و تیغه‌های نازک و سبک و فلزی ساخته شده که بدون اتصال الکتریکی روی پایه‌ای عایق و درون محفظه‌ای شیشه‌ای و شفاف قرار گرفته است. اگر الکتروسکوپ باردار باشد، تیغه‌های فلزی آن از هم دور می‌شوند.

قانون کولن

دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 که در فاصله r از یکدیگر قرار دارند، بر هم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند که این نیرو بین بارها از نوع کنش و واکنش است یعنی اندازه این نیروها یکسان و جهت‌های آن‌ها مخالف هم است.



$$F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} \rightarrow \text{ثابت کولن } k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

صفر شدن نیروی برابند برای بارهای قرارگرفته در یک راستا

- ۱- اگر دو بار هم‌نام باشند، در نقطه‌ای مابین دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر
- ۲- اگر دو بار ناهم‌نام باشند، در نقطه‌ای خارج دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر



فصل ۱ فیزیک یازدهم

$$E = \frac{k|q|}{r^2} \rightarrow q \text{ از } r \text{ اندازه میدان الکتریکی در فاصله}$$

هر بار الکتریکی در فضای اطراف خود خاصیتی ایجاد می‌کند که به موجب آن به هر بار دیگری که در آن فضا باشد، نیروی الکتریکی وارد می‌کند. این خاصیت، میدان الکتریکی نام دارد.

$$F = E|q_0|$$

اگر یک بار الکتریکی وارد میدان بار الکتریکی دیگری شود، به آن نیرویی وارد می‌شود که از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید:

میدان الکتریکی

خط‌های میدان در هر نقطه، هم‌جهت با نیروی وارد بر بار مثبت واقع در آن نقطه است. خطوط میدان الکتریکی به صورت شعاعی، از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد می‌شود. میدان الکتریکی کمیتی برداری است و میدان الکتریکی در هر نقطه، برداری مماس بر خط میدان عبوری از آن نقطه و هم‌جهت با خط میدان است. میزان تراکم خطوط میدان الکتریکی، نشان‌دهنده بزرگی میدان است. هر جا خطوط میدان به یکدیگر نزدیک‌تر و فشرده‌تر و پرتراکم‌تر باشند، میدان در آن ناحیه بزرگ‌تر است و بالعکس. خطوط میدان، یکدیگر را قطع نمی‌کنند، یعنی از هر نقطه از فضا یک خط میدان می‌گذرد که همان میدان الکتریکی برایند است. تعداد خط‌های میدان الکتریکی که از یک بار الکتریکی خارج یا به آن داخل می‌شوند، با اندازه آن بار متناسب است. خط میدان در نزدیکی بار بزرگ‌تر، خمیدگی کم‌تری دارد.

خطوط میدان الکتریکی

فرض کنید ذره‌ای با بار الکتریکی q در میدان الکتریکی یکنواخت \vec{E} به اندازه \vec{d} جابه‌جا شود. نیروی الکتریکی وارد بر بار $F_E = E|q|$ و کاری که نیروی الکتریکی روی بار انجام می‌دهد برابر است با:

$$W_E = E|q|d \cos \theta$$

کار نیروی الکتریکی

نکته: طبق قضیه کار و انرژی، کار کل انجام شده روی یک جسم برابر تغییر انرژی جنبشی آن است:

$$W_t = \Delta K$$

تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار در یک جابه‌جایی، همواره برابر با منفی کار نیروی الکتریکی وارد بر آن بار در آن جابه‌جایی است.

$$\Delta U_E = -W_E \Rightarrow \Delta U_E = -E|q|d \cos \theta$$

انرژی پتانسیل الکتریکی

اگر جهت جابه‌جایی بار، در خلاف تمایل حرکت بار باشد، آن‌گاه $W_E < 0$ و انرژی پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد ($\Delta U_E > 0$) و اگر جهت جابه‌جایی بار، مطابق تمایل حرکت بار باشد، آن‌گاه $W_E > 0$ و انرژی پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد ($\Delta U_E < 0$).

انرژی و اختلاف پتانسیل الکتریکی

اختلاف پتانسیل الکتریکی

به تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بر یکای بار الکتریکی در جابه‌جایی بین دو نقطه از میدان الکتریکی، اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌گویند (تعریف کمی) و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta V_E = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-W_E}{q} \Rightarrow |\Delta V_E| = E|d'|$$

اندازه جابه‌جایی در راستای میدان

$\xrightarrow{d' \text{ در جهت میدان باشد.}} \Delta V = -E|d'|$
 $\xrightarrow{d' \text{ در خلاف جهت میدان باشد.}} \Delta V = +E|d'|$

هر باتری از دو پایانه تشکیل شده است، یکی مثبت و دیگری منفی. هنگامی که می‌گوییم باتری ۱۲ ولت است، یعنی پتانسیل الکتریکی پایانه مثبت (V_+) به اندازه ۱۲ ولت از پتانسیل الکتریکی پایانه منفی (V_-) بیش‌تر است.

باتری

الکتریسیته ساکن



فصل ۱ فیزیک یازدهم

الکتریسیته ساکن

توزیع بار الکتریکی در اجسام رسانا

اگر به جسم نارسانا و رسانای منزوی (جسمی که با فضای اطراف خود، بار الکتریکی مبادله نمی‌کند) بار الکتریکی بدهیم، بار به صورت زیر پخش می‌شود:

۱- جسم نارسانا: بار داده شده به جسم نارسانا در همان محل باقی می‌ماند.

۲- جسم رسانای منزوی: بار داده شده به جسم رسانای منزوی، فقط روی سطح خارجی رسانا پخش می‌شود و هیچ باری داخل جسم رسانا باقی نمی‌ماند و این ربطی به توپر یا توخالی بودن جسم رسانا ندارد.

خازن

رابطه مداری خازن

$$C = \frac{q}{V} \text{ یا } q = CV \text{ یا } V = \frac{q}{C}$$

عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

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

انرژی ذخیره شده در خازن

$$U = \frac{1}{2} CV^2 \text{ یا } U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \text{ یا } U = \frac{1}{2} qV$$

تحلیل میدان الکتریکی بین صفحه‌های خازن

اگر خازن به مولد وصل است، حتماً از رابطه $E = \frac{V}{d}$ حل کنید؛ زیرا V ثابت است.
اگر خازن شارژ شده را از باتری جدا کنند، از رابطه $E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$ حل کنید؛ زیرا q ثابت است.