فهرست

فصل اول

بخش اول (بار الکتریکی) ۸

بخش دوم (نیروی الکتریکی) ۱۶

بخش سوم (میدان الکتریکی) ۲۲

بخش چهارم (انرژی پتانسیل الکتریکی) ۳۵

بخش پنجم (توزیع بار الکتریکی در ...) ۴۶

بخش ششم (خازن) ۵۲

پرسش‌های تستی ۶۲

پاسخ پرسش‌های تستی ۶۵

فصل دوم

بخش اول (جریان الکتریکی و ...) ۷۰

بخش دوم (مدار الکتریکی ساده) ۸۴

بخش سوم (توان الکتریکی در مدار) ۹۳

بخش چهارم (به هم بستن مقاومت‌ها) ۱۰۲

پرسش‌های تستی ۱۱۸

پاسخ پرسش‌های تستی ۱۲۱

فصل سوم

بخش اول (الفبای مغناطیس) ۱۲۶

بخش دوم (نیروی مغناطیسی) ۱۳۴

بخش سوم (میدان مغناطیسی و ...) ۱۴۶

بخش چهارم (ویژگی‌های مغناطیسی مواد) ۱۵۸

بخش پنجم (پدیدهٔ القای الکترومغناطیس) ۱۶۳

بخش ششم (القاگر) ۱۸۲

بخش هفتم (جریان متناوب) ۱۸۶

پرسش‌های تستی ۱۹۳

پاسخ پرسش‌های تستی ۱۹۷

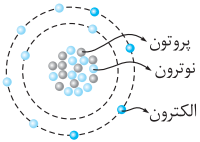
ضمائم

فرمول‌ها ۲۰۰

بخش ۱

بار الکتریکی

۱- آشنایی با ساختار اتم



■ هر اتم از الکترون، پروتون و نوترون تشکیل شده است.

نام ذره	مکان	علامت بار الکتریکی
الکترون	اطراف هسته در حال چرخش	منفی
پروتون	درون هسته	مثبت
نوترون	درون هسته	بدون بار

چند نکته

۱ اندازهٔ بار الکتریکی الکترون و اندازهٔ بار الکتریکی پروتون، برابر است.
۲ در حالت عادی، تعداد الکترون‌ها و تعداد پروتون‌های یک اتم برابر است، به همین دلیل، اتم خنثی است.
۳ عدد اتمی یک عنصر برابر با تعداد پروتون‌های آن است.
۴ پروتون‌ها توانایی جداشدن از هستهٔ اتم را ندارند، اما الکترون‌ها می‌توانند از اتمی به اتم دیگر بروند.
۵ جرم نوترون کمی بیشتر از جرم پروتون و جرم این دو خیلی بیشتر از (تقریباً ۲۰۰۰ برابر) جرم الکترون است.

۲- محاسبهٔ بار الکتریکی

■ بار الکتریکی با q نشان داده می‌شود و یکای آن در SI کولن (C) است. به اندازهٔ بار یک الکترون یا پروتون، که کوچک‌ترین مقدار ممکن برای بار در طبیعت است، **بار بنیادی** گفته و آن را با نماد e نشان می‌دهیم، که $e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C$ است.

■ وقتی یک جسم خنثی، الکترون می‌گیرد یا از دست می‌دهد، باردار می‌شود. بار الکتریکی این جسم (یا اتم و...) از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$q = \pm ne$$

بار الکتریکی (کولن: C) ← q
بار بنیادی (کولن: C) ← e
تعداد الکترون گرفته‌شده یا ازدست‌رفته ← n

در این فرمول

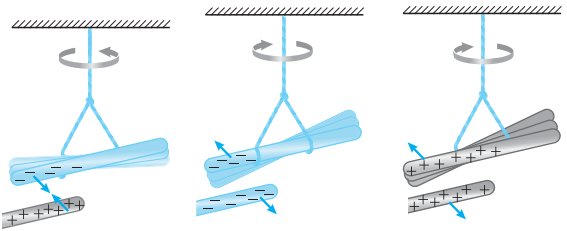
۱) اگر جسم الکترون بگیرد ← تعداد پروتون > تعداد الکترون ← بار جسم منفی است و در فرمول، از علامت (−) استفاده می‌کنیم.

۲) اگر جسم الکترون از دست دهد ← تعداد پرتون > تعداد الکترون ← بار جسم مثبت است و در فرمول، از علامت (+) استفاده می‌کنیم.

■ یک کولن، مقدار بزرگی است و در این فصل بیشتر با میکروکولن (μC) و نانوکولن (nC) سروکار داریم:

$$1\,nC = 10^{-9}\,C \qquad 1\,\mu C = 10^{-6}\,C$$

■ بارهای ناهم‌نام همدیگر را **جذب** و بارهای هم‌نام یکدیگر را **دفع** می‌کنند. به جهت چرخش میله‌های آویزان در شکل‌های زیر دقت کنید.



مثال

عدد اتمی عنصر X برابر ۵۰ است. ($e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C$)
الف) بار الکتریکی هستهٔ اتم این عنصر، چند کولن است؟
ب) بار الکتریکی یون فرضی $X^{۲-}$ چند کولن است؟

پاسخ الف) هستهٔ اتم این عنصر ۵۰ تا پروتون دارد. پس:

$$q_{\text{هسته}} = +ne = ۵۰ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۸ \times ۱۰^{-۱۸} C$$

ب) این یون، ۲ الکترون گرفته است. پس بار الکتریکی‌اش منفی است:

$$q_{\text{یون}} = -ne = -۲ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = -۳/۲ \times ۱۰^{-۱۹}\ C$$

مثال

وقتی روی فرش راه می‌روید و بدنتان بار الکتریکی پیدا می‌کند، هنگام دست‌دادن با دوستانتان، ممکن است با انتقال باری در حدود ۱nC به او شوک خفیفی وارد کنید. در این انتقال بار، چند الکترون بین شما و دوستتان منتقل شده است؟ ($e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C$)

پاسخ در فرمول $q = ne$، e و q را داریم و باید n را حساب کنیم:

(تبدیل nC به C)

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{۱ \times ۱۰^{-۹}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۶/۲۵ \times ۱۰^{۹}$$

۳- سری الکتریسیتهٔ مالشی

برای باردارشدن یک جسم سه روش وجود دارد:

۱ مالش ۲ تماس ۳ القا

در مورد روش مالش باید بدانید که:

- هنگام مالش دو جسم مختلف، تعدادی **الکترون** از یکی به دیگری منتقل شده و در دو جسم بارهای ناهم‌نام و هم‌اندازه ایجاد می‌شود.

■ نوع باری که دو جسم هنگام مالش پیدا می‌کنند به گرفتن یا از دست دادن الکترون توسط آن‌ها بستگی دارد، یعنی:

جسمی که الکترون می‌گیرد ⟵ تعداد الکترون‌هایش بیشتر از پروتون‌هایش می‌شود ⟵ بار منفی پیدا می‌کند.

جسمی که الکترون از دست می‌دهد ⟵ تعداد الکترون‌هایش کم‌تر از پروتون‌هایش می‌شود ⟵ بار مثبت پیدا می‌کند.

■ این‌که کدام جسم الکترون می‌گیرد و کدام جسم الکترون از دست می‌دهد، بستگی به جایگاه آن در جدول **سری الکتریستهٔ مالشی (تریبوالکتریک)** دارد. در این جدول با حرکت از بالا به پایین، الکترون‌خواهی مواد بیشتر می‌شود. بنابراین هنگام مالش دو جسم، جسمی که در این جدول بالاتر است (به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر است)، بار مثبت و جسمی که در این جدول پایین‌تر است (به انتهای منفی سری نزدیک‌تر است)، بار منفی پیدا می‌کند.

نمونهٔ ۱ مالش میلهٔ شیشه‌ای با پارچهٔ ابریشمی: شیشه بالاتر از ابریشم است، پس:

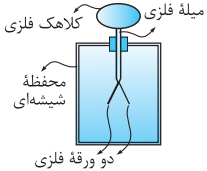
میله شیشه‌ای: مثبت
پارچه ابریشمی: منفی

نمونهٔ ۲ مالش میلهٔ چوبی با پارچهٔ ابریشمی: ابریشم بالاتر از چوب است.

میله چوبی: منفی
پارچه ابریشمی: مثبت

سری الکتریستهٔ مالشی (تریبوالکتریک)
انتهای مثبت سری
موی انسان شیشه نایلون پشم موی گربه سُرب ابریشم آلومینیم پوست انسان کاغذ چوب پارچهٔ کتان کهربا برنج، نقره پلاستیک، پلی‌اتیلن لاستیک تفلون
انتهای منفی سری

۴- الکتروسکوپ



■ **الکتروسکوپ یا برق‌نما،** وسیله‌ای است به شکل روبه‌رو که از یک کلاهک فلزی، یک میلهٔ فلزی و دو ورقهٔ فلزی خیلی سبک تشکیل شده است. اگر الکتروسکوپ باردار شود، به دلیل ایجاد بارهای هم‌نام، در دو ورق، آن‌ها از هم دور می‌شوند.

■ به وسیلهٔ الکتروسکوپ می‌توانیم بفهمیم که:

۱ یک جسم بار دارد یا نه؟

۲ بار جسم مثبت است یا منفی؟

۳ یک جسم رساناست یا نارسانا؟

مثال

یک میلهٔ چوبی را به موی سر مالش داده و آن را به کلاهک یک الکتروسکوپ با بار منفی نزدیک می‌کنیم. زاویهٔ بین ورقه‌های الکتروسکوپ چگونه تغییر می‌کند؟ (از جدول سری الکتریستهٔ مالشی استفاده کنید.)

پاسخ ورقه‌های الکتروسکوپ، ابتدا دارای بار هم‌نام منفی هستند، پس مقداری از هم فاصله گرفته‌اند. با مالش میلهٔ چوبی با موی سر، چون در جدول الکتریسیته مالشی چوب به انتهای منفی نزدیک‌تر است، میلهٔ چوبی بار منفی پیدا می‌کند. وقتی این میله را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم، در الکتروسکوپ بارهای منفی از کلاهک به سمت ورقه‌ها حرکت می‌کنند. یعنی بار ورقه‌ها منفی‌تر شده و فاصله‌شان از هم بیشتر می‌شود.

۵- دو اصل مهم دربارهٔ بار الکتریکی

الف- اصل پایستگی بار

مجموع جبری بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است. یعنی بار نه به وجود می‌آید، نه از بین می‌رود. بلکه تنها از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود.

نکته اگر دو کرهٔ رسانای باردار با هم تماس پیدا کنند، جمع بار دو کره، قبل و بعد از تماس، با هم برابر است: $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$

قبل از تماس

بعد از تماس

حواستان باشد ۱ در فرمول بالا، علامت بارها را باید قرار دهیم.

۲ اگر دو کرهٔ رسانا، هم‌اندازه باشند، بعد از تماس بارشان یکسان می‌شود، پس:

$$q'_۱ = q'_۲ = \frac{q_۱ + q_۲}{۲}$$

مثال

دو کرهٔ رسانای مشابه روی پایه‌های عایقی قرار دارند. بار این دو کره $-۱۲\ \mu C$ و $+۸\ \mu C$ است. اگر دو کره با یک سیم به هم وصل شوند، بار هر یک چند میکروکولن می‌شود؟

پاسخ اتصال دو کره به وسیلهٔ یک سیم، مثل حالتی است که دو کره با هم تماس پیدا می‌کنند. چون کره‌ها هم‌اندازه‌اند، بعد از تماس بارشان مساوی می‌شود، پس:

$$\text{بار دو کره بعد از تماس} = \frac{q_۱ + q_۲}{۲} = \frac{(-۱۲) + (+۸)}{۲} = -۲\ \mu C$$

ب) کوانتیده‌بودن بار

طبق فرمول $q = \pm ne$، بار الکتریکی یک جسم حتماً مضرب درستی از بار بنیادی است و هر مقداری نمی‌تواند داشته باشد. به این ویژگی، **کوانتیده**بودن بار می‌گوییم.

نکته اگر فرمول $q = \pm ne$ را به شکل $n = \pm \frac{q}{e}$ بنویسیم، طبق اصل کوانتیده‌بودن بار، مقدارهای مجاز برای q به گونه‌ای است که n یک عدد درست (صحیح) شود.

تست

بار الکتریکی یک جسم برابر با کدام‌یک از مقادیر زیر نمی‌تواند باشد؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C)$

۱) $q_۱ = ۳\ nC$

۲) $q_۲ = ۸\ nC$

۳) $q_۳ = ۱۰^{-۱۸}\ C$

۴) $q_۴ = ۱\ C$

پاسخ| گزینهٔ ۳ با استفاده از فرمول $n=\frac{q}{e}$، n را در هر مورد حساب می‌کنیم. n باید یک عدد صحیح باشد:

$$n=\frac{q}{C}\begin{cases}(۱)\text{ گزینهٔ }: n_۱=\frac{۳\times ۱۰^{-۹}}{۱/۶\times ۱۰^{-۱۹}}=\frac{۳}{۱۶}\times ۱۰^{۱۱} & \checkmark\\ (۲)\text{ گزینهٔ }: n_۲=\frac{۸\times ۱۰^{-۹}}{۱/۶\times ۱۰^{-۱۹}}=۵\times ۱۰^{۱۰} & \checkmark\\ (۳)\text{ گزینهٔ }: n_۳=\frac{۱۰^{-۱۸}}{۱/۶\times ۱۰^{-۱۹}}=\frac{۱۰}{۱/۶}=\frac{۵۰}{۸} & \times\\ (۴)\text{ گزینهٔ }: n_۴=\frac{۱}{۱/۶\times ۱۰^{-۱۹}}=\frac{۱}{۱۶}\times ۱۰^{۲۰} & \checkmark\end{cases}$$

پرسش های تستی

۱- چند الکترون باید از یک سکهٔ خنثی خارج شود تا بار الکتریکی آن $+1\,\mu C$ شود؟ $(e = 1/6\times10^{-19}\ C)$ (ریاضی ۹۵)

۱) $1/6\times10^{6}$
۲) $1/6\times10^{12}$
۳) $6/25\times10^{6}$
۴) $6/25\times10^{12}$

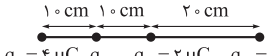
۲- دو بار الکتریکی نقطه‌ای q_1 و $q_2 = 5q_1$ در فاصلهٔ ۳ متری هم قرار دارند و نیروی دافعهٔ $0/02\ N$ به یکدیگر وارد می‌کنند. q_1 چند میکروکولن است؟ $(k = 9\times10^{9}\ \frac{N.m^2}{C^2})$ (خارج تجربی ۹۱)

۱) ۱۰
۲) ۵
۳) ۴
۴) ۲

۳- میدان الکتریکی حاصل از بار q در نقطهٔ A که در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری آن قرار دارد، برابر $10^5\ N/C$ است. اگر بار q' در نقطهٔ A قرار گیرد، نیرویی برابر $0/02\ N$ از طرف میدان به آن وارد می‌شود. q و q' به ترتیب از راست به چپ، چند میکروکولن‌اند؟ $(k = 9\times10^{9}\ \frac{N.m^2}{C^2})$ (تجربی ۹۷)

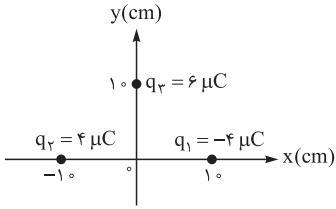
۱) ۱، ۰/۲
۲) ۱۰، ۰/۲
۳) ۱، ۰/۵
۴) ۱۰، ۰/۵

۴- در شکل مقابل برایند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_4 برابر صفر است. بار q_3 چند میکروکولن است؟ (ریاضی ۹۱)



۱) ۱۸
۲) ۸
۳) -8
۴) -18

۵- در شکل زیر، ۳ بار الکتریکی در نقاط مشخص‌شده قرار دارند. بردار میدان الکتریکی در مرکز مختصات کدام است؟ $\left(k = 9\times10^{9}\ \frac{N.m^2}{C^2}\right)$ (خارج ریاضی ۹۱)



۱) $9\times10^{6}\ \vec{i}$

۲) $5/4\times10^{6}\ \vec{j}$

۳) $10^{6}(7/2\vec{i} - 5/4\vec{i})$

۴) $10^{6}(5/4\vec{i} - 7/2\vec{j})$

۶- در یک میدان الکتریکی، بار $q = -2\mu C$ از نقطهٔ A تا B جابه‌جا می‌شود. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی آن در نقطه‌های A و B به ترتیب ۰/۴ mJ و ۰/۶ mJ باشد و پتانسیل نقطهٔ A برابر ۲۰ V باشد، پتانسیل نقطهٔ B چند ولت است؟ (خارج تجربی ۹۳)

۱) ۸۰

۲) −۸۰

۳) −۱۲۰

۴) ۱۲۰

۷- در یک فضا میدان الکتریکی ثابت و یکنواخت برقرار است. ذره‌ای با بار الکتریکی منفی را در نقطه‌ای از فضا در حال سکون رها می‌کنیم. تا زمانی که ذره تحت اثر میدان الکتریکی در این فضا جابه‌جا می‌شود، به سمت مکان‌هایی با پتانسیل الکتریکی ..... می‌رود و انرژی پتانسیل الکتریکی آن ..... می‌یابد (از وزن ذره صرف‌نظر شود). (خارج ریاضی ۹۳)

۱) کم‌تر ـ افزایش

۲) کم‌تر ـ کاهش

۳) بیشتر ـ افزایش

۴) بیشتر ـ کاهش

۸- بین دو صفحهٔ موازی که به فاصلهٔ $2\,cm$ از هم قرار دارند، اختلاف پتانسیل الکتریکی ۵۰۰ ولت ایجاد کرده‌ایم. اگر یک ذرهٔ آلفا بین این دو صفحه قرار گیرد. نیروی الکتریکی وارد بر آن چند نیوتون خواهد شد؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19}\,C$ و ذرهٔ آلفا هستهٔ اتم هلیم است.) (سراسری ریاضی ۹۵)

۱) 8×10^{-13} ۲) 8×10^{-15}

۳) 4×10^{-13} ۴) 4×10^{-15}

۹- خازنی به منبع برق ۲۰۰ ولت وصل است. اگر انرژی ذخیره‌شده در آن $1/8\,J$ باشد، ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟ (خارج تجربی ۹۳)

۱) ۲۷ ۲) ۳۶

۳) ۹۰ ۴) ۱۸۰

۱۰- دو سر خازنی را که دی‌الکتریک آن هوا است به دو سر باتری وصل می‌کنیم. انرژی ذخیره‌شده در آن u می‌شود. اگر در حالتی که به باتری وصل است. فاصلهٔ بین دو صفحه را n برابر کنیم. انرژی آن u' می‌شود. ولی اگر همان خازن اولیه را از باتری جدا کنیم و سپس، فاصلهٔ بین دو صفحه را n برابر کنیم. انرژی آن u'' می‌شود. نسبت $\frac{u''}{u'}$ چه‌قدر است؟ (خارج ریاضی ۹۳)

۱) $\frac{1}{n}$ ۲) n

۳) $\frac{1}{n^2}$ ۴) n^2

پاسخ پرسش‌های تستی

۱- گزینهٔ «۴» q و e را داریم و با یک حساب و کتاب ساده باید n را تعیین کنیم. فقط باید حواسمان به تبدیل واحدهای لازم باشد.

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{1\times10^{-6}}{1/6\times10^{-19}} = 6/25\times10^{12}$$

۲- گزینهٔ «۴» داده‌ها و خواستهٔ مسئله ما را راهنمایی می‌کند که از فرمول $F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2}$ استفاده کنیم.

$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 0/02 = 9\times10^9 \times \frac{q_1\times5q_1}{3^2}$$

$$\Rightarrow q_1^2 = 4\times10^{-12} \Rightarrow q_1 = 2\times10^{-6}\ C = 2\ \mu C$$

۳- گزینهٔ «۱» **گام اول** میدان حاصل از بار q در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری‌اش برابر $10^5\ \frac{N}{C}$ است، پس:

$$E = k\frac{|q|}{r^2} \Rightarrow 10^5 = 9\times10^9 \times \frac{q}{(30\times10^{-2})^2} \Rightarrow q = 10^{-6}\ C = 1\ \mu C$$

گام دوم در محل بار q' اندازهٔ میدان $10^5\ N/C$ و نیروی وارد بر آن $0/02\ N$ است؛ بنابراین:

$$F = E|q'| \Rightarrow 0/02 = 10^5 \times q' \Rightarrow |q'| = 2\times10^{-7}\ C = 0/2\ \mu C$$

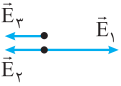
۴- گزینهٔ «۱» **گام اول** برای این‌که برایند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_4 صفر باشد، باید میدان الکتریکی برایند در این نقطه برابر صفر شود. اندازهٔ میدان الکتریکی حاصل از بارهای q_1 و q_2 را در محل بار q_4 حساب می‌کنیم:

$$E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2} = 9\times10^9 \times \frac{4\times10^{-6}}{(0/1)^2} = 36\times10^5\ N/C$$

$$E_۲ = k\frac{|q_۲|}{r_۲^۲} = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۲\times۱۰^{-۶}}{(۰/۱)^۲} = ۱۸\times۱۰^۵ \ N/C$$

گام دوم $\vec{E}_۱$ به طرف راست و $\vec{E}_۲$ به طرف چپ است.

چون $E_۱ > E_۲$ است، برای این‌که برایند تمام میدان‌ها در این نقطه (محل $q_۴$) برابر صفر شود، باید $\vec{E}_۳$ با $\vec{E}_۲$ هم‌جهت باشد. پس $q_۳$ مثبت است (رد گزینه‌های (۳) و (۴)). در مورد اندازهٔ $E_۳$ هم می‌توانیم بگوییم:



$$E_۳ + E_۲ = E_۱ \Rightarrow E_۳ = E_۱ - E_۲ = ۳۶\times۱۰^۵ - ۱۸\times۱۰^۵ = ۱۸\times۱۰^۵ \ N$$

گام سوم با داشتن $E_۳$ می‌توانیم $q_۳$ را به شکل زیر حساب کنیم:

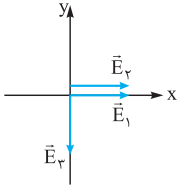
$$E_۳ = k\frac{|q_۳|}{r_۳^۲} \Rightarrow ۱۸\times۱۰^۵ = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{q_۳}{(۰/۳)^۲}$$

$$\Rightarrow q_۳ = ۱۸\times۱۰^{-۶} \ C = ۱۸ \ \mu C$$

۵- گزینهٔ «۳» **گام اول** می‌خواهیم «بردار میدان الکتریکی در مرکز مختصات» را برحسب بردارهای یکه به دست بیاوریم. پس ابتدا با استفاده از فرمول $E = k\frac{|q|}{r^۲}$، میدان ناشی از هر بار را به دست می‌آوریم:

$$E = k\frac{|q|}{r^۲} \Rightarrow \begin{cases} E_۱ = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۴\times۱۰^{-۶}}{(۰/۱)^۲} = ۳/۶\times۱۰^۶ \ N/C \\ E_۲ = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۴\times۱۰^{-۶}}{(۰/۱)^۲} = ۳/۶\times۱۰^۶ \ N/C \\ E_۳ = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۶\times۱۰^{-۶}}{(۰/۱)^۲} = ۵/۴\times۱۰^۶ \ N/C \end{cases}$$

گام دوم q_1 منفی و q_2 و q_3 مثبت‌اند؛ بنابراین جهت‌های $\vec{E}_1$، $\vec{E}_2$ و $\vec{E}_3$ به شکل زیر هستند. در نتیجه داریم:



$$\vec{E}_1 = +(3/6\times10^6)\vec{i}$$
$$\vec{E}_2 = +(3/6\times10^6)\vec{i}$$
$$\vec{E}_3 = -(5/4\times10^6)\vec{j}$$

گام سوم برای پیداکردن بردار میدان برایند، ۳ بردار بالا را با هم جمع می‌کنیم:

$$\vec{E}_T = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$
$$= +(7/2\times10^6)\vec{i} - (5/4\times10^6)\vec{j} = (7/2\vec{i} - 5/4\vec{j})\times10^6$$

۶- گزینهٔ «۲» با سه کمیت انرژی پتانسیل الکتریکی (U)، پتانسیل الکتریکی (V) و بار الکتریکی (q) سروکار داریم. فرمولی که این سه کمیت را به هم مربوط می‌کند، $\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$ است. نکتهٔ مهم در استفاده از این فرمول، توجه به علامت سه کمیت ΔU، ΔV و q است.

$$\Delta V = V_B - V_A = V_B - 20,\ q = -2\,\mu C = -2\times10^{-6}\,C$$
$$\Delta U = U_B - U_A = 0/6 - 0/4 = 0/2\,mJ = 0/2\times10^{-3}\,J$$
$$\Rightarrow V_B - 20 = \frac{0/2\times10^{-3}}{-2\times10^{-6}} = -100 \Rightarrow V_B = -80\,V$$

۷- گزینهٔ «۴» می‌دانیم بار منفی بعد از رهاشدن در خلاف جهت خطوط میدان حرکت می‌کند، یعنی به سمت مکان‌هایی با پتانسیل بیشتر می‌رود. بار در جهتی که تمایل دارد حرکت کرده است، پس انرژی پتانسیل الکتریکی‌اش کاهش می‌یابد. به زبان ریاضی:

انرژی پتانسیل آن کاهش می‌یابد. $\Rightarrow \Delta U < 0 \xrightarrow[q<0]{\Delta V>0} \Delta V = \frac{\Delta U}{q}$

۸- گزینهٔ «۲» **گام اول** برای محاسبهٔ میدان الکتریکی بین دو صفحه از فرمول $E=\frac{\Delta V}{d}$، استفاده می‌کنیم.

$$E=\frac{\Delta V}{d}=\frac{۵۰۰}{۲\times۱۰^{-۲}}=۲/۵\times۱۰^{۴}\ N/C \quad یا \quad V/m$$

گام دوم بار ذرهٔ آلفا معادل بار دو پروتون است، پس:

$$q=ne \xrightarrow{n=۲} q=۲\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹}=۳/۲\times۱۰^{-۱۹}\ C$$

گام سوم اندازهٔ نیروی وارد بر بار در میدان الکتریکی به شکل زیر به دست می‌آید:

$$F=E|q|=(۲/۵\times۱۰^{۴})\times(۳/۲\times۱۰^{-۱۹})=۸\times۱۰^{-۱۵}\ N$$

۹- گزینهٔ «۳» با خازنی طرف هستیم که اختلاف پتانسیل دو سر آن و انرژی ذخیره‌شده در آن را داریم و می‌خواهیم ظرفیت آن را حساب کنیم. فرمولی که این سه کمیت را به هم مربوط می‌کند $U=\frac{۱}{۲}CV^{۲}$ است، پس:

$$U=\frac{۱}{۲}CV^{۲}\Rightarrow ۱/۸=\frac{۱}{۲}\times C\times(۲۰۰)^{۲}\Rightarrow C=۰/۹\times۱۰^{-۴}\ F=۹۰\mu F$$

۱۰- گزینهٔ «۴» **گام اول** طبق فرمول $C=k\varepsilon_{۰}\frac{A}{d}$، با n برابرشدن فاصلهٔ بین دو صفحه (d)، ظرفیت خازن (C)، $\frac{۱}{n}$ برابر می‌شود.

گام دوم در حالتی که خازن به باتری وصل است، انرژی ذخیره‌شده در آن با ظرفیت، نسبت مستقیم دارد. ظرفیت، $\frac{۱}{n}$ برابر شده است، پس انرژی هم $\frac{۱}{n}$ برابر می‌شود؛ یعنی: $u'=\frac{۱}{n}u$

گام سوم وقتی خازن را از باتری جدا کرده‌ایم، انرژی خازن با ظرفیت آن تناسب وارون دارد. پس با $\frac{۱}{n}$ برابرشدن ظرفیت، انرژی n برابر می‌شود، یعنی: $u''=nu$

گام چهارم

$$\frac{u''}{u'}=\frac{nu}{\frac{۱}{n}u}=n^{۲}$$

ضمائم

فرمول‌ها

فصل ۱

۱ بار الکتریکی:

$$q = \pm n e \qquad n = 0, 1, 2, \ldots$$

q: بار الکتریکی (کولن: C)
e: بار بنیادی (کولن: C)
n: تعداد الکترون‌های گرفته‌شده یا از دست‌رفته

علامت + : اگر الکترون از دست رود، علامت − : اگر الکترون گرفته شود.

۲ رابطهٔ قانون کولن:

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

F: نیروی الکتریکی (نیوتون: N)
k: ثابت کولن
q_1 و q_2: بار الکتریکی دو ذره (کولن: C)
r: فاصلهٔ دو ذره (متر: m)

۳ میدان الکتریکی حاصل از ذرهٔ باردار:

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

E: میدان الکتریکی $\left(\frac{\text{نیوتون}}{\text{کولن}} : \frac{N}{C}\right)$
k: ثابت کولن
q: بار الکتریکی ذره (کولن: C)
r: فاصلهٔ نقطه تا ذره (متر: m)

۴ نیروی وارد بر بار در میدان الکتریکی:

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

$\vec{F}$: نیروی الکتریکی (نیوتون: N)
q: بار الکتریکی (کولن: C)
$\vec{E}$: میدان الکتریکی $\left(\frac{\text{نیوتون}}{\text{کولن}} : \frac{N}{C}\right)$

علامت بار الکتریکی باید لحاظ شود.

۵ کار انجام‌شده توسط میدان الکتریکی یکنواخت:

$$W_E = \pm E|q|d$$

- W_E: کار میدان (ژول: J)
- q: بار الکتریکی (کولن: C)
- d: جابه‌جایی بار در راستای میدان (متر: m)
- E: اندازهٔ میدان $\left(\frac{\text{نیوتون}}{\text{کولن}} : \frac{N}{C}\right)$

علامت $+$: بار در جهت نیروی میدان حرکت می‌کند.

علامت $-$: بار در خلاف جهت نیروی میدان حرکت می‌کند.

۶ تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی بار:

$$\Delta U_E = -W_E$$

- ΔU_E: تغییر انرژی پتانسیل بار (ژول: J)
- W_E: کار انجام‌شده توسط میدان (ژول: J)

۷ اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$$

- ΔV: اختلاف پتانسیل (ولت: V)
- ΔU: تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی (ژول: J)
- q: بار الکتریکی (کولن: C)

$$\Delta V = V_{\text{مقصد}} - V_{\text{مبدأ}}$$

علامت بار باید لحاظ شود.

بار انرژی بگیرد: $\Delta U > 0$ ، بار انرژی از دست دهد (آزاد شود): $\Delta U < 0$

۸ رابطهٔ اختلاف پتانسیل دو نقطه در میدان یکنواخت:

$$|\Delta V| = E d$$

- $|\Delta V|$: اختلاف پتانسیل (ولت: V)
- d: فاصلهٔ دو نقطه در راستای میدان (متر: m)
- E: اندازهٔ میدان یکنواخت $\left(\frac{\text{نیوتون}}{\text{کولن}} : \frac{N}{C}\right)$