

الکتریسیته ساکن

(مناسب برای دوره جمع‌بندی)

حسین صمدیه - علی مهربانی - مجید فارسی

منطبق بر کتاب فیزیک ۲

پایه یازدهم (تجربی و ریاضی)

(برگرفته از کتاب فیزیک کنکور)

حسین صمدیه

الکتریسیته ساکن

از آذرخش گرفته تا درخشش لامپی کوچک، از آنچه اتم‌ها را به شکل مولکول به هم پیوند می‌دهد، تا پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب و همچنین بسیاری از پدیده‌های دیگر مانند قابلیت چسبیدن نوار سلفون بر ظروف و حتی بالا رفتن یک مارمولک از دیوار و بسیاری از وسیله‌های اطراف ما، همگی منشأ الکتریکی دارند. مبانی فیزیکی مرتبط با این پدیده‌ها نخستین بار مورد توجه فیلسوفان یونان قدیم قرار گرفت که دریافتند اگر قطعه‌ای از کهربا با پارچه پشمی مالش داده شود و سپس به خرده‌های کاه نزدیک گردد، آن خرده‌ها به سوی کهربا کشیده می‌شوند. امروز می‌دانیم این کشش ناشی از یک نیروی الکتریکی است. در واقع واژه‌ی الکتریسیته از واژه یونانی **الکترون** گرفته شده است که به معنای کهرباست. وقتی لباس‌های بافتنی را از تن خارج می‌کنیم، یا پس از اینکه چند قدم بر روی فرش راه می‌رویم، دستگیره فلزی در را با دست بگیریم، عملاً وجود الکتریسیته را به صورت یک شوک الکتریکی حس می‌کنیم. مطالعه بارهای ساکن را **الکتریسیته ساکن (الکتروستاتیک)** می‌گویند.

بار الکتریکی

معمولاً وقتی دو جسم با یکدیگر مالش داده می‌شوند، هر دوی آنها دارای بار الکتریکی می‌شوند و بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. دو نوع بار الکتریکی وجود دارد، این دو نوع بار الکتریکی توسط دانشمند آمریکایی بنیامین فرانکلین، بار مثبت و بار منفی نام‌گذاری شد. او می‌توانست آن‌ها را هر چیز دیگری نیز بنامد، اما استفاده از علامت‌های جبری به جای نام‌های دیگر این مزیت را دارد که وقتی در یک جسم از این دو نوع بار به مقدار مساوی وجود داشته باشد، جمع جبری بارهای جسم صفر می‌شود که به معنای خنثی بودن آن جسم است.



الکتروسکپ (برق‌نما)



نوع باری که دو جسم مختلف بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آنها بستگی دارد. الکتروسکپ وسیله‌ای است برای تشخیص باردار بودن یک جسم و تشخیص نوع بار آن، که از یک کلاهک و ورقه‌های فلزی درون یک محفظه تشکیل شده است (شکل روبرو). هنگامی که جسم بارداری را به کلاهک الکتروسکپ بدون بار نزدیک کنیم یا با آن تماس دهیم، ورقه‌های الکتروسکپ از یکدیگر دور می‌شوند. با الکتروسکپ علاوه بر تشخیص باردار بودن و تعیین نوع بار، می‌توان بار دو جسم باردار را باهم مقایسه کرد.

یکای بار الکتریکی در SI، **کولُن (C)** است. توجه کنید یک کولُن مقدار بار بزرگی است. مثلاً در یک آذرخش نوعی، باری از مرتبه 10^6 به زمین منتقل می‌شود و از این رو غالباً با بارهایی از مرتبه میکروکولُن یا نانوکولُن سرو کار داریم. به عنوان مثال، در مالش شانه پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل شده از مرتبه نانوکولُن است.

پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها برابر با تعداد پروتون‌های هسته است. بنابراین، جمع جبری همه بارها (بار خالص) دقیقاً برابر با صفر است. در تجربه‌هایی مانند مالش امپاس به یکدیگر، الکترون‌ها تولید نمی‌شوند و یا از بین نمی‌روند، بلکه صرفاً از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شوند. اندازه بار منفی الکترون دقیقاً برابر با اندازه بار مثبت پروتون است. این مقدار را **بار بنیادی** می‌گویند که برابر است با:

$$e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

باردار کردن اجسام به روش مالش

معمولاً وقتی دو جسم با یکدیگر مالش داده می‌شوند، هر دوی آنها دارای بار الکتریکی می‌شوند. در هنگام مالش، با انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسمی دیگر، تعادل بارها در اتم خنثی بر هم می‌خورد و جسمی که الکترون از دست می‌دهد، تعداد الکترون‌هایش کمتر از تعداد پروتون‌های آن می‌شود و بار الکتریکی خالص آن مثبت می‌گردد و همچنین، جسمی که الکترون اضافی دریافت می‌کند، الکترون‌هایش از پروتون‌های آن فزونی می‌یابد و بار الکتریکی خالص آن منفی می‌شود. به دست آوردن یا از دست دادن الکترون دو جسم در تماس با یکدیگر را می‌توان براساس جدولی موسوم به **سری الکتریسیته‌ی مالش** (تریبوالکتریک؛ Tribos در لغت یونانی به معنای مالش است) معلوم کرد. در این جدول مواد نزدیک‌تر به انتهای منفی، الکترون خواهی بیشتری دارند؛ یعنی اگر دو ماده در این

جدول در تماس با یکدیگر قرار گیرند، الکترون ها از ماده‌ی نزدیک تر به انتهای مثبت به ماده‌ای که به انتهای منفی نزدیک تر است، منتقل می‌شود. مثلا اگر تفلون با نایلون مالش یابد، الکترون‌ها از نایلون به تفلون منتقل می‌شوند.

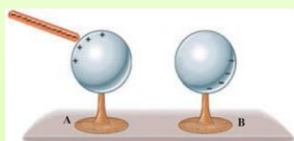
انتهای مثبت سری	موی انسان	شیشه	نایلون	پشم	موی گربه	سرب	ابریشم	آلمینیوم	پوست انسان	کاغذ	چوب	پارچه کتان	کهربا	برنج	پلاستیک پلی اتیلن	لاستیک	تفلون	انتهای منفی سری
-----------------	-----------	------	--------	-----	----------	-----	--------	----------	------------	------	-----	------------	-------	------	-------------------	--------	-------	-----------------

باردار کردن اجسام به روش القا

این روش معمولا برای اجسام رسانا مورد استفاده قرار می‌گیرد. با نزدیک کردن یک جسم باردار به یک جسم رسانا، بارهای هم‌نام درون رسانا به دورترین قسمت رسانا نسبت به میله قرار می‌گیرند و بارهای ناهم‌نام به نزدیکترین قسمت رسانا نسبت به میله منتقل می‌شوند (شکل ب). سپس بدون دور کردن میله کره‌ها را از یکدیگر جدا می‌کنیم (شکل پ). در پایان نیز میله را از کره‌ها دور می‌کنیم. (شکل ت)



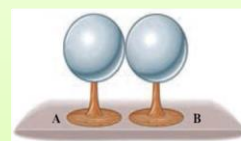
(ت)



(پ)



(ب)



(الف)

بار ایجاد شده در دو کره مقدار یکسانی دارد و به اندازه و شکل کره‌ها بستگی ندارد.

* اگر بخواهیم فقط در یک کره (مثلا کره‌ی A) بار الکتریکی القا کنیم، آن را در یک لحظه به زمین متصل کرده و سپس اتصال را قطع می‌کنیم.

مثال یک قاشق چوبی را در نظر بگیرید که سر قاشق را با یک ظرف تفلون و طرف دیگر آن را به درب شیشه‌ای ظرف مالش می‌دهیم، در این صورت

مثال

۹۷
پیشرفت
تحصیلی

انتهای مثبت سری
شیشه
چوب
تفلون
انتهای منفی سری

- چون بین شیشه و تفلون قرار دارد در نهایت تمام سطح مقطع قاشق خنثی می‌ماند.
- سر قاشق بار مثبت (+) و طرف دیگر آن بار منفی (-) می‌گیرد.
- سر قاشق بار مثبت (-) و طرف دیگر آن بار منفی (+) می‌گیرد.
- هیچ اتفاقی رخ نمی‌دهد.

پاسخ گزینه ۲: تفلون نسبت به چوب به انتهای منفی سری تریبوالکتریک نزدیک‌تر است و هنگام مالش سر قاشق چوبی به ظرف تفلون، سر قاشق الکترون از دست می‌دهد (بار مثبت) و ظرف تفلون الکترون (بار منفی) می‌گیرد. از طرفی به دلیل اینکه شیشه نسبت به چوب به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر است، با مالش این دو به هم، شیشه الکترون از دست می‌دهد (بار مثبت) و طرف دیگر قاشق الکترون (و بار منفی) می‌گیرد. ضمناً چون چوب نارسانا می‌باشد بارها در همان محل مالش باقی می‌مانند.

مثال میله‌ی شیشه‌ای که در اثر مالش با پارچه کتان دارای بار مثبت شده را به یک کره‌ی رسانا که روی پایه‌های عایق قرار دارد نزدیک می‌کنیم. سپس یک لحظه کره را با انگشت لمس می‌کنیم. با برداشتن انگشت میله را از کره دور می‌کنیم. اگر کره به کلاهک الکتروسکپ نزدیک کرده و تماس دهیم، چه اتفاقی می‌افتد؟

مثال

تالیفی

- هیچ اتفاقی نمی‌افتد
- ورقه‌ها از هم دور می‌مانند.
- ورقه‌های الکتروسکپ ابتدا از هم دور و سپس به هم نزدیک می‌شوند.
- ورقه‌های الکتروسکپ ابتدا از هم دور و سپس به هم می‌چسبند و در نهایت دوباره از هم دور می‌شوند.

پاسخ گزینه ۲: با نزدیک کردن میله (دارای بار مثبت) به کره، کره دارای بار منفی می‌شود. هنگامی که کره را به کلاهک الکتروسکپ نزدیک کنیم در ورقه‌ها بار منفی القا شده و از یکدیگر دور می‌شوند. با اتصال کره به کلاهک، مقداری از بار کره به کلاهک و ورقه‌ها منتقل می‌شود و بازهم دارای بار منفی است.

۱۴۳
ساده

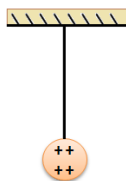
اگر میله‌ی پلاستیکی را با پارچه‌ی ابریشمی مالش دهیم. کدام یک الکترون از دست می‌دهد و کدام یک الکترون می‌گیرد؟
(۱) میله الکترون از دست می‌دهد و پارچه الکترون می‌گیرد. (۲) پارچه الکترون از دست می‌دهد و میله الکترون می‌گیرد.
(۳) هر دو الکترون می‌گیرند. (۴) هر دو الکترون از دست می‌دهند.

تالیفی

انتهای مثبت سری
ابریشم
پلاستیک
انتهای منفی سری

۱۴۴ ساده در شکل مقابل گلوله‌ی فلزی بارداری از نخ آویزان است. کره‌ی فلزی خنثی را که دارای دسته‌ی نارسانا است به گلوله نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که گلوله می‌شود. وقتی تماس حاصل شد، کره را جدا می‌کنیم و دوباره به آرامی آن را به گلوله نزدیک می‌کنیم و ملاحظه می‌شود که گلوله می‌شود.

۸۶
تجربی



- (۱) جذب - دفع
- (۲) دفع - جذب
- (۳) دفع - دفع
- (۴) جذب - جذب

اصل پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

در مورد بارهای الکتریکی دو اصل وجود دارد:

نخستین آنها **اصل پایستگی بار** است که بیان می‌دارد مجموع جبری همه‌ی بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است؛ یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد. تاکنون هیچ آزمایشی این اصل را نقض نکرده است.

دومین اصل، **کوانتیده بودن بار** است. در تجربه‌هایی مانند مالش اجسام به یکدیگر اگر جسم خنثی الکترون به دست آورد یا از دست بدهد، همواره بار الکتریکی مشاهده شده‌ی جسم، مضرب درستی از بار الکترون (e) است.

$$q = \pm ne$$

مثال	چند الکترون باید از یک سکه‌ی خنثی خارج شود، تا بار الکتریکی آن $+1\mu\text{C}$ شود؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19}\text{C}$)			
	(۱) $1/6 \times 10^6$	(۲) $1/6 \times 10^{12}$	(۳) $6/25 \times 10^6$	(۴) $6/25 \times 10^{12}$
پاسخ گزینه ۴: به ازای هر الکترون که از سکه خارج شود، بار $+e$ به بار سکه افزوده می‌شود.				
$q = +ne \rightarrow n = \frac{q}{+e} = \frac{+10^{-6}}{+1/6 \times 10^{-19}} = \frac{10^{12}}{1/6} = \frac{10}{1/6} \times 10^{12} = 6/25 \times 10^{12}$				

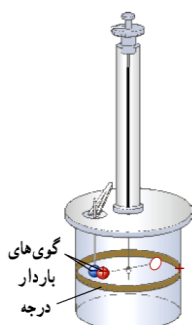
۱۴۵ ساده	یک میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه‌ی ابریشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش $12/8\text{ nC}$ بار الکتریکی در میله‌ی شیشه‌ای ایجاد می‌شود. تعداد بارهای منتقل شده از میله به پارچه را چقدر است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19}\text{C}$)	کتاب درسی
(۱) 4×10^4	(۲) 8×10^{10}	
(۳) 4×10^{10}	(۴) 8×10^{39}	

۱۴۶ ساده	عدد اتمی اورانیوم $Z = 92$ است. بار الکتریکی هسته‌ی اتم اورانیوم و بار کل اتم اورانیوم به ترتیب چند کولن است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} \text{C}$)	کتاب درسی
(۱) $+1/47 \times 10^{-17}$ و $+1/47 \times 10^{-17}$	(۲) صفر و $-1/47 \times 10^{-17}$	
(۳) $+1/47 \times 10^{-17}$ و صفر	(۴) صفر و صفر	

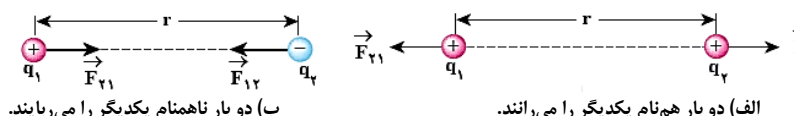
قانون کولن

دو جسم باردار بر هم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند که می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد. اگر بارهای الکتریکی دو جسم هم‌نام باشند، این نیرو دافعه است و اگر ناهم‌نام باشند، این نیرو جاذبه است.

ترازوی پیچشی کولن: در یک سر یک میله‌ی نارسانای سبک افقی یک گوی باردار مثبت کوچک و در سر دیگر آن، یک قرص قرار دارد و میله از وسط توسط یک رشته سیم کشسان و نازک آویخته شده است. یک گوی با بار منفی از حفره‌ای به داخل استوانه‌ی شیشه‌ای برده می‌شود. درجه‌هایی بر سطح استوانه حک شده است که زاویه چرخش میله را نشان می‌دهد. نیروی مؤثر بین درجه این بارها از اندازه گیری زاویه چرخش تا رسیدن به حالت تعادل به دست می‌آید.



قانون کولن: اندازه‌ی نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط واصل آنها اثر می‌کند، با حاصل ضرب بزرگی آنها متناسب است و با مربع فاصله‌ی بین آنها نسبت وارون دارد. بنابراین، اندازه‌ی این نیرو برابر است با:



$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = F \rightarrow F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

(الف) دو بار هم‌نام یکدیگر را می‌رانند. (ب) دو بار ناهم‌نام یکدیگر را می‌ربایند.

در رابطه‌ی کولن (رابطه‌ی بالا) اندازه‌ی بارها برحسب کولن (C) و فاصله‌ی دو بار برحسب متر (m) در اینصورت نیروی الکتریکی برحسب نیوتن است. k ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد و برابر است با:

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$$

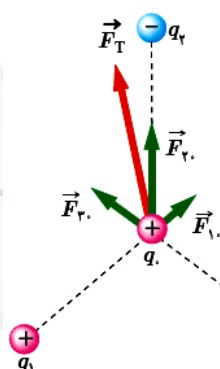
گوش به زنگ

در مورد نیروهایی که دو جسم باردار به هم وارد می‌کنند باید به نکاتی توجه کرد:
(۱) دو نیرو همیشه خلاف جهت یکدیگرند. (۲) اندازه‌ی این دو نیرو همیشه با هم برابر است و از رابطه‌ی کولن به دست می‌آید. (۳) راستای این دو نیرو در راستای خطی است که دو ذره را به هم وصل می‌کند. (۴) این دو نیرو به دو جسم مختلف وارد می‌شود بنابراین نمی‌توان این دو را برابندگیری کرد. (۵) نیرویی است که بار نقطه‌ای q_1 به بار نقطه‌ای q_2 وارد می‌کند و \vec{F}_{12} نیرویی است که بار نقطه‌ای q_2 به بار نقطه‌ای q_1 وارد می‌کند.

گوش به زنگ

قانون ۹۰:

در پرسش‌های چهارگزینه‌ای هرگاه اندازه هریک از دو بار را برحسب میکروکولن و فاصله را برحسب سانتیمتر داده باشند می‌توان برای به‌دست آوردن نیروی الکتریکی، به جای ثابت کولن (k) عدد ۹۰ را قرار داد. همچنین در رابطه اندازه بارها رو برحسب میکروکولن و فاصله را بر حسب سانتی‌متر قرار می‌دهیم.



برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی:

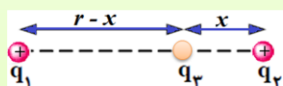
اگر تعدادی ذره‌ی باردار در یک ناحیه از فضا قرار داشته باشند، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برابند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کند. این موضوع که از آزمایش نتیجه شده است را اصل برهم‌نهی نیروهای کولنی (الکتروستاتیکی) می‌گویند.

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

در به‌دست آوردن برابند نیروها از روابط جمع بردارها استفاده می‌کنیم.

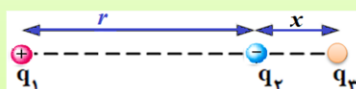
گوش به زنگ

دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 ($q_1 > q_2$) در فاصله‌ی r از یکدیگر ثابت شده‌اند. بار q_3 را کجا رو خطی که دو بار را به هم وصل می‌کند، قرار دهیم تا برابند نیروهای الکتریکی وارد بر آن صفر شود؟
حالت اول: دو بار q_1 و q_2 هر دو مثبت یا هر دو منفی باشند: بار q_3 بین دو بار دیگر و نزدیک به بار کوچکتر قرار می‌گیرد.



$$\frac{|q_1|}{(r-x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2} \quad q_2 = nq_1 \quad x = \frac{r}{\sqrt{n} + 1}$$

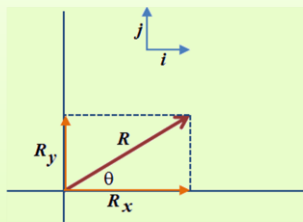
حالت دوم: دو بار q_1 و q_2 یکی مثبت و یکی منفی باشند: بار q_3 خارج از خط وصل‌کننده دو بار و نزدیک به بار کوچکتر قرار می‌گیرد.



$$\frac{|q_1|}{(r+x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2} \quad q_2 = nq_1 \quad x = \frac{r}{\sqrt{n} - 1}$$

گوش به انگ

یادآوری ریاضی:



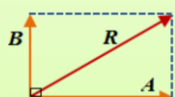
۱- هر بردار را می‌توان برحسب مولفه‌های آن در دو راستای محور x و محور y نوشت:

$$\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j} = R \cos\theta \vec{i} + R \sin\theta \vec{j}$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad \text{بزرگی بردار}$$

همچنین روابط مثلثاتی زیر را در مورد مولفه‌های بردار R نوشت:

$$\cos\theta = \frac{R_x}{R}, \quad \sin\theta = \frac{R_y}{R}, \quad \tan\theta = \frac{R_y}{R_x}$$



۲- هرگاه دو بردار \vec{A} و \vec{B} بر هم عمود باشند، بزرگی بردار براند از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \sqrt{A^2 + B^2} \quad \text{بزرگی بردار}$$

۳- در مورد مثلث قائم‌الزاویه اگر بزرگی بردارهای \vec{A} و \vec{B} به ترتیب ۳ و ۴ باشد بزرگی R که همان وتر مثلث قائم‌الزاویه است برابر ۵ می‌شود. هر مضربی از ۳ و ۴ همان مضرب از ۵ را نتیجه می‌دهد: $3n, 4n \rightarrow 5n$ (مثلاً اگر ضلع‌ها ۱/۵ و ۲ باشد، وتر ۲/۵ می‌شود) همچنین اگر یکی از ضلع‌های مثلث قائم‌الزاویه n برابر دیگری باشد ($A = nB$)، بزرگی وتر از رابطه $R = B\sqrt{1+n^2}$ به دست می‌آید.

مثال	در مدل بور برای اتم هیدروژن، فاصله الکترون از پروتون هسته در حالت پایه حدود $4/8 \times 10^{-11} m$ است. اندازه‌ی نیروی الکتریکی که پروتون به الکترون وارد می‌کند، چند نیوتون است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$ و $k = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$)
کتاب درسی	$1) \quad 4/8 \times 10^{-7} \quad 2) \quad 4/8 \times 10^{-18} \quad 3) \quad 10^{-18} \quad 4) \quad 10^{-7}$
	پاسخ گزینه ۴: بار پروتون و الکترون برابر e است با این تفاوت که بار الکترون مثبت و بار الکترون منفی می‌باشد بنابراین داریم:
	$ \vec{F}_y = \vec{F}_x = F = k \frac{ q_1 q_2 }{r^2} = k \frac{ q_p q_e }{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1/6 \times 10^{-19} \times 1/6 \times 10^{-19}}{4/8 \times 10^{-11} \times 4/8 \times 10^{-11}} = 10^{-7} N$

مثال	در شکل روبه‌رو برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر هر یک از بارهای نقطه‌ای برابر صفر است. $\frac{q_2}{q_1}$ کدام است؟
۹۳ تجربی	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-left: 20px;"> $\begin{array}{ll} +4 \quad (2) & -4 \quad (1) \\ \frac{9}{4} \quad (4) & -\frac{9}{4} \quad (3) \end{array}$ </div> </div>
	پاسخ گزینه ۳:
	چون در نسبت خواسته شده بار q_1 وجود ندارد بنابراین نیروهای وارد بر q_1 را به دست می‌آوریم. برای صفر شدن برآیند نیروهای وارد بر بار q_1 باید علامت بارهای q_2 و q_3 مخالف هم باشد یعنی نسبت $\frac{q_2}{q_1}$ منفی است. (حذف گزینه‌های ۲ و ۴) برای بار q_1 می‌توان نوشت:
	$ \vec{F}_{11} = \vec{F}_{12} \rightarrow \frac{k q_1 q_1 }{(r_{11})^2} = k \frac{ q_2 q_1 }{(r_{12})^2} \rightarrow \frac{k q_2 q_1 }{(30)^2} = k \frac{ q_2 q_1 }{(20)^2} \rightarrow \frac{ q_2 }{900} = \frac{ q_2 }{400} \rightarrow \frac{ q_2 }{ q_1 } = \frac{9}{4}$

کتاب درسی

کدام یک از گزینه‌های زیر درست نیست؟

۱۴۷

ساده

(۱) هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

(۲) نیروی الکتریکی بین دو بار نقطه‌ای با فاصله‌ی دو بار الکتریکی رابطه عکس دارد.

(۳) نیرویی که ذره باردار بر یک بار الکتریکی وارد می‌کند، مستقل از نیرویی است که ذره‌های دیگر به آن بار وارد می‌کند.

(۴) در ترازوی پیچشی کولن، نیروی موثر بین بارها از فاصله‌ی زاویه‌ای دو وضعیت تعادل به دست می‌آید.

۹۸ ریاضی

اگر اندازه‌ی بارهای هریک از دو بار الکتریکی نقطه‌ای را ۳ برابر کنیم و فاصله‌ی بین آن‌ها را نیز ۳ برابر کنیم، نیروی الکتریکی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟

۱۴۸

ساده

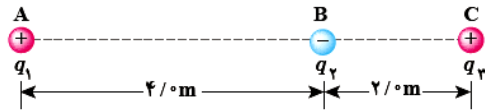
۹ (۴)

۳ (۳)

۱ (۲)

 $\frac{1}{3}$ (۱)

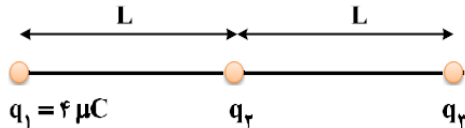
سه ذره با بارهای $q_1 = +3\mu\text{C}$ ، $q_2 = -1\mu\text{C}$ و $q_3 = +4\mu\text{C}$ در نقطه‌های A، B و C مطابق شکل روبه‌رو ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 چند نیوتن است؟



- (۱) 6×10^{-3} (۲) 9×10^{-3}
(۳) 3×10^{-3} (۴) 18×10^{-3}

۱۴۹
ساده

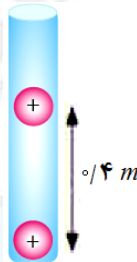
در شکل زیر سه بار نقطه‌ای قرار دارند. برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_3 هم اندازه‌ی نیروی الکتریکی است که بار q_1 بر q_3 وارد می‌کند. q_3 چند میکروکولن است؟



- (۱) ۸
(۲) ۲
(۳) -۲
(۴) -۸

۱۵۰
ساده

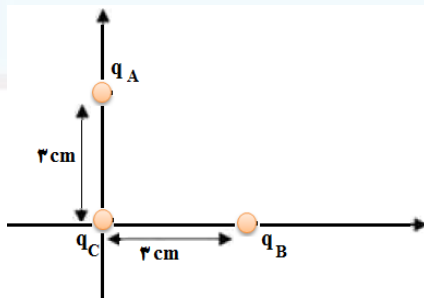
در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه به جرم $2/5\text{g}$ و بار یکسان مثبت q در فاصله‌ی 40cm از هم قرار دارند به گونه‌ای که گوی بالایی به حالت معلق مانده است. هستند. اندازه‌ی بار هریک از گوی‌ها چند کولن است؟ $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$



- (۱) $\frac{4}{3} \times 10^{-6}$ (۲) $\frac{3}{4} \times 10^{-6}$
(۳) $\frac{2}{3} \times 10^{-6}$ (۴) $\frac{3}{2} \times 10^{-6}$

۱۵۱
ساده

دو ذره‌ی $q_A = 3\mu\text{C}$ و $q_B = -3\mu\text{C}$ مطابق شکل روی محورهای x و y ثابت شده‌اند. بردار نیروی خالص وارد بر بار $q_C = 1\mu\text{C}$ را برحسب بردارهای یک‌ه بنویسید.



- (۱) $\vec{F} = -3\vec{i} + 3\vec{j}$ (۲) $\vec{F} = 3\vec{i} - 3\vec{j}$
(۳) $\vec{F} = -9\vec{i} + 9\vec{j}$ (۴) $\vec{F} = 9\vec{i} - 9\vec{j}$

۱۵۲
ساده

بار الکتریکی ۸ میکروکولنی از فاصله‌ی r بر بار ۲ میکروکولنی نیروی F وارد می‌کند، بار ۲ میکروکولنی از چه فاصله‌ی بر بار ۸ میکروکولنی نیرویی به اندازه‌ی $2F$ را وارد می‌کند؟

- (۱) r (۲) $\sqrt{2}r$ (۳) $\frac{1}{2}r$ (۴) $\frac{\sqrt{2}}{2}r$

۱۵۳
ساده

دو کره‌ی فلزی مشابه دارای بارهای الکتریکی $q_1 = +5\mu\text{C}$ ، $q_2 = +15\mu\text{C}$ در فاصله‌ی r ، نیروی F ، بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو کره را در یک لحظه با یکدیگر تماس دهیم، به طوری که فقط بین دو کره مبادله‌ی بار صورت گیرد و مجدداً به همان فاصله‌ی قبلی برگردانیم، نیروی دافعه بین دو کره چگونه تغییر می‌کند؟

- (۱) ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. (۲) ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.
(۳) تقریباً ۳۳ درصد کاهش می‌یابد. (۴) تقریباً ۳۳ درصد افزایش می‌یابد.

۱۵۴
متوسط

دو بار الکتریکی نقطه‌ای برابر، در فاصله‌ی ثابتی از هم قرار دارند و به یکدیگر نیروی F وارد می‌کنند. اگر ۲۵ درصد از بار الکتریکی یکی کم کرده و همان مقدار بر بار دیگری اضافه کنیم، نیرویی که به هم وارد می‌کنند چند F می‌شود؟

- (۱) ۱ (۲) ۴ (۳) $\frac{15}{16}$ (۴) $\frac{16}{15}$

۱۵۵
متوسط

کتاب
درسی

۹۸
تجربی

کتاب
درسی

۹۷
پیشرفت
تحصیلی

۸۵
تجربی

۹۱
تجربی

۸۸
تجربی

۹۴
ریاضی

دو گلوله‌ی فلزی کوچک و مشابه که دارای بار الکتریکی می‌باشند، از فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متری، نیروی جاذبه‌ی ۴ نیوتن بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو گلوله را به هم تماس دهیم، بار الکتریکی هر کدام $۳ \mu\text{C}$ خواهد شد. بار اولیه‌ی گلوله‌ها بر حسب میکروکولن کدام است؟ $(k = ۹ \times ۱۰^۹ \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

$$-۲ \text{ و } ۸ \text{ (۴)}$$

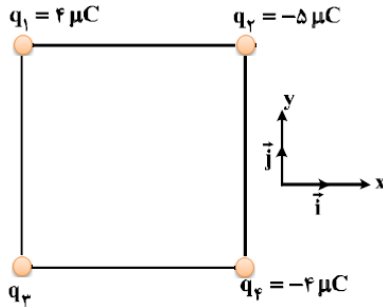
$$-۳ \text{ و } ۹ \text{ (۳)}$$

$$-۴ \text{ و } ۱۰ \text{ (۲)}$$

$$-۶ \text{ و } ۱۲ \text{ (۱)}$$

۱۵۶
متوسط۹۸
ریاضی

چهار ذره‌ی باردار مطابق شکل زیر در رئوس‌های یک مربع به ضلع ۲۰ cm قرار دارند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر q_2 در SI به صورت $\vec{F} = -۹\vec{i}$ باشد، q_3 چند میکروکولن است؟ $(k = ۹ \times ۱۰^۹ \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$



$$۸\sqrt{۲} \text{ (۱)}$$

$$-۴ \text{ (۲)}$$

$$۴ \text{ (۳)}$$

$$-۸\sqrt{۲} \text{ (۴)}$$

۱۵۷
متوسط۸۹
ریاضی

دو بار الکتریکی هم‌نام $q_1 = ۸ \mu\text{C}$ و q_2 در فاصله‌ی r ، نیروی F بر هم وارد می‌کنند. اگر ۲۵ درصد از بار q_1 را برداشته و به q_2 اضافه کنیم، بدون تغییر فاصله‌ی بارها، نیروی متقابل بین آن‌ها ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. مقدار اولیه‌ی q_2 چند میکروکولن است؟

$$۴ \text{ (۴)}$$

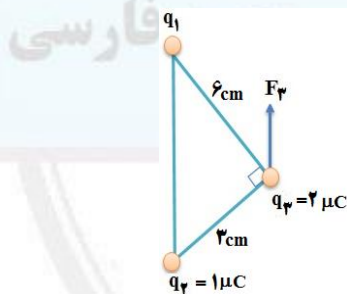
$$۳ \text{ (۳)}$$

$$۲ \text{ (۲)}$$

$$۱ \text{ (۱)}$$

۱۵۸
متوسط۹۶
تجربی

در شکل زیر، سه بار نقطه‌ای در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای ثابت شده‌اند. اگر F_3 برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_3 موازی خط واصل q_1 و q_2 باشد، F_3 چند نیوتن است؟ $(k = ۹ \times ۱۰^۹ \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$



$$۱۲\sqrt{۵} \text{ (۲)}$$

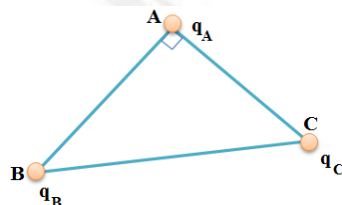
$$۲۰\sqrt{۵} \text{ (۴)}$$

$$۸\sqrt{۵} \text{ (۱)}$$

$$۱۶\sqrt{۵} \text{ (۳)}$$

۱۵۹
متوسط۸۷
تجربی

در شکل روبه‌رو مثلث متساوی الساقین قائم‌الزاویه است و بارهای q_A ، q_B و q_C به ترتیب q ، q و $-\sqrt{۳}q$ است. زاویه‌ای که برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_A با امتداد پاره‌خط BA می‌سازد، چند درجه است؟



$$۳۰ \text{ (۱)}$$

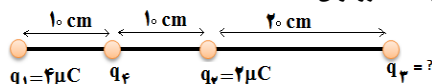
$$۴۵ \text{ (۲)}$$

$$۶۰ \text{ (۴)}$$

$$۵۳ \text{ (۳)}$$

۱۶۰
متوسط۹۱
ریاضی

در شکل زیر، برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_4 برابر صفر است. بار q_3 چند میکروکولن است؟



$$۸ \text{ (۲)}$$

$$-۱۸ \text{ (۴)}$$

$$۱۸ \text{ (۱)}$$

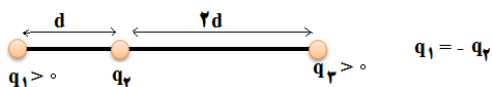
$$-۸ \text{ (۳)}$$

۱۶۱
متوسط

۹۵

تجربی
خارج از
کشور

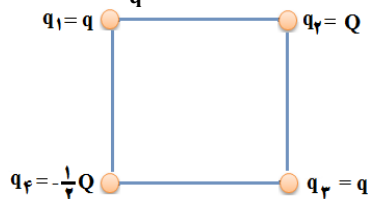
سه بار نقطه‌ای مطابق شکل زیر ثابت شده‌اند. اگر برای نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_1 هم اندازه‌ی برای نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_3 باشد، کدام است؟



- ۱) $\frac{8}{13}$
۲) $\frac{13}{8}$
۳) $\frac{13}{72}$
۴) $\frac{72}{13}$

۱۶۲
متوسط۹۶
ریاضی

چهار ذره‌ی باردار در راس‌های یک مربع قرار دارند. برای نیروهای الکتریکی وارد بر ذره‌ی باردار q_2 صفر است. کدام است $\frac{Q}{q}$ ؟



- ۱) $2\sqrt{2}$
۲) $4\sqrt{2}$
۳) $-2\sqrt{2}$
۴) $-4\sqrt{2}$

۱۶۳
متوسط

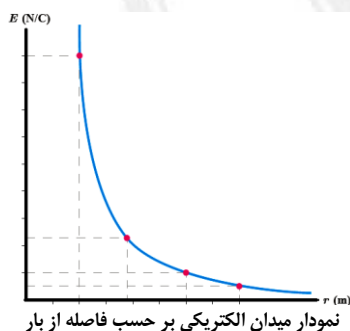
میدان الکتریکی

دو بار الکتریکی که در تماس با هم نیستند، چگونه می‌توانند بر یکدیگر نیرو وارد کنند؟ چطور ممکن است چنین کنش از راه دوری وجود داشته باشد، بی آنکه بارها هیچ تماسی با یکدیگر نداشته باشند؟ در فیزیک پاسخ این پرسش این گونه است که هر بار الکتریکی فاصیته‌ی در فضای پیرامون خود ایجاد می‌کند که به آن اصطلاحاً **میدان الکتریکی** (یا الکتریکی گویند). هر بار الکتریکی به وسیله میدان الکتریکی خودش بر بار دیگر نیرو وارد می‌کند.

میدان الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف یک جسم باردار الکتریکی به این صورت تعیین می‌شود: نخست بار کوچک و مثبت موسوم به **بار آزمون** q_0 را در آن نقطه قرار می‌دهیم و سپس نیروی الکتریکی \vec{F} وارد بر آن را اندازه می‌گیریم. آن‌گاه میدان الکتریکی \vec{E} ناشی از جسم باردار در آن نقطه به صورت زیر تعریف می‌شود:

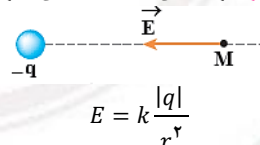
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

میدان الکتریکی کمیتی برداری است که اندازه‌ی آن برابر $E = \frac{F}{q_0}$ و جهت آن همان جهت نیروی وارد بر بار آزمون است. یکای آن نیوتن بر کولن (N/C) می‌باشد.



نمودار میدان الکتریکی بر حسب فاصله از بار

میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار (در نقطه‌ی M به فاصله‌ی r از آن):

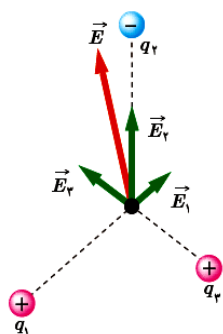


در این رابطه q بر حسب کولن، r بر حسب متر و میدان الکتریکی E بر حسب نیوتن بر کولن (N/C) است. طبق این رابطه میدان با اندازه‌ی بار q نسبت مستقیم و با مربع فاصله از آن (r^2) نسبت وارون دارد.

اصل برهم نهی میدان‌های الکتریکی:

این اصل نشان می‌دهد که میدان الکتریکی ناشی از چند بار الکتریکی در نقطه‌ای از فضا، برابر مجموع میدان‌هایی است که هر بار در نبود سایر بارها در آن نقطه از فضا ایجاد می‌کند. یعنی برای یافتن میدان الکتریکی خالص حاصل از چند ذره باردار در نقطه‌ای از فضا باید نخست میدان الکتریکی ناشی از هر ذره را در آن نقطه به دست آورد و سپس این میدان‌ها را به صورت برداری با یکدیگر جمع کرد:

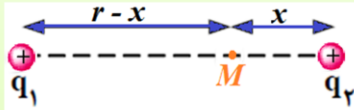
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$



گوش به انگ

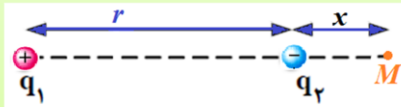
دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 ($q_1 > q_2$) در فاصله‌ی r از یکدیگر ثابت شده‌اند. در نقطه‌ای روی خطی که دو بار را به هم وصل می‌کند، برابری میدان‌های الکتریکی صفر می‌شود. (در شکل‌های زیر نقطه M)

حالت اول) دو بار q_1 و q_2 هر دو مثبت یا هر دو منفی باشند: بار q_2 بین دو بار دیگر و نزدیک به بار کوچکتر قرار می‌گیرد.



$$\frac{|q_1|}{(r-x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2} \quad q_2 = nq_1 \rightarrow x = \frac{r}{\sqrt{n} + 1}$$

حالت دوم) دو بار q_1 و q_2 یکی مثبت و یکی منفی باشند: بار q_2 خارج از خط وصل‌کننده دو بار و نزدیک به بار کوچکتر قرار می‌گیرد.



$$\frac{|q_1|}{r^2} = \frac{|q_2|}{(r+x)^2} \quad q_2 = nq_1 \rightarrow x = \frac{r}{\sqrt{n} - 1}$$

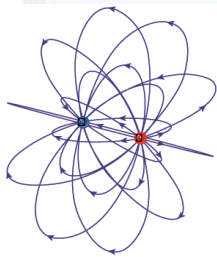
خطوط میدان الکتریکی

پیش از این دیدیم بارهای الکتریکی در فضای پیرامون خود میدان الکتریکی ایجاد می‌کنند. برای مجسم کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام دارای بار، از خط‌های جهت‌داری موسوم به خطوط میدان الکتریکی استفاده می‌کنیم.

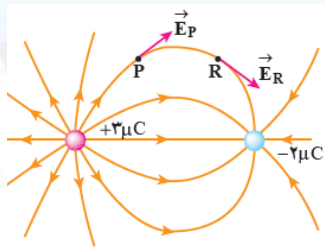
خط‌های میدان در هر نقطه، هم‌جهت با نیروی وارد بر بار آزمون (مثبت) واقع در آن نقطه‌اند. در نتیجه، جهت این خط‌ها برای بار مثبت (رو به خارج) و برای بار منفی (رو به داخل) است.

قاعده‌های رسم خطوط میدان الکتریکی عبارت‌اند از:

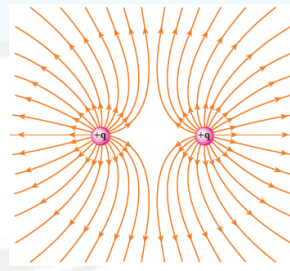
- ۱- در هر نقطه، بردار میدان الکتریکی باید مماس بر خط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد.
 - ۲- میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان‌دهنده اندازه میدان در آن ناحیه است؛ هرچا خطوط میدان متراکم‌تر باشد، اندازه میدان بیشتر است.
 - ۳- در آرایشی از بارها خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند.
 - ۴- خطوط میدان برابند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند یعنی از هر نقطه فضا فقط یک خط میدان الکتریکی می‌گذرد.
- تجسم واقعی خطوط میدان، در فضاست، و بنابراین طرحی سه بعدی دارد. (مانند شکل ت)



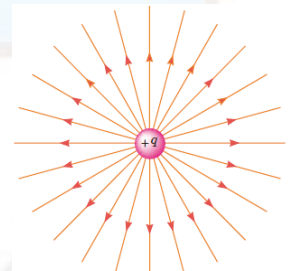
ت) نمایش سه بعدی خطوط میدان الکتریکی دوقطبی



ب) بار مثبت بزرگتر از بار منفی



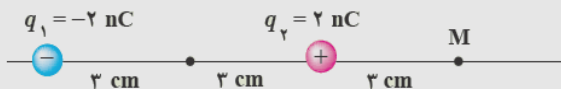
ب) خطوط میدان الکتریکی دو بار هم‌اندازه و هم‌نام



الف) خطوط میدان الکتریکی اطراف بار مثبت

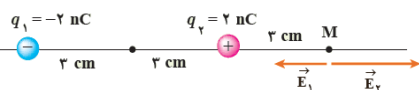
مثال شکل زیر، آرایشی از دو بار الکتریکی هم‌اندازه و غیرهمنام (دوقطبی الکتریکی) را نشان می‌دهد که در آن فاصله دو بار از هم ۶ cm است. میدان الکتریکی خالص در نقطه M چند نیوتون بر کولن است؟

کتاب درسی



$$\begin{array}{ll} (1) \quad \frac{20}{9} \times 10^{-4} & (2) \quad \frac{16}{9} \times 10^{-4} \\ (3) \quad \frac{24}{9} \times 10^{-1} & (4) \quad \frac{28}{9} \times 10^{-1} \end{array}$$

پاسخ گزینه ۲:

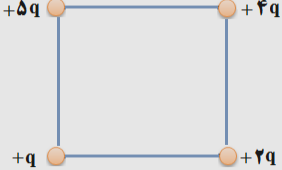
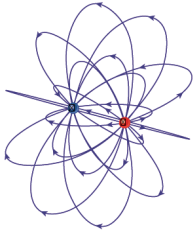
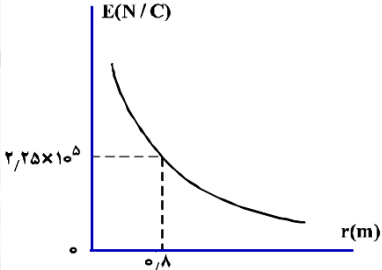
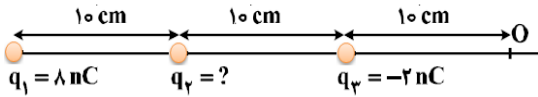


$$E_1 = k \frac{q_1}{r_1^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-9}}{9 \times 10^{-4}} = 2 \times 10^4 \frac{N}{C}$$

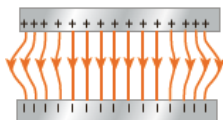
$$E_2 = k \frac{q_2}{r_2^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-9}}{9 \times 10^{-4}} = 2 \times 10^4 \frac{N}{C}$$

با توجه به شکل و اندازه‌ی E_1 و E_2 ، میدان الکتریکی خالص در جهت میدان E_2 خواهد بود و برابر است با:

$$E = E_2 - E_1 = 2 \times 10^4 - \frac{2}{9} \times 10^4 = \left(2 - \frac{2}{9}\right) \times 10^4 = \frac{16}{9} \times 10^4 \frac{N}{C}$$

۸۵ ریاضی	<p>مثال</p> <p>اگر در یک راس مربعی بار q قرار گیرد، میدان الکتریکی حاصل از آن در مرکز مربع E است. حال اگر در چهار راس همان مربع بارهای الکتریکی مطابق شکل قرار گیرند، اندازه‌ی میدان الکتریکی در مرکز آن چند E می‌شود؟</p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $\sqrt{2} \quad (1)$ $\frac{2}{\sqrt{2}} \quad (3)$ </div> <div style="text-align: center;"> $2\sqrt{2} \quad (2)$ $3\sqrt{2} \quad (4)$ </div> </div>	
	<p>پاسخ گزینه ۴:</p> <p>با توجه به رابطه‌ی بزرگی میدان اطراف بار نقطه‌ای، بزرگی میدان با q متناسب است. جهت و بزرگی میدان‌های الکتریکی حاصل از بارها در مرکز مربع مطابق شکل می‌باشد. در راستای هر قطر برآیند میدان‌ها را محاسبه می‌کنیم. اندازه هر یک برابر $3E$ می‌شود. بنابراین برآیند میدان‌ها در مرکز مربع عبارت است از:</p> $E_T = \sqrt{(3E)^2 + (3E)^2} = \sqrt{3^2(E^2 + E^2)} = 3\sqrt{2}E$	
کتاب درسی	 <p>کدام یک از عبارت‌های زیر که مربوط به شکل زیر است، نادرست می‌باشد؟</p> <ol style="list-style-type: none"> ۱) چگونگی تراکم خطوط میدان اطراف دوبار نقطه‌ای غیرهمنام ۲) خطوط میدان یکنواخت در اطراف دو ذره‌ی مشابه با بار غیرهمنام ۳) نمایش سه بعدی خطوط میدان برای یک دوقطبی الکتریکی ۴) جهت خطوط میدان و جهت میدان در هر نقطه یکسان است. 	۱۶۴ ساده
۹۸ تجربی خارج از کشور	<p>نمودار تغییرات میدان الکتریکی حاصل از بار الکتریکی q برحسب فاصله از آن به صورت شکل زیر است. اگر بار الکتریکی $q = 9 \mu C$ را در فاصله‌ی ۹۰ سانتی‌متری از بار q قرار دهیم، نیرویی که دو ذره باردار بر یکدیگر وارد می‌کنند، چند نیوتون است؟</p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $0.16 \quad (1)$ $0.32 \quad (2)$ $1/6 \quad (3)$ $3/2 \quad (4)$ </div> </div>	۱۶۵ متوسط
۹۸ ریاضی	<p>سه بار نقطه‌ای مطابق شکل زیر ثابت شده‌اند. میدان الکتریکی برآیند حاصل از سه بار در نقطه O برابر $10 \times \frac{N}{C}$ است. بار q_2 چند نانو کولن می‌تواند باشد؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$)</p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $+4 \quad (1)$ $+2 \quad (2)$ $-2 \quad (3)$ $-4 \quad (4)$ </div> </div>	۱۶۶ متوسط
۹۴ تجربی	<p>دو بار نقطه‌ای q_1 و $q_2 = 4q_1$ در فاصله‌ی r از هم واقع‌اند. میدان الکتریکی ناشی از دو بار در فاصله‌ی d_1 از بار q_1 برابر صفر است. اگر فاصله‌ی دو بار از هم $2r$ برابر شود، میدان الکتریکی برآیند در فاصله‌ی d_2 از بار q_2 برابر صفر است. d_2 چند برابر d_1 است؟</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $\frac{4}{3} \quad (1)$ $\frac{2}{3} \quad (2)$ $2 \quad (3)$ $4 \quad (4)$ </div> </div>	۱۶۷ متوسط
۹۴ تجربی خارج از کشور	<p>بارهای الکتریکی نقطه‌ای $4 \mu C$ و $-8 \mu C$ روی محور x به ترتیب در مکان‌های $x = 6 \text{ cm}$ و $x = 12 \text{ cm}$ قرار دارند. بار نقطه‌ای چند میکروکولن را باید در مکان $x = 18 \text{ cm}$ قرار داد تا میدان الکتریکی در مبدا محور x برابر صفر شود؟</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $-54 \quad (1)$ $-18 \quad (2)$ $18 \quad (3)$ $54 \quad (4)$ </div> </div>	۱۶۸ دشوار

میدان الکتریکی یکنواخت



اگر خطوط میدان الکتریکی بین دو صفحه‌ی موازی باردار را در نظر بگیریم، خطوط این میدان، در فضای بین دو صفحه و دور از لبه‌های صفحات، مستقیم، موازی و هم فاصله‌اند؛ یعنی بردار میدان در تمام نقاط بین دو صفحه هم اندازه و هم جهت است. به چنین میدانی، **میدان الکتریکی یکنواخت** گفته می‌شود.

نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان الکتریکی

اگر بار الکتریکی q در میدان الکتریکی \vec{E} ناشی از اجسام باردار دیگری قرار گیرد، این میدان بر آن نیروی \vec{F} وارد می‌کند.

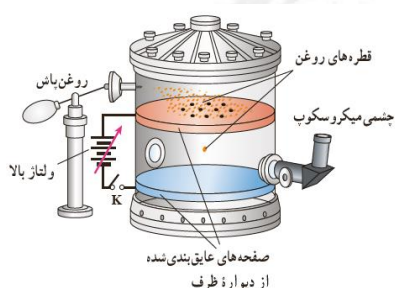
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

بزرگی نیرو از رابطه‌ی $F = |q|E$ به دست می‌آید. اگر بار q مثبت باشد نیرو هم‌جهت با میدان است و اگر بار منفی باشد جهت نیرو در خلاف جهت میدان است.

زنبورهای عسل و گرده افشانی گل‌ها:

تولیدمثل برخی از گل‌ها به زنبورهای عسل وابسته است. زنبورهای عسل معمولاً در حین پرواز دارای بار مثبت می‌شوند. گرده‌ها به واسطه‌ی میدان الکتریکی، از یک گل به زنبور و از زنبور به گل دیگر منتقل می‌شوند.

آزمایش قطره روغن میلیکان



این آزمایش برای نشان دادن این موضوع است که بار الکتریکی با هر مقداری ظاهر نمی‌شود؛ بلکه همواره مضرب درستی از بار بنیادی e است.

میلیکان بین دو ورقه‌ی فلزی موازی و افقی میدان الکتریکی قائم یکنواخت را توسط یک منبع ولتاژ بالا ایجاد کرد (که می‌توانست آن را قطع و وصل کند). او در مرکز ورقه‌ی بالایی چندین روزنه‌ی کوچک ایجاد کرده بود که از طریق آنها قطره‌های روغن حاصل از یک روغن پاش به ناحیه‌ی بین دو ورقه می‌پاشید. بیشتر این قطره‌ها در اثر مالش با دهانه‌ی خروجی روغن پاش، باردار می‌شدند. میلیکان با تغییر دادن میدان الکتریکی بین صفحات به حرکت قطره‌های روغن در این فضا توجه کرد و با تحلیل این حرکت و با در نظر گرفتن مقاومت هوا، نیروی الکتریکی وارد بر هر قطره را محاسبه کرد و از آنجا بار الکتریکی هر قطره را تعیین کرد.

کاربرد دیگر میدان الکتریکی رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی می‌باشد.

مثال	در یک میدان الکتریکی یکنواخت، به بار الکتریکی $q = 2 \mu\text{C}$ نیروی الکتریکی $\vec{F} = 10/8 \text{ N}\vec{i} - 14/4 \text{ N}\vec{j}$ وارد می‌شود. بزرگی میدان الکتریکی چند نیوتن بر کولن است؟			
	(۱) 36×10^{-6}	(۲) 18×10^{-6}	(۳) 9×10^{-6}	(۴) $4/5 \times 10^{-6}$
پاسخ گزینه ۳:				
$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{10/8 \vec{i} - 14/4 \vec{j}}{2 \times 10^{-6}} = (5/4 \vec{i} - 7/2 \vec{j}) \times 10^{-6} = (6\vec{i} - 8\vec{j}) \times 0/9 \times 10^{-6}$ $\vec{E} = (6\vec{i} - 8\vec{j}) \times 0/9 \times 10^{-6} \rightarrow E = \sqrt{(6)^2 + (8)^2} \times 0/9 \times 10^{-6} = 10 \times 0/9 \times 10^{-6} = 9 \times 10^{-6} \text{ N/C}$				

مثال	در آزمایش (قطره روغن یا میلیکان) میلیکان وضعیتی را در نظر بگیرید که قطره روغن در فضای بین دو صفحه معلق باشد. اگر جرم این قطره روغن $8 \times 10^{-15} \text{ kg}$ و میدان الکتریکی دارای بزرگی 10^5 N/C و رو به پایین باشد، تعداد الکترون‌هایی که قطره جذب کرده یا از دست داده است، چقدر است؟ ($g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$)	
	(۱) 5×10^5	(۲) 500
کتاب درسی	(۳) 50	(۴) 5
	پاسخ گزینه ۴:	

نیروی الکتریکی



چون قطره روغن در میدان الکتریکی معلق است و وزن همواره رو به پایین اثر می‌کند، بنابراین، نیروی الکتریکی باید مطابق شکل رو به بالا بر قطره روغن اثر کند. چون جهت نیروی الکتریکی رو به بالا و جهت میدان الکتریکی رو به پایین است، نتیجه می‌گیریم که بار قطره روغن باید منفی باشد؛ یعنی باید قطره روغن الکترون به دست آورده باشد:

$$|q|E = mg \rightarrow |q| = \frac{mg}{E} = \frac{8 \times 10^{-15} \times 10}{10^5} = 8 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$q = \pm ne \rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{8 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = 5$$

روی سطح بادکنکی به جرم 10^{-4} g بار الکتریکی 200 nC ایجاد می‌کنیم و آن را در یک میدان الکتریکی قرار می‌دهیم. بزرگی و جهت این میدان الکتریکی را در صورتی که بادکنک معلق بماند، کدام گزینه است؟ (از نیروی شناوری وارد به بادکنک چشم‌پوشی کنید و $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$)

کتاب
درسی

- ۱۶۹ ساده
- (۱) $5 \times 10^5 \text{ N/C}$ ، رو به بالا
(۲) $5 \times 10^5 \text{ N/C}$ ، رو به پایین
(۳) $2 \times 10^6 \text{ N/C}$ ، رو به بالا
(۴) $2 \times 10^6 \text{ N/C}$ ، رو به پایین

انرژی پتانسیل الکتریکی

هنگامی که یک ذره‌ی باردار با بار مثبت را در اطراف ذره‌ی باردار دیگری که بار مثبت دارد رها کنیم از آن رانده و دارای انرژی جنبشی می‌شود. طبق قانون پایستگی انرژی، انرژی جنبشی نمی‌تواند خود به خود به وجود آمده باشد. این انرژی، ناشی از تغییر (در اینجا کاهش) انرژی پتانسیلی است که به نیروی الکتریکی بین دو ذره وابسته است و به آن انرژی پتانسیل الکتریکی می‌گوییم.

کار نیروی الکتریکی وارد بر یک ذره باردار در میدان الکتریکی یکنواخت \vec{E} در یک جابه‌جایی مشخص برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی در همان جابه‌جایی است:

$$\Delta U_E = -W_E$$

تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک بار ذره‌ای در میدان الکتریکی یکنواخت:

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

θ زاویه‌ی بین نیرو (\vec{F}_E) و جابه‌جایی (\vec{d}) است.

$W_E = F_E d \cos \theta$	(ت) بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود: کار میدان الکتریکی روی بار مثبت و انرژی پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد	(ب) بار منفی در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود: کار میدان الکتریکی روی بار منفی و انرژی پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد	(ب) بار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود: کار میدان الکتریکی روی بار منفی و انرژی پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.	(الف) بار مثبت در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود: کار میدان الکتریکی روی بار مثبت و انرژی پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد.

پتانسیل الکتریکی

تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک ذره باردار به بار الکتریکی آن بستگی دارد؛ مثلاً با دو برابر شدن بار ذره، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی آن نیز دو برابر می‌شود. بنابراین، نسبت تغییر انرژی پتانسیل به بار ذره، مستقل از نوع و اندازه بار الکتریکی است. به این نسبت، **افتلاف پتانسیل الکتریکی** دوتقطه‌ای می‌گوییم که ذره میان آنها جابه‌جا شده است:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\Delta U_E}{q}$$

در این رابطه V کمیتی نرده‌ای موسوم به پتانسیل الکتریکی است که مقدار آن در نقطه‌های ۱ و ۲ به ترتیب V_1 و V_2 است. در این رابطه، اختلاف پتانسیل الکتریکی (ΔV) برحسب ژول بر کولن (J/C) است که آن را به افتخار الساندرو ولتا، ولت می‌نامند و با نماد V نمایش می‌دهند.

این رابطه برای میدان‌های الکتریکی غیر یکنواخت نیز برقرار است. در تشابه با انرژی پتانسیل گرانشی، در اینجا نیز می‌توانیم برای انرژی پتانسیل الکتریکی، مرجعی اختیار کنیم که در آن انرژی پتانسیل الکتریکی ذره و پتانسیل الکتریکی صفر باشد. بنابراین، پتانسیل الکتریکی در هر نقطه از میدان با رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

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

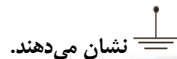
پتانسیل یک کمیت نرده‌ای است و برحسب یکای ولت (V) اندازه‌گیری می‌شود.

باتری‌ها ولتاژهای متفاوتی دارند؛ مثلاً باتری خودروهای سواری معمولاً ۱۲ ولتی و باتری کامیون‌ها ۲۴ ولتی یا بیشترند. هر باتری دو پایانه دارد که یکی با مثبت و دیگری با منفی نشان داده می‌شود. بنا به قرارداد، اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر باتری برابر با پتانسیل پایانه مثبت منهای پتانسیل پایانه منفی است. اگر پتانسیل پایانه منفی را با V_- و پتانسیل پایانه مثبت را با V_+ نشان دهیم، داریم:

$$\Delta V = V_+ - V_-$$

بنابراین، وقتی می‌گوئیم باتری خودرو ۱۲ ولت است، یعنی پتانسیل پایانه مثبت به اندازه ۱۲ ولت از پتانسیل پایانه منفی آن بیشتر است.

معمولاً (به خصوص در مهندسی برق) پتانسیل زمین یا نقطه‌ای از مدار را برابر صفر می‌گیرند و به آن نقطه، اصطلاحاً نقطه زمین می‌گویند و پتانسیل نقطه‌های دیگر را نسبت به آن می‌سنجند. نقطه زمین را در مدارهای الکتریکی با نماد



نشان می‌دهند.

گوش به زنگ

۱- در یک میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در سوی خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و بالعکس با حرکت در خلاف جهت خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.

۲- در میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی تغییر نمی‌کند.

۳- در مدارهای الکتریکی، پتانسیل زمین را برابر صفر در نظر می‌گیرند.

رابطه اختلاف پتانسیل دو نقطه و اندازه میدان الکتریکی یکنواخت:

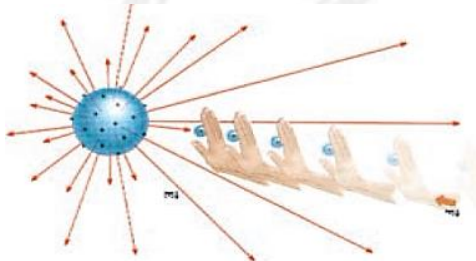
اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه از میدان الکتریکی، مستقل از نوع و اندازه‌ی بار جابه‌جا شده بین دو نقطه است. با حرکت در جهت میدان الکتریکی یکنواخت (یا در خلاف جهت میدان الکتریکی) داریم:

$$\Delta V = \pm E d$$

(-) برای حرکت در جهت میدان و (+) برای حرکت در خلاف جهت میدان الکتریکی است.

کار انجام شده توسط نیروی خارجی:

اگر با نیروی خارجی یک ذره‌ی باردار مثبت را در خلاف جهت خطوط میدان جابه‌جا کنیم و فرض کنیم که تند (v) ذره در ابتدا و انتهای جابه‌جایی یکسان است ($\Delta K = 0$).

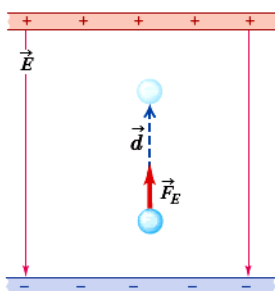


$$W_{\text{خارجی}} = -W_E = q \Delta V$$

حسین صمدیه - علی مهربان

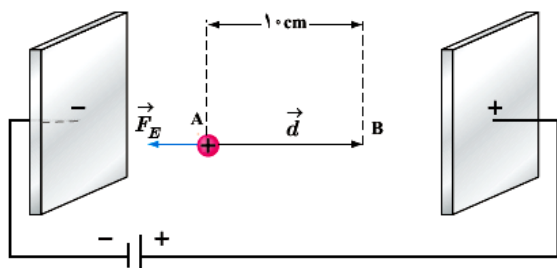
مثال	درون یک میدان الکتریکی یکنواخت، بار الکتریکی $q = +2 \mu\text{C}$ از نقطه‌ی A تا نقطه‌ی B جابه‌جا می‌شود. اگر کار نیروی الکتریکی در این انتقال، برابر $5 \times 10^{-5} \text{ J}$ باشد، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q چند ژول است و $V_B - V_A$ برابر با چند ولت است؟
۹۶ ریاضی	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>(۱) 5×10^{-5} و -25</div> <div>(۲) -5×10^{-5} و $+25$</div> <div>(۳) 5×10^{-5} و -25</div> <div>(۴) 5×10^{-5} و $+25$</div> </div>
پاسخ گزینه ۱:	
$\Delta U = -W_E = -5 \times 10^{-5} \text{ J}$ $V_B - V_A = \Delta V = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-5 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-6}} = -25 \text{ V}$	

مطابق شکل ذره‌ی باردار q را در یک میدان الکتریکی رها کرده‌ایم. ذره تحت تاثیر میدان در خلاف جهت خطهای میدان شتاب می‌گیرد. اگر کاری که میدان بر روی ذره انجام می‌دهد، W_E و تغییرات انرژی جنبشی ذره ΔK و تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی ذره ΔU_E باشد، کدام گزینه درست است؟



- (۱) $\Delta U_E > 0, \Delta K < 0, q < 0$
- (۲) $\Delta U_E < 0, W_E > 0, q < 0$
- (۳) $\Delta U_E < 0, \Delta K > 0, q > 0$
- (۴) $\Delta U_E > 0, W_E < 0, q > 0$

در یک میدان الکتریکی یکنواخت $E = 2/0 \times 10^3 \text{ N/C}$ پروتونی از نقطه A با تندی \vec{v} در خلاف جهت خطوط میدان پرتاب شده است. پروتون سرانجام در نقطه B متوقف می شود. تندی پرتاب پروتون چند متر بر ثانیه است (از وزن پروتون و مقاومت هوا چشم پوشی شود و بار پروتون $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و جرم آن $m_p = 1/6 \times 10^{-27} \text{ kg}$ است)؟

کتاب
درسی

- (۱) $12/8 \times 10^5$ (۲) 4×10^5
(۳) 8×10^5 (۴) 2×10^5

۱۷۱
ساده

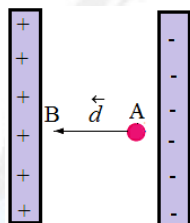
ذره ای با بار $q = 10 \mu\text{C}$ را از نقطه A به نقطه B با پتانسیل الکتریکی 55 V منتقل می کنیم. اگر انرژی پتانسیل ذره $40 \mu\text{J}$ کاهش یابد، پتانسیل الکتریکی نقطه A چند ولت است؟

۹۷
پیشرفت
تحصیلی

- (۱) ۵۹ (۲) ۵۱ (۳) ۵۵ (۴) ۴

۱۷۲
ساده

در شکل مقابل یک ذره با بار منفی در یک میدان یکنواخت از نقطه A تا B جابه جا می شود. در مقایسه پتانسیل الکتریکی و انرژی پتانسیل الکتریکی دو نقطه A و B در این انتقال کدام گزینه درست است؟

۹۷
پیشرفت
تحصیلی

- (۱) $U_B < U_A$, $V_B < V_A$
(۲) $U_B < U_A$, $V_B > V_A$
(۳) $U_B < U_A$, $V_B = V_A$
(۴) $U_B > U_A$, $V_B > V_A$

۱۷۳
ساده

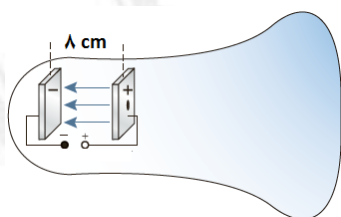
بار الکتریکی -5 میلی کولنی، از نقطه A به پتانسیل الکتریکی 2 ولت به نقطه B منتقل می شود. اگر در این جابه جایی کار نیروی میدان الکتریکی 5 میلی ژول باشد، پتانسیل نقطه B چند ولت است؟

۹۰
تجربی

- (۱) ۱ (۲) ۳ (۳) ۱۰ (۴) ۳۰

۱۷۴
ساده

در شکل زیر یک لامپ پرتو- کاتدی نشان داده شده است. اگر صفحه ها در فاصله 8 cm از یکدیگر قرار داشته باشند و اختلاف پتانسیل بین صفحه ها 200 V باشد. میدان الکتریکی بین آن ها، چقدر است؟

کتاب
درسی

- (۱) $25 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ (۲) $40 \frac{\text{N}}{\text{C}}$
(۳) $2500 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ (۴) $4000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$

۱۷۵
ساده

بین دو صفحه موازی که به فاصله 2 cm از هم قرار دارند، اختلاف پتانسیل الکتریکی 500 ولت ایجاد کرده ایم. اگر یک ذره α بین این دو صفحه قرار گیرد، نیروی الکتریکی وارد بر آن چند نیوتن خواهد شد؟ (ذره α از جنس هسته اتم هلیوم است و $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

۹۵
ریاضی

- (۱) 8×10^{-13} (۲) 8×10^{-15} (۳) 4×10^{-13} (۴) 4×10^{-15}

۱۷۶
ساده

بار الکتریکی $q = -2 \mu\text{C}$ از نقطه ای با پتانسیل الکتریکی $V_1 = -40 \text{ V}$ تا نقطه ای با پتانسیل الکتریکی $V_2 = -10 \text{ V}$ جابه جا می شود. انرژی پتانسیل بار چند ژول و چگونه تغییر می کند؟

۸۷
ریاضی

- (۱) 10^{-4} J کاهش می یابد. (۲) 10^{-4} J کاهش می یابد.
(۳) $6 \times 10^{-5} \text{ J}$ افزایش می یابد. (۴) $6 \times 10^{-5} \text{ J}$ کاهش می یابد.

۱۷۷
ساده

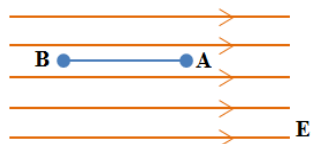
اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه 500 ولت است. با صرف چند ژول انرژی، بار الکتریکی $8/0$ میکروکولنی بین این دو نقطه جاری می شود؟

۸۶
ریاضی

- (۱) 4×10^{-3} (۲) 8×10^{-3} (۳) 4×10^{-4} (۴) 8×10^{-4}

۱۷۸
ساده

بار الکتریکی $q = -4\mu\text{C}$ مطابق شکل در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ رها می‌شود. در جابه‌جایی بار q از A تا B انرژی جنبشی بار، ۸ میلی ژول افزایش می‌یابد. $V_B - V_A$ چند کیلو ولت است؟

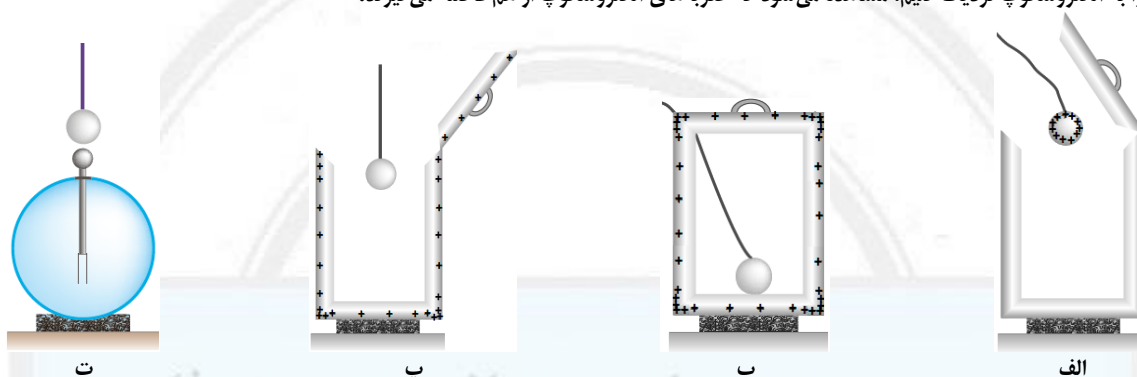


- (۱) ۲
(۲) -۲
(۳) ۲۰۰
(۴) -۲۰۰

۱۷۹
متوسط

میدان الکتریکی در داخل رساناها

ظرف رسانایی با درپوش فلزی را در نظر بگیرید که روی پایه نارسنایی قرار دارد و روی درپوش آن دسته ای عایق نصب شده است. ابتدا ظرف بدون بار است. یک گوی فلزی را که از نخ عایقی آویزان است باردار و سپس وارد ظرف می‌کنیم (شکل الف). اکنون گوی را با کف ظرف تماس می‌دهیم و سپس درپوش فلزی را می‌بندیم (شکل ب). آن گاه درپوش فلزی را با دسته عایقش برمی‌داریم (شکل پ). پس از خارج کردن گوی فلزی از ظرف، آن را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود عقربه الکتروسکوپ تکان نمی‌خورد (شکل ت). همچنین اگر ظرف را به الکتروسکوپ نزدیک کنیم، مشاهده می‌شود که عقربه‌های الکتروسکوپ از هم فاصله می‌گیرند.

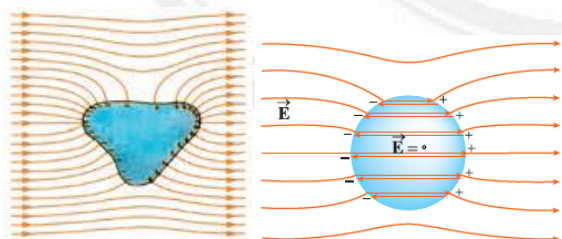


از این آزمایش نتیجه می‌گیریم که بار اضافی داده شده به یک رسانا روی سطح خارجی آن به گونه‌ای توزیع می‌شود که در نقاط نوک تیز بار الکتریکی بیشتری قرار می‌گیرد.

توزیع و القای بار در رساناها

جسم رسانایی را در نظر بگیرید که توسط عایقی از محیط اطراف خود جدا شده است (به این رسانا اصطلاحاً **رسانای منزوی** گفته می‌شود). بررسی‌های دقیق نشان می‌دهند پس از مدت زمان کوتاهی از دادن بار به رسانا بار در سطح خارجی رسانا توزیع می‌شود و نحوه توزیع بار در رسانا به گونه‌ای است که میدان الکتریکی در داخل رسانا صفر شود.

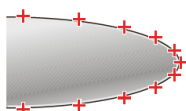
رسانای باردار:



رسانای منزوی و خنثی در میدان الکتریکی: اگر یک رسانای خنثی منزوی در یک میدان الکتریکی خارجی قرار داده شود الکترون‌های آزاد رسانا طوری روی سطح خارجی آن توزیع می‌شوند (القا می‌شوند) که اثر میدان خارجی را درون رسانا خنثی کنند و میدان خالص درون رسانا صفر می‌شود.

چون میدان در درون رسانایی که در تعادل الکتروستاتیکی است، صفر می‌باشد و میدان روی سطح رسانا عمود بر این سطح است، کار نیروی الکتریکی در هر جابجایی بار در داخل و روی سطح رسانا صفر است و در نتیجه همه نقاط داخل و روی سطح این رسانا پتانسیل یکسانی دارند.

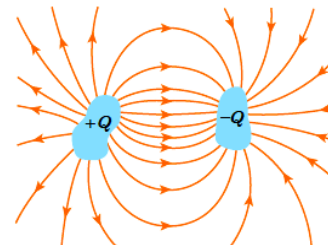
$$\Delta U = -W_E = 0 \rightarrow \Delta V = \frac{\Delta U}{q} = 0$$



تراکم بار و چگالی سطحی بار در نقاط تیز سطح جسم رسانای باردار از نقاط دیگر آن بیشتر است همچنین خطوط میدان الکتریکی در نقاط نوک تیز چنین رسانایی متراکم تر و در نتیجه میدان الکتریکی در نزدیکی این نقاط، قوی تر است.

خازن

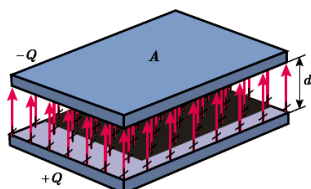
خازن وسیله ای الکتریکی است که می تواند بار الکتریکی و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند. مثلاً باتری های یک دوربین با باردار کردن یک خازن، انرژی را در خازن فلاش دوربین ذخیره می کنند. باتری ها معمولاً می توانند انرژی را فقط با آهنگ نسبتاً کمی به مدار بدهند که این آهنگ برای گسیل نور از فلاش دوربین بسیار کم است، اما وقتی خازن باردار می شود، می تواند انرژی را با آهنگ بسیار زیادی برای فلاش زدن آماده کند.



دو رسانا که به طور الکتریکی از یکدیگر و محیط اطراف خود منزوی شده اند، تشکیل یک خازن را می دهند. شکل، اجزای اصلی یک خازن معمولی را نشان می دهد که شامل دو رسانا با هر شکلی است. این رساناها را صفحه های خازن می نامیم.

خازن تخت: شامل دو صفحه ی رسانای باردار موازی با مساحت A است که در فاصله ی d (که در برابر ابعاد صفحه ها ناچیز است) از هم قرار گرفته اند.

گرچه نمادی که برای نشان دادن یک خازن به کار می بریم ($||$) مبتنی بر شکل یک خازن تخت است، ولی از آن برای نشان دادن خازن ها با هر شکلی استفاده می شود.



نسبت بار خازن به اختلاف پتانسیل بین صفحه های خازن مقدار ثابتی است که به آن **ظرفیت فازن** می گویند و آن را با C نشان می دهند. **ظرفیت فازن به اندازه ی بار فازن و نیز اختلاف پتانسیل دو صفحه ی آن بستگی ندارد.**

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

یکای بار الکتریکی کولن (C)، یکای اختلاف پتانسیل، ولت (V) و بنابراین یکای ظرفیت برابر کولن بر ولت (C/V) است که فاراد (F) نامیده می شود.

خازن با دی الکتریک

اگر فضای میان صفحه های یک خازن را با ماده ای عایق (مانند کاغذ یا پلاستیک) که به آن **دی الکتریک** گفته می شود پُر کنیم، ظرفیت افزایش می یابد.

$$C = \kappa C_0$$

κ ثابت دی الکتریک ماده ی عایق می باشد. C_0 ظرفیت خازن بدون دی الکتریک است.

دی الکتریک غیرقطبی

دی الکتریک قطبی

وقتی یک دی الکتریک قطبی (مانند آب و ...) در میدان الکتریکی بین دو صفحه ی خازن قرار می گیرد، سر منفی مولکول های دوقطبی به طرف صفحه ی مثبت و سر مثبت آن ها به طرف صفحه ی منفی کشیده می شود و در نتیجه این مولکول های دوقطبی می کوشند خود را در جهت میدان الکتریکی بین دو صفحه ی خازن هم ردیف کنند. وقتی یک دی الکتریک غیرقطبی (مانند متان، بنزن و ...) در میدان بین دو صفحه ی خازن قرار می گیرد بر اثر القا قطبیده می شود؛ یعنی میدان الکتریکی اعمال شده باعث می شود که ابرالکترونی مولکول های دی الکتریک در خلاف جهت میدان جابه جا شود و به این ترتیب، مرکز بارهای مثبت و منفی مولکول ها از هم جدا شده و اصطلاحاً مولکول ها **قطبیده** شوند.

رابطه ظرفیت یک خازن تخت:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

و با وجود دی الکتریک داریم:

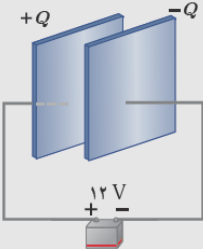
$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$$

در این رابطه ظرفیت خازن (C) برحسب فاراد (F)، مساحت صفحه ها (A) برحسب متر مربع، فاصله صفحه ها از هم (d) بر حسب متر و ثابت دی الکتریک (κ) بدون یکا می باشد.

فروریزش الکتریکی: اثر دیگر حضور دی الکتریک ها در خازن، افزایش حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن است. اما در هر حال برای هر دی الکتریکی، بیشینه ی میدان و در نتیجه اختلاف پتانسیلی وجود دارد که اگر اختلاف پتانسیل دو صفحه یک خازن را از آن بیشتر کنیم، تعدادی از الکترون های اتم های ماده دی الکتریک، توسط میدان الکتریکی ایجاد شده بین دو صفحه، کنده می شوند و مسیرهایی رسانا درون دی الکتریک ایجاد می شود که سبب تخلیه خازن می گردد. از آن به بعد دی الکتریک اصطلاحاً **دستخوش فروریزش الکتریکی** می شود و به آن اختلاف پتانسیل بیشینه، **پتانسیل فروریزش** می گویند. مقدار بیشینه ی میدان الکتریکی ای که دی الکتریک می تواند بدون فروریزش تحمل کند را **قدرت (استقامت) دی الکتریک** می نامند.

مثال	ظرفیت یک خازن تخت با فاصله صفحات $4/4 \text{ mm}$ که بین صفحه های آن هوا قرار دارد، برابر 1 F است. مساحت صفحه های این خازن چند متر مربع است؟ ($\epsilon_0 = 8/8 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$)	کتاب درسی
	$(1) 2 \times 10^{-9}$ $(2) 5 \times 10^{-9}$ $(3) 5 \times 10^{-8}$ $(4) 2 \times 10^{-8}$	
<p>پاسخ گزینه ۳: بین صفحه ها هوا وجود دارد پس $\kappa = 1$ است.</p> $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \xrightarrow{\kappa=1} A = \frac{Cd}{\epsilon_0} = \frac{1 \times 4/4 \times 10^{-2}}{8/8 \times 10^{-12}} = \frac{10^{-9}}{2} \text{ m}^2 = 5 \times 10^{-8} \text{ m}^2$ <p>با توجه به اینکه هر هکتار برابر 10000 متر مربع است، مساحت صفحه ها 50000 هکتار می شود که عدد بسیار بزرگی است. این محاسبه نشان می دهد که فاراد یکای بزرگی است.</p>		

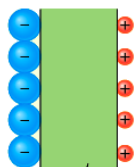
مثال	صفحه های خازنی را مطابق شکل به پایانه های یک باتری با اختلاف پتانسیل 12 V وصل می کنیم، بار خازن $24 \mu\text{C}$ می شود. اگر این خازن را به اختلاف پتانسیل 36 V وصل کنیم، بار الکتریکی آن چند کولن می شود؟	کتاب درسی
	$(1) 1/8 \times 10^{-4}$ $(2) 7/2 \times 10^{-5}$ $(3) 7/2 \times 10^{-6}$ $(4) 1/8 \times 10^{-6}$	
<p>پاسخ گزینه ۲:</p>  $C = \frac{Q}{V} = \frac{24 \times 10^{-6}}{12} = 2 \times 10^{-6} \text{ F} = 2 \mu\text{F}$ <p>ساختمان خازن تغییر نکرده است بنابراین ظرفیت خازن مقدار ثابتی است از ظرفیت به دست آمده استفاده می کنیم:</p> $Q' = CV = 2 \times 10^{-6} \times 36 = 72 \times 10^{-6} = 7/2 \times 10^{-5} \text{ C}$		

کتاب درسی	اختلاف پتانسیل بین دو صفحه یک خازن را از 18 ولت به 30 ولت افزایش می دهیم. اگر با این کار 15 میکروکولن بر بار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟	۱۸۰ ساده
	$(1) 0/5$ $(2) 0/83$ $(3) 1$ $(4) 1/25$	
کتاب درسی	کدام یک از عبارتهای زیر درست است؟ (1) مقدار بیشینه میدان الکتریکی ای که دی الکتریک می تواند بدون فروریزش تحمل کند را پتانسیل فروریزش گویند. (2) مادهی غیر قطبی، دی الکتریک نیست و تاثیری بر ظرفیت خازن ندارد. (3) اگر فضای بین صفحه های یک خازن را با دی الکتریکی دارای ثابت κ پر کنیم، ظرفیت خازن κ برابر می شود. (4) حضور دی الکتریک در خازن، روی حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن تاثیری ندارد.	۱۸۱ ساده
کتاب درسی	یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تا باردار شود. پس از مدتی، در حالی که باتری همچنان به خازن متصل است، فاصله بین صفحه های خازن را دو برابر می کنیم. چند مورد از گزینه های زیر درست است؟ (الف) میدان الکتریکی میان صفحه ها نصف می شود. (ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه ها نصف می شود. (پ) ظرفیت خازن دو برابر می شود. (ت) بار روی صفحه ها تغییر نمی کند.	۱۸۲ ساده
	$(1) 4$ $(2) 3$ $(3) 2$ $(4) 1$	

یک یاخته عصبی (نورون) را می توان با یک خازن تخت مدل سازی کرد، به طوری که غشای سلول به عنوان دی الکتریک و یون های باردار با علامت مخالف که در دو طرف غشا هستند به عنوان بارهای روی صفحه های خازن عمل کنند (شکل زیر). ظرفیت یک سلول عصبی برای آنکه یک اختلاف پتانسیل 85 mV ایجاد شود چقدر است؟

۱۸۳
ساده

(فرض کنید غشا دارای ثابت دی الکتریک $\kappa = 3$ ، ضخامت 10 nm و مساحت سطح 10^{-10} m^2 است و $\epsilon_0 = 8/5 \times 10^{-12}$)



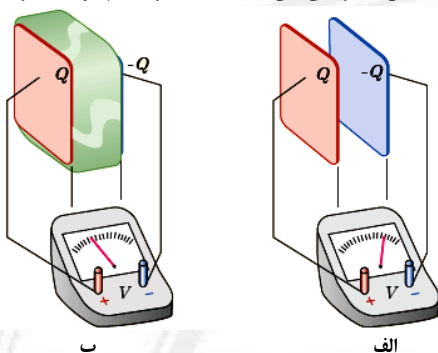
غشای یاخته

$$\begin{aligned} (1) \quad & 3 \times 10^{-13} \\ (2) \quad & 2/55 \times 10^{-13} \\ (3) \quad & 3 \times 10^{-17} \\ (4) \quad & 2/55 \times 10^{-17} \end{aligned}$$

کتاب
درسی

در شکل زیر صفحه های باردار یک خازن تخت را که بین آن ها هوا هست را به ولت سنج وصل می کنیم (شکل الف). با وارد کردن دی الکتریک در بین صفحه ها (شکل ب) اختلاف پتانسیل الکتریکی که ولت سنج نشان می دهد و میدان الکتریکی بین صفحه ها به ترتیب چگونه تغییر می کنند؟

۱۸۴
متوسط



ب

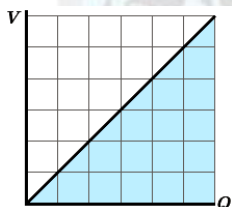
الف

- (۱) افزایش می یابد - ثابت می ماند.
- (۲) کاهش می یابد - ثابت می ماند.
- (۳) هر دو افزایش می یابد.
- (۴) هر دو کاهش می یابد.

کتاب
درسی

انرژی خازن

وقتی صفحه های خازن دارای بار الکتریکی می شوند در خازن انرژی ذخیره می شود. در هنگام شارژ شدن خازن توسط باتری، دائماً باری جزئی از یک صفحه ی خازن جدا و به همان اندازه به صفحه ی دیگر منتقل می شود. هنگام انتقال بار، اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن نیز به آهستگی (از صفر تا V) افزایش می یابد. بنابراین، در هنگام باردار شدن خازن اختلاف پتانسیل متوسطی ($\bar{V} = \frac{V}{2}$) برای آن در نظر می گیریم.



$$W = q\bar{V} = q\left(\frac{V}{2}\right) = \frac{1}{2}qV \rightarrow U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2}qV, \quad U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2}CV^2, \quad U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

۹۸

تجربی
خارج از
کشور

مثال خازنی به ظرفیت $5 \mu\text{F}$ به یک باتری 10 ولتی متصل است. انرژی ذخیره شده در این خازن چند میکروژول است؟

- (۱) 500 (۲) 250 (۳) 50 (۴) 25

پاسخ گزینه ۲: در این پرسش، ظرفیت خازن (C) و اختلاف پتانسیل (V) داده شده است بنابراین از رابطه ای اسفاده می کنیم که این دو را به انرژی مربوط می کند.

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-6} \times (10)^2 = 250 \times 10^{-6} \text{ J} = 250 \mu\text{J}$$

۹۸

ریاضی

خازنی به یک باتری که ولتاژ آن قابل تنظیم است، متصل است. اگر ولتاژ دو سر خازن از 20 V به 15 V برسد، انرژی ذخیره شده در آن چند برابر می شود؟

۱۸۵
ساده

- (۱) $\frac{3}{4}$ (۲) $\frac{2}{3}$ (۳) $\frac{9}{16}$ (۴) $\frac{3}{16}$

ظرفیت خازن تختی 20 nF و بار الکتریکی آن 180 nC است. خازن را از باتری جدا و فاصله بین صفحه های آن را دو برابر می کنیم. انرژی ذخیره شده در خازن چقدر افزایش می یابد؟ (بین صفحات خازن هواست.)

۱۸۶
ساده

- (۱) $8/1 \times 10^{-7} \text{ J}$ (۲) $1/62 \times 10^{-6} \text{ J}$ (۳) $2/43 \times 10^{-6} \text{ J}$ (۴) تغییر نمی کند.

کتاب
درسی

کتاب درسی	<p>۱۸۷ در فلاش عکاسی، انرژی را با ولتاژ 200 V در یک خازن $600\text{ }\mu\text{F}$ ذخیره می‌کند. اگر تمامی این انرژی در مدت $1/0\text{ ms}$ آزاد شود، توان متوسط خروجی فلاش تقریباً چقدر است؟</p>	۱۸۷ ساده
	<p>(۱) 18 kW (۲) 12 kW (۳) 9 kW (۴) 6 kW</p>	
۹۸ تجربی	<p>۱۸۸ بار خازنی به ظرفیت $5\text{ }\mu\text{F}$، $25\text{ }\%$ درصد افزایش می‌یابد و در اثر آن، $90\text{ }\mu\text{C}$ به انرژی ذخیره شده در خازن افزوده می‌شود. ولتاژ اولیه دو سر خازن چند ولت بوده است؟</p>	۱۸۸ متوسط
	<p>(۱) 8 (۲) $12/5$ (۳) 20 (۴) 25</p>	

حسین صمدیه – علی مهربانی – مجید فارسی

الکتریسیته ساکن

گزینه ۲: ۱۴۳

در سری تریبولکتریک، ابریشم که به سر مثبت نزدیکتر است، الکترون از دست می‌دهد و پلاستیک به سر منفی نزدیکتر است، الکترون می‌گیرد. در نتیجه با مالش میله پلاستیکی با پارچه ابریشمی، الکترون از پارچه به میله منتقل می‌شود.

گزینه ۱: ۱۴۴

ابتدا در اثر القای بار الکتریکی روی کره، بخشی از کره که به گوی نزدیک است دارای بار منفی و سمت دیگر دارای بار مثبت می‌شود در نتیجه گلوله جذب کره می‌شود. پس از تماس مقداری از بار گلوله به کره منتقل می‌شود. در نتیجه هر دو دارای بار مثبت می‌شوند و بارهای هم نام یکدیگر را دفع می‌کنند.

گزینه ۲: ۱۴۵

$$q = ne \rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{12/8 \times 10^{-9}}{1/6 \times 10^{-19}} = 8 \times 10^{10}$$

گزینه ۳: ۱۴۶

هسته اتم از پروتون و نوترون تشکیل شده است. از طرفی نوترون بدون بار است پس بار هسته به خاطر وجود پروتون‌ها می‌باشد که تعداد آن‌ها برابر با عدد اتمی (Z) است. همچنین به علت این که ام از پروتون و الکترون تشکیل شده است بار کل اتم برابر صفر است. (در اتم تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها برابرند.)

$$q = ne \rightarrow q = Ze = 92 \times 1/6 \times 10^{-19} = 147/2 \times 10^{-19} = 1/47 \times 10^{-17} C$$

گزینه ۲: ۱۴۷

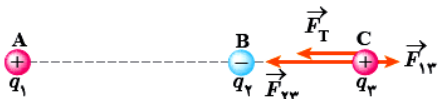
گزینه ۲: نیروی الکتریکی بین دو بار نقطه‌ای با مربع فاصله‌ی دو بار الکتریکی رابطه عکس دارد نه با فاصله‌ی دو بار.

گزینه ۲: ۱۴۸

گزینه ۲: نیروی الکتریکی با حاصلضرب اندازه دوبرابر رابطه‌ی مستقیم و با مربع فاصله دوبرابر از یکدیگر رابطه‌ی عکس دارد.

$$\frac{\vec{F}}{F} = \frac{|\vec{q}_1| \cdot |\vec{q}_2|}{|q_1| \cdot |q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{3q_1 \cdot 2q_2}{q_1 \cdot q_2} \times \left(\frac{r}{3r}\right)^2 = \frac{9}{9} = 1$$

گزینه ۱: ۱۴۹



$$F_{12} = k \frac{|q_1| |q_2|}{r_{12}^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 3 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{36} = 3 \times 10^{-3} N$$

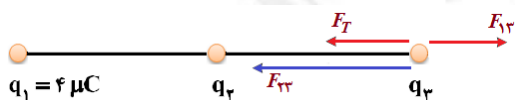
$$F_{23} = k \frac{|q_2| |q_3|}{r_{23}^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 1 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{4} = 9 \times 10^{-3} N$$

همان گونه که در شکل دیده می‌شود \vec{F}_{13} در جهت محور X و \vec{F}_{23} خلاف جهت محور X می‌باشد بنابراین نیروی الکتریکی خالص از تفاضل این دو به دست می‌آید و با توجه به اینکه مقدار \vec{F}_{23} بیشتر است در خلاف جهت محور است.

$$F_T = F_{23} - F_{12} = 6 \times 10^{-3} N$$

گزینه ۳: ۱۵۰

اگر نیروی برابند و نیرویی که بار الکتریکی ۱ به ۳ وارد می‌کند یکسان باشند باید مطابق شکل زیر در خلاف جهت یکدیگر باشند. (در اینجا فرض شده بار ۳ مثبت است در حالیکه اگر فرض می‌شد منفی است جهت نیروها در شکل عوض می‌شد.) در نتیجه اندازه نیروی الکتریکی که بار ۲ به ۳ وارد می‌کند دو برابر اندازه نیروی الکتریکی است که بار ۱ به ۳ وارد می‌کند.



$$F_T = F_{23} - F_{12} \xrightarrow{F_T = F_{13}} F_{12} = F_{23} - F_{13} \rightarrow F_{23} = 2F_{13} \rightarrow$$

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

$$\frac{|q_2|}{|q_1|} = 2 \frac{r_{23}^2}{r_{13}^2} = 2 \frac{L^2}{4L^2} = \frac{1}{2} \rightarrow |q_2| = 2 |q_1| \rightarrow |q_2| = 2 C$$

گزینه ۳: در صورتی که گوی بالای معلق باشد، نیروی کولنی (F) با نیروی وزن (mg) گلوله بالایی برابر است.

گزینه ۳: ۱۵۱

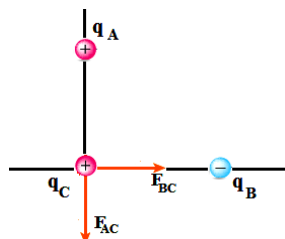


$$F = mg \rightarrow k \frac{|q| |q|}{r^2} = mg \rightarrow q^2 = \frac{mgr^2}{k} = \frac{2/5 \times 10^{-3} \times 10 \times 16 \times 10^{-2}}{9 \times 10^9} = \frac{16 \times 25}{9} \times 10^{-14}$$

$$\rightarrow q = \frac{4 \times 5}{3} \times 10^{-7} = \frac{20}{3} \times 10^{-7} = \frac{2}{3} \times 10^{-6} C$$

گزینه ۲: ۱۵۲

اندازه بارهای q_A و q_B برابر و فاصله آن دو از بار q_C یکسان می‌باشد بنابراین اندازه نیروی کولنی که از طرف دو بار q_A و q_B بر بار q_C وارد می‌شود برابر است:



$$F_{AC} = F_{BC} = k \frac{|q_A| |q_C|}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{(3 \times 10^{-2})^2} = \frac{9 \times 3}{9} \times 10^1 = 30 \text{ N}$$

$$\vec{F}_T = F_{BC} \vec{i} - F_{AC} \vec{j} = 30 \vec{i} - 30 \vec{j}$$

گزینه ۴: نیروی الکتریکی با حاصلضرب اندازه دوبار رابطه‌ی مستقیم و با مربع فاصله دوبار از یکدیگر رابطه‌ی عکس دارد. ۱۵۳

$$\frac{\vec{F}}{F} = \frac{|q'_1| \times |q'_2|}{|q_1| \times |q_2|} \times \left(\frac{r^2}{r'^2} \right)$$

بنابراین:

$$\frac{rF}{F} = \frac{2 \times 8}{1 \times 2} \times \left(\frac{r^2}{r'^2} \right) \rightarrow 2 = \left(\frac{r}{r'} \right)^2 \rightarrow \frac{r}{r'} = \sqrt{2} \rightarrow r' = \frac{1}{\sqrt{2}} r \rightarrow = \frac{\sqrt{2}}{2} r$$

گزینه ۴: ۱۵۴

از آنجایی که دو کره مشابه هستند پس از اتصال بارنهایی آنها مساوی و برابر $\frac{q_1 + q_2}{2}$ خواهد شد یعنی هر دو کره دارای بار $10 \mu\text{C}$ خواهند شد بنابراین با توجه به یکسان بودن فاصله‌ها:

$$\frac{\vec{F}}{F} = \frac{|q'_1| \times |q'_2|}{|q_1| \times |q_2|} \times \left(\frac{r^2}{r'^2} \right) \rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{q'_1 \times q'_2}{q_1 \times q_2} = \frac{10 \times 10}{5 \times 15} = \frac{4}{3} = 1/33 \rightarrow F' = 1/33 F = F + . / 33 F$$

یعنی نیرو ۳۳٪ بیشتر شده است.

گزینه ۳: ۱۵۵

باقیمانده بار q_1 برابر $q_1 - . / 75 q_1 = . / 75 q_1$ است ($q'_1 = q_1 - . / 25 q_1 = . / 75 q_1$) و در صورتیکه q_2 به $q_2 + . / 25 q_2 = 1/25 q_2$ افزایش کنیم مقدار بار جدید آن برابر است با $q'_2 = q_2 + . / 25 q_2 = 1/25 q_2$. همچنین با توجه به یکسان بودن فاصله‌ها داریم:

$$\frac{\vec{F}}{F} = \frac{|q'_1| \times |q'_2|}{|q_1| \times |q_2|} = \frac{. / 75 q_1 \times 1/25 q_2}{q_1 \times q_2} = . / 75 \times 1/25 = \frac{3}{4} \times \frac{5}{4} = \frac{15}{16}$$

گزینه ۲: ۱۵۶

نیروی الکتریکی جاذبه است. پس علامت دوبار متفاوت و حاصلضرب بارها منفی خواهد بود. چون بارها بر حسب میکروکولن و فاصله‌ها بر حسب سانتی متر است از قاعده‌ی ۹۰ استفاده می‌کنیم.

$$F = 90 \times \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \rightarrow 4 = 90 \times \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{30^2} \rightarrow |q_1| \cdot |q_2| = 40 \xrightarrow{\text{علامت بارها مخالف هم}} q_1 q_2 = -40$$

از طرفی چون دو گلوله مشابه اند بار نهایی آنها برابر $q_1 + q_2 = 3 \mu\text{C}$ خواهد شد و داریم:

$$\begin{cases} q_1 q_2 = -40 \\ q_1 + q_2 = 6 \end{cases}$$

حل دستگاه معادلات فوق ساده است اما می‌توان با امتحان گزینه‌ها سریع تر به جواب دست یافت. مشاهده می‌کنیم که فقط حاصلضرب اعداد گزینه ۲ برابر -40 خواهد شد. اما برای حل تشریحی دستگاه داریم:

$$(q_1^2) - 6q_1 - 40 = 0 \rightarrow q_1(6 - q_1) = -40 \rightarrow q_1(6 - q_1) = -40 \rightarrow \text{معادله دوم}$$

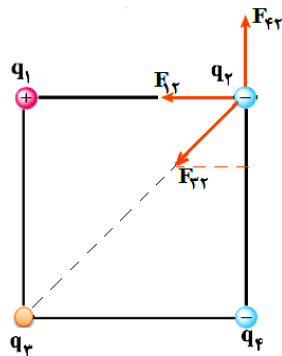
از حل معادله‌ی درجه دوم بالا به جوابهای ۱۰ و -40 می‌رسیم.

گزینه ۱: ۱۵۷

نیروی الکتریکی خالص بر بار q_2 در جهت منفی محور X است بنابراین باید مولفه عمودی نیروی F_{23} نیروی F_{21} را خنثی کند در نتیجه بار q_3 مثبت است.

از قانون ۹۰ بهره می‌گیریم:

$$F_{12} = F_{21} = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} = 90 \frac{5 \times 4}{400} = \frac{9}{2} \text{ N}$$



این مقدار برابر با مولفه عمودی نیروی F_{23} است. از طرفی بارها در چهار راس مربع اند بنابراین مولفه افقی نیروی F_{23} نیز همین مقدار است.

$$\begin{aligned}\vec{F}_{23} &= -\frac{q}{r}\vec{i} - \frac{q}{r}\vec{j} \rightarrow F_{23} = \sqrt{\left(\frac{q}{r}\right)^2 + \left(\frac{q}{r}\right)^2} = \frac{q}{r}\sqrt{2}N \\ \rightarrow F_{23} &= k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} \rightarrow \frac{q}{r}\sqrt{2} = 9 \cdot \frac{q_2 \times 5}{(2 \cdot \sqrt{2})^2} \rightarrow \frac{q}{r}\sqrt{2} = 9 \cdot \frac{q_2 \times 5}{8} \rightarrow q_2 \\ &= \frac{8 \times 9 \sqrt{2}}{2 \times 9 \times 5} = 8\sqrt{2}C\end{aligned}$$

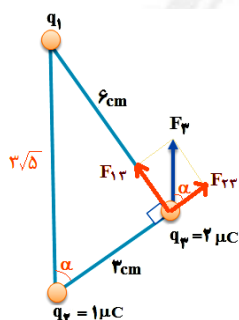
گزینه ۲: ۱۵۸

$$F' = F + \frac{5}{100}F = 1/5 F$$

$$\begin{aligned}k \frac{|q'_1||q'_2|}{r^2} &= 1/5 k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \rightarrow q'_1 q'_2 = 1/5 q_1 q_2 \rightarrow 0.75 q_1 \times (q_2 + 0.25 q_1) = 1/5 q_1 q_2 \rightarrow (q_2 + 0.25 q_1) \\ &= 2q_2 \rightarrow q_2 + 0.25 q_1 = 2q_2 \rightarrow q_2 + 0.25 \times 8 = 2q_2 \rightarrow q_2 = 0.25 \times 8 = 2\end{aligned}$$

گزینه ۴: در مثلث قائم‌الزاویه یک ضلع 3 cm و دیگری ۲ برابر آن است بنابراین وتر برابر است با: $3\sqrt{1+2^2} = 3\sqrt{5}\text{ cm}$

۱۵۹



$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r^2} = \frac{90 \times 1 \times 2}{9} = 20N \quad \text{قانون ۹۰}$$

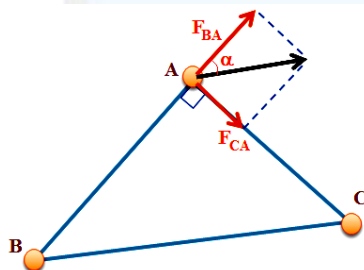
$$\frac{F_2}{r_2} = \frac{F_{23}}{r_{23}} \rightarrow \frac{F_2}{r_2} = \frac{F_2}{3\sqrt{5}} = \frac{20}{3} \rightarrow F_2 = 20\sqrt{5}N$$

تشابه مثلث ها

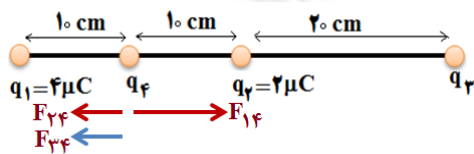
گزینه ۱: ۱۶۰

فاصله های AB و AC برابر و بار q_B بزرگتر از بار q_C است بنابراین F_{BA} بزرگتر از F_{CA} است.

$$\tan \alpha = \frac{F_{CA}}{F_{BA}} = \frac{|q_C||q_A|}{|q_B||q_A|} = \frac{q \cdot q}{\sqrt{3}q \cdot q} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \rightarrow \alpha = 30^\circ$$



گزینه ۱: ۱۶۱



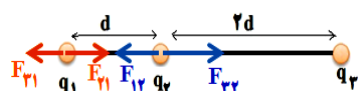
راه حل اول: فرض می‌کنیم بار q_4 مثبت است. فاصله‌ی بارهای q_1 و q_3 از بار q_4 یکسان است و مقدار بار q_1 دو برابر بار q_3 است بنابراین نیروی F_{14} دو برابر نیروی F_{34} است. برای خنثی شدن نیروها باید نیروی F_{24} هم جهت و برابر با F_{34} باشد. بنابراین بار q_2 مثبت است و داریم:

$$k \frac{|q_2||q_4|}{r_{24}^2} = k \frac{|q_3||q_4|}{r_{34}^2} \rightarrow \frac{|q_2|}{r_{24}^2} = \frac{|q_3|}{r_{34}^2} \rightarrow \frac{2}{10^2} = \frac{|q_3|}{20^2} \rightarrow \frac{2}{100} = \frac{|q_3|}{400} \rightarrow |q_3| = 8\mu C$$

راه حل دوم: نیروهای وارد بر q_4 از طرف بارهای q_1 و q_3 خلاف جهت هم هستند و فاصله آنها از q_4 نیز یکسان است. می‌توان فرض کرد در محل q_1 فقط $2\mu C$ بار وجود دارد و q_2 را در نظر نگرفت بنابراین علامت بار q_2 مثبت است زیرا نیروهای وارد بر q_4 از طرف q_2 و q_3 باید در خلاف جهت هم باشند داریم:

$$\frac{2}{10^2} = \frac{q_2}{20^2} \rightarrow \frac{2}{100} = \frac{q_2}{400} \rightarrow q_2 = 8\mu C$$

گزینه ۴: ۱۶۲



با توجه به اینکه اندازه‌ی دو بار q_1 و q_2 برابر است، نیروی الکتریکی با مربع فاصله، رابطه‌ی عکس دارد. در مورد نیرویی که q_3 به q_1 و q_2 وارد می‌کند داریم:

$$\frac{F_{r3}}{F_{r1}} = \left(\frac{r_{r1}}{r_{r3}}\right)^2 = \left(\frac{3d}{2d}\right)^2 = \frac{9}{4} \rightarrow F_{r3} = \frac{9}{4}F_{r1}$$

حال با توجه به علامت بارها و رانشی و ربایشی بودن نیروها مطابق شکل داریم:

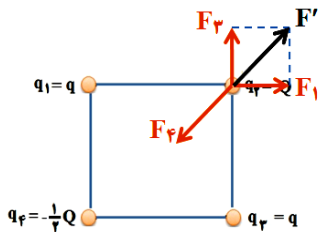
$$F_{r1} - F_{r3} = F_{r2} - F_{r4}$$

با توجه به برابری اندازه ی F_{r1} و F_{r3} نتیجه می گیریم:

$$2F_{r1} = F_{r2} + F_{r4} \rightarrow 2F_{r1} = \frac{9}{4}F_{r1} + F_{r4} = \frac{13}{4}F_{r1} \rightarrow 2 \frac{k q_1 q_1}{d^2} = \frac{13}{4} \frac{k q_2 q_2}{9d^2} \rightarrow \frac{q_2}{q_1} = \frac{12}{13}$$

گزینه ۲:

۱۶۳



در شکل F_{r1} را با F_1 و F_{r3} را با F_3 نشان داده ایم:

$$F_{r1} = F_{r3} = \frac{kqQ}{a^2} \rightarrow \text{برایند این دو نیرو: } F' = \sqrt{F_1^2 + F_3^2} = \frac{kqQ}{a^2} \times \sqrt{2}$$

$$F_4 = F_{r2} = \frac{kqQ \times \frac{1}{9}Q}{2a^2} = \frac{1}{9} \frac{kQ^2}{a^2}$$

برایند نیروهای وارد بر بار q_3 صفر است. بنابراین بزرگی F' با بزرگی F_4 برابر است و جهت آن‌ها نیز در خلاف یکدیگر است:

$$F_4 = F' \rightarrow \frac{1}{9} k \frac{Q^2}{a^2} = \sqrt{2} \frac{kqQ}{a^2} \rightarrow \frac{Q}{q} = 9\sqrt{2}$$

گزینه ۲

۱۶۴

گزینه ۳: برای یک ذره باردار، میدان الکتریکی با مجذور فاصله نسبت عکس دارد:

۱۶۵

$$\frac{E_r}{E_1} = \frac{r_1^2}{r_r^2} \rightarrow \frac{E_r}{2/25 \times 10^5} = \frac{1^2}{9^2} \rightarrow E_r = \frac{1 \times 1 \times 2/25 \times 10^5}{9 \times 9} = \frac{1 \times 18}{81} \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$F = |q|E = 9 \times 10^{-6} \times \frac{1 \times 18}{9 \times 9} \times 10^5 = 1 \times 2 \times 10^{-1} = 1/6 \text{ N}$$

گزینه ۱:

۱۶۶

$$E_1 = \frac{k|q_1|}{r_1^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 8 \times 10^{-9}}{(20 \times 10^{-2})^2} = \frac{9 \times 8}{400 \times 10^{-4}} = 1800 \frac{N}{C}$$

$$E_r = \frac{k|q_r|}{r_r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-9}}{(10 \times 10^{-2})^2} = \frac{9 \times 2}{100 \times 10^{-4}} = 1800 \frac{N}{C}$$

میدان الکتریکی E_r در خلاف جهت محور X و E_1 در جهت محور X می باشد. برای میدان الکتریکی برآیند (E_T) دو جهت می توان در نظر گرفت:

$$E_T = E_1 - E_r + E_r \rightarrow E_T = (E_r + E_T - E_1) = (1800 + 100 - 1800) = 100 \text{ در جهت محور } X$$

$$E_r = k \frac{|q_r|}{r_r^2} \rightarrow 1100 = \frac{9 \times 10^9 \times q_r}{(20 \times 10^{-2})^2} \rightarrow q_r = \frac{1100 \times 400 \times 10^{-4}}{9 \times 10^9} = \frac{44}{9} \times 10^{-9} \text{ C} = \frac{44}{9} \text{ nC}$$

$$-E_T = E_1 - E_r + E_r \rightarrow E_T = (E_r - E_T - E_1) = (1800 - 100 - 1800) = 900 \text{ در خلاف جهت محور } X$$

$$E_r = k \frac{|q_r|}{r_r^2} \rightarrow 900 = \frac{9 \times 10^9 \times q_r}{(20 \times 10^{-2})^2} \rightarrow q_r = \frac{900 \times 400 \times 10^{-4}}{9 \times 10^9} = 4 \times 10^{-9} \text{ C} = 4 \text{ nC}$$

گزینه ۴:

۱۶۷

فاصله ی نقطه ای که میدان در آن صفر است از بار q_1 برابر d_1 و فاصله از بار q_2 را d_1' در نظر می گیریم. بزرگی میدان حاصل از دو بار در این نقطه با هم برابر و در خلاف جهت یکدیگر است.

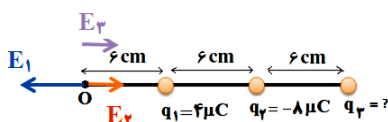
$$E_1 = E_r \rightarrow k \frac{q_1}{d_1^2} = k \frac{q_r}{d_1'^2} \rightarrow \frac{d_1'}{d_1} = \sqrt{\frac{q_r}{q_1}} = 2 \rightarrow d_1' = 2d_1$$

در حالت دوم که فاصله ی بارها از یکدیگر دو برابر شود هر یک از d_1 و d_1' نیز دو برابر می شود:

$$d_r = 2d_1' \rightarrow d_r = 4d_1$$

گزینه ۲:

۱۶۸



بزرگی میدان با اندازه بار نسبت مستقیم و با مجذور فاصله از بار نسبت عکس دارد. بنابراین میدان ناشی از بار q_1 ($4 \mu\text{C}$) از میدان ناشی از بار q_2 ($-8 \mu\text{C}$) قوی تر است. در نتیجه میدان ناشی از q_3 باید در جهت میدان q_2 باشد تا برآیند آن‌ها برابر صفر باشد. اگر بزرگی میدان‌ها را با E_1 و E_2 نمایش دهیم:

$$E_1 = E_r + E_r \rightarrow \frac{kq_1}{x^2} = \frac{kq_r}{4x^2} + \frac{kq_r}{9x^2} \rightarrow 4 = \frac{1}{4} + \frac{q_r}{9} \rightarrow q_r = 18$$

میدان ناشی از q_1 و میدان q_r هم جهت‌اند. بنابراین q_r دارای بار منفی می‌باشد (هم علامت با بار q_1)

گزینه ۲: ۱۶۹

بادکنک معلق (نیروی رو به پایین و نیروی رو به بالا برابری) و نیروی وزن همیشه رو به پایین است بنابراین نیروی میدان الکتریکی رو به بالا می‌باشد. با توجه به اینکه بار بادکنک منفی است جهت خطوط میدان رو به پایین است.

$$|q|E = mg \rightarrow E = \frac{mg}{|q|} = \frac{10 \times 10^{-3} \times 10}{200 \times 10^{-9}} = 5 \times 10^5 \frac{N}{C}$$

گزینه ۲: ۱۷۰

با توجه به اینکه نیروی میدان الکتریکی در خلاف جهت خطوط میدان است بنابراین بار q منفی است. همچنین به دلیل اینکه در خلاف میدان شتاب می‌گیرد تغییرات انرژی جنبشی مثبت (انرژی جنبشی افزایش می‌یابد) و کار انجام شده به وسیله میدان نیز مثبت و انرژی پتانسیل کاهش می‌یابد. (تغییرات انرژی پتانسیل منفی است).

گزینه ۴: ۱۷۱

چون نیروی میدان و جابه‌جایی خلاف جهت یکدیگر است، کار انجام شده توسط میدان الکتریکی روی پروتون منفی ($W = -F_E d$) است. از رابطه کار انرژی جنبشی داریم:

$$\Delta K = W_E \rightarrow \frac{1}{2} m(v^2 - v_0^2) = -F_E d \rightarrow -\frac{1}{2} m v_0^2 = -|q| E d \rightarrow v_0^2 = \frac{2 \times 1/6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-2}}{1/6 \times 10^{-27}} \\ = 4 \times 10^{10} \rightarrow v_0 = 2 \times 10^5 \frac{m}{s}$$

گزینه ۱: ۱۷۲

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-40 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6}} = -4 V \rightarrow V_B - V_A = -4 \rightarrow 55 - V_A = -4 \rightarrow V_A = 59 V$$

گزینه ۲: ۱۷۳

جهت خطوط میدان از طرف بارهای مثبت به سمت بارهای منفی است. با حرکت در خلاف جهت خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد بنابراین پتانسیل نقطه B بیشتر از پتانسیل نقطه A می‌باشد. در رابطه $\Delta U = q \Delta V$ بار الکتریکی منفی و ΔV مثبت است بنابراین ΔV منفی است یعنی پتانسیل نقطه B کمتر از پتانسیل نقطه A است.

گزینه ۲: ۱۷۴

$$\Delta U = q \Delta V = -W_E \rightarrow -5 \times 10^{-2} (V_B - 2) = -5 \times 10^{-2} \rightarrow V_B - 2 = 1 \rightarrow V_B = 3 V$$

گزینه ۳: ۱۷۵

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{200}{0.08} = 2500 \frac{N}{C}$$

گزینه ۲: ۱۷۶

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{500}{0.02} = 25000 \frac{N}{C} = 2/5 \times 10^4 \frac{N}{C}$$

ذره α دارای دو پروتون است. بنابراین:

$$F = qE = 2 \times 1/6 \times 10^{-19} \times 2/5 \times 10^4 = 8 \times 10^{-15} N$$

گزینه ۴: ۱۷۷

$$\Delta V = V_f - V_i = -10 - (-40) = 30 V \rightarrow \Delta U = q \Delta V = -2 \times 10^{-6} \times 30 = -6 \times 10^{-5} J$$

ΔV منفی است. بنابراین انرژی پتانسیل کاهش می‌یابد.

گزینه ۳: انرژی که صرف می‌شود همان کار نیروی خارجی است که با تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار برابر است.

۱۷۸

$$W = \Delta U = q \Delta V = 0.8 \times 10^{-6} \times 500 = 4 \times 10^{-4} J$$

گزینه ۱: ۱۷۹

حرکت بار در خلاف جهت خطاهای میدان الکتریکی است. بنابراین پتانسیل افزایش می‌یابد. یعنی گزینه‌های منفی ۲ و ۴ حذف می‌شوند. انرژی مکانیکی پایسته است (تغییر انرژی مکانیکی بار صفر است). بنابراین:

$$\Delta U = -\Delta K = -\Delta mJ \rightarrow \Delta V = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-8 \times 10^{-3}}{-4 \times 10^{-6}} = 2 \times 10^3 V = 2kV$$

گزینه ۴: ۱۸۰

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow C = \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{15 \times 10^{-6}}{12} = \frac{5}{4} \times 10^{-6} F = 1/25 \times 10^{-6} = 1/25 \mu F$$

گزینه ۳: ۱۸۱

گزینه ۴: بررسی گزینه‌ها: ۱۸۲

گزینه ۱ درست است: خازن به باتری وصل است پس اختلاف پتانسیل (V) ثابت می‌ماند. طبق رابطه $V=Ed$ میدان الکتریکی خازن با فاصله صفحه‌ها رابطه عکس دارد. با دو برابر شدن فاصله، میدان الکتریکی نصف می‌شود.

گزینه ۲ اشتباه است: صفحه‌های خازن به باتری متصل است در نتیجه اختلاف پتانسیل میان صفحه‌ها در هر صورت همان اختلاف پتانسیل باتری است.

گزینه ۳ اشتباه است: ظرفیت خازن با فاصله صفحه‌ها رابطه عکس دارد بنابراین ظرفیت خازن نصف می‌شود.

گزینه ۴ اشتباه است: با توجه به رابطه $Q=CV$ با نصف شدن ظرفیت خازن و ثابت ماندن اختلاف پتانسیل، بار نصف می‌شود.

گزینه ۲: ۱۸۳

$$C = k\epsilon_0 \frac{A}{d} = \frac{3 \times 1/5 \times 10^{-12} \times 10^{-10}}{10 \times 10^{-9}} = 25/5 \times 10^{-14} F$$

گزینه ۴: ۱۸۴

بار روی صفحه‌های خازن ثابت است و با وارد کردن دی‌الکتریک ظرفیت خازن افزایش می‌یابد بنابراین طبق رابطه $V = \frac{Q}{C}$ اختلاف پتانسیل بین صفحه‌ها کاهش می‌یابد. از طرفی اختلاف پتانسیل با میدان الکتریکی بین صفحه‌ها رابطه مستقیم دارد ($V = Ed$) در نتیجه میدان الکتریکی نیز کاهش می‌یابد.

گزینه ۳: ۱۸۵

با توجه به اینکه ظرفیت خازن مقداری است ثابت و اختلاف پتانسیل تغییر کرده بنابراین در مورد انرژی از رابطه‌ای استفاده می‌کنیم که این دو کمیت در آن رابطه وجود دارد:

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2} CV^2 \rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{2} CV_2^2}{\frac{1}{2} CV_1^2} = \frac{V_2^2}{V_1^2} = \frac{(15)^2}{(20)^2} = \left(\frac{15}{20}\right)^2 = \left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{9}{16}$$

گزینه ۱: ۱۸۶

ظرفیت خازن با فاصله بین صفحه رابطه عکس دارد بنابراین با دو برابر کردن فاصله صفحه‌ها، ظرفیت خازن نصف ($10 nF$) می‌شود. همچنین چون خازن را از باتری جدا کرده‌ایم بار روی صفحه‌های خازن ثابت است و تغییر نمی‌کند.

$$U_1 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{(180 \times 10^{-9})^2}{2 \times 20 \times 10^{-9}} = \frac{180 \times 10^{-9} \times 180 \times 10^{-9}}{2 \times 20 \times 10^{-9}} = 810 \times 10^{-9} = 81/1 \times 10^{-7} J$$

بار ثابت است بنابراین انرژی با ظرفیت رابطه عکس دارد. ظرفیت خازن نصف شده است بنابراین انرژی دو برابر می‌شود. ($U_2 = 16/2 \times 10^{-7} J$)

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 81/1 \times 10^{-7} J$$

گزینه ۲: ۱۸۷

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 600 \times 10^{-6} \times (200)^2 = 12 J$$

$$\bar{P} = \frac{U}{t} = \frac{12}{1 \times 10^{-3}} = 12 \times 10^3 W = 12 kW$$

گزینه ۱: ۱۸۸

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}, q_2 = q_1 + \frac{25}{100} q_1 = \frac{5}{4} q_1$$

$$\Delta U = (U_2 - U_1) = 90 \times 10^{-6} \rightarrow \frac{1}{2} \frac{q_2^2}{C} - \frac{1}{2} \frac{q_1^2}{C} = 90 \times 10^{-6} \rightarrow \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{5}{4} q_1\right)^2}{5 \times 10^{-6}} - \frac{1}{2} \frac{q_1^2}{5 \times 10^{-6}} = 90 \times 10^{-6} \rightarrow$$

$$\left(\frac{5}{4} q_1\right)^2 - q_1^2 = 2 \times 5 \times 10^{-6} \times 90 \times 10^{-6} \rightarrow \frac{9}{16} q_1^2 = 900 \times 10^{-12} \rightarrow \frac{3}{4} q_1 = 30 \times 10^{-6} \rightarrow q_1 = 40 \times 10^{-6} F = 40 \mu F$$

$$V_1 = \frac{q_1}{C} = \frac{40}{5} = 8 V$$

حسین صمدیه - علی مهربانی - مجید فارسی