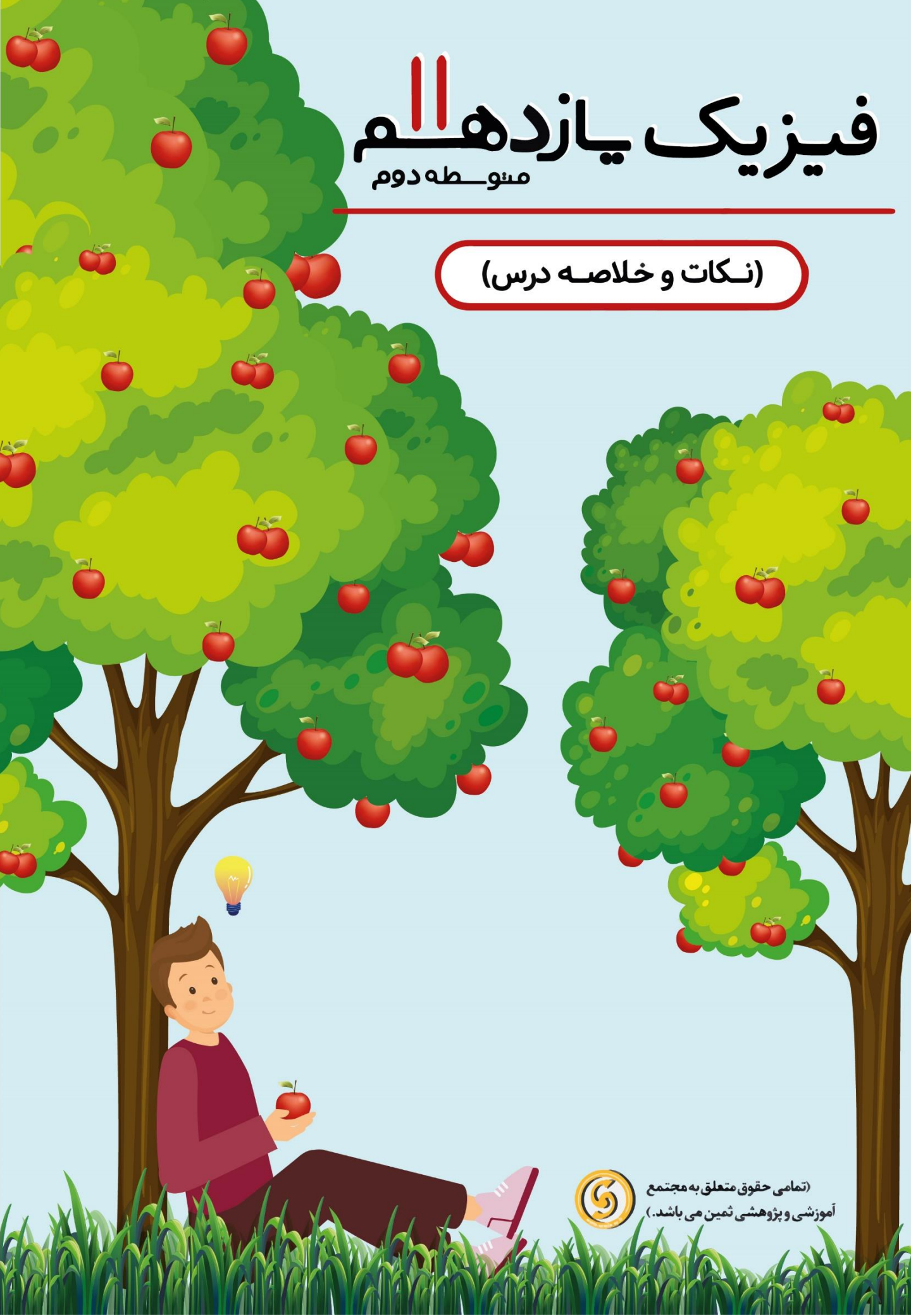
فیزیک یازدهم

متوسطه دوم

(نکات و خلاصه درس)



(تمامی حقوق متعلق به مجتمع
آموزشی و پژوهشی ثمین می باشد.)

فصل اول:الکتریسیته ساکن

معمولاً وقتی دو جسم با یکدیگر مالش داده میشوند، هر دوی آنها دارای بار الکتریکی می‌شوند و بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

بنیامین فرانکلین ← دو نوع بار الکتریکی:
- پروتون : مثبت (+)
- الکترون : منفی (−)

نوع باری که دو جسم مختلف بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آنها بستگی دارد.

باردار بودن یک جسم و نوع بار آن را می‌توانیم با الکتروسکوپ (برقنما) تعیین کنیم.

یکای بار الکتریکی در SI کولُن (C) است:
- درآذرخش، باری از مرتبه $10\ C$ به زمین منتقل می‌شود.
- در مالش شانه پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل شده از مرتبه نانوکولن(nC) است.

پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی :

در یک اتم خنثی، تعداد الکترونها برابر با تعداد پروتون های هسته است. بنابراین، جمع جبری همه بارها (بار خالص) دقیقاً برابر با صفر است.

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 (با نماد e) می‌گویند که برابر است با :

$$e = 1.602176\,53 \times 10^{-19}\ C \approx 1.60 \times 10^{-19}\ C$$

در مالش دو جسم، بار الکتریکی خالص جسمی که الکترون از دست می‌دهد مثبت و جسمی که الکترون به دست می‌آورد منفی است.

به دست آوردن یا از دست دادن الکترون دو جسم در تماس با یکدیگر را میتوان براساس جدولی موسوم به سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک) مشخص کرد.

هر چه مواد در این جدول پایین‌تر قرار داشته باشند الکترون خواهی بیشتری دارند. یعنی در تماس دو ماده از این جدول، الکترون ها از ماده بالاتر به ماده پایین‌تر منتقل می‌شوند.

اصل پایستگی بار الکتریکی:

مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی (ایزوله) ثابت است. یعنی بار میتواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

کوانتیده بودن بار الکتریکی:

بار الکتریکی مشاهده شده در هر جسم در هر لحظه همواره مضرب درستی از بار بنیادی e است. یعنی:

$$q = \pm ne \quad , \quad n = ۰,۱,۲,\dots$$

تعداد اعضای یک خانواده یا تعداد خودرو های داخل یک پارکینگ از جمله مثال های کوانتیده بودن یک کمیت هستند. زیرا نمیتوان اعضای یک خانواده را ۴.۷ نفر اعلام کرد یا تعداد خودرو های داخل یک پارکینگ نمی‌تواند عددی همچون ۸.۲ باشد.

مثال: حتما برای شما هم پیش آمده است که در منزل هنگام دست زدن به دستگیره فلزی درب شوک خفیفی به دستتان وارد شده باشد. دلیل این اتفاق این است که گاهی با راه رفتن روی فرش، بدن انسان

بار الکتریکی پیدا می‌کند و این بار الکتریکی در هنگام دست زدن به جسمی مانند فلز دستگیره به سرعت از بدن تخلیه می‌شود. اگر فرض کنیم در این حالت بار منتقل شده بین بدن و دستگیره درب حدود ۱ نانو کولن بوده باشد می‌توانیم تعداد الکترون های انتقال یافته در این فرآیند را از طریق فرمول قبلی بدست آوریم:

$$q = ne \implies n = \frac{q}{e} = \frac{۱ \times ۱۰^{-۹}\ C}{۱.۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}\ C} \approx ۶ \times ۱۰^{۹} \text{ الکترون}$$

قانون کولن:

می‌دانیم نیروی الکتریکی که دو جسم باردار برهم وارد می‌کنند می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد.

اگر بارهای الکتریکی دو جسم همنام باشند، این نیرو دافعه است و اگر ناهمنام باشند، این نیرو جاذبه است.

این قانون که توسط شارل آگوستین کولن دانشمند فرانسوی کشف شده بیان می‌دارد که:

اندازه نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه ای که در راستای خط واصل آنها اثر می‌کند، با حاصل ضرب بزرگی آنها متناسب است و با مربع فاصله بین آنها نسبت وارون دارد. بر این اساس:

$$F = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}$$

که در آن $q_۱$ و $q_۲$ بارهای الکتریکی دو بار نقطه ای برحسب کولن(C) ، r فاصله بین دو بار برحسب متر(m) و F بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر بار برحسب نیوتون (N) است. در این رابطه k ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد و برابر است با:

$$k = ۸.۹۸۷۵۵۱۷۹ \times ۱۰^{۹}\ N.m^۲/C^۲ \approx ۹.۰ \times ۱۰^{۹}\ N.m^۲/C^۲$$

مثال: سه ذره با بارهای $q_1 = +۲.۵\ \mu C$ ، $q_۲ = -۱.۰\ \mu C$ ، $q_۳ = +۴.۰ \mu C$ در نقاط A،B،C مطابق شکل ثابت شده اند.نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار $q_۲$ را محاسبه کنید.

پاسخ: نیروی الکتریکی خالصی که بر بار $q_۲$ وارد می‌شود، برآیند دو نیرویی است که از طرف بارهای $q_۱$ و $q_۳$ بر آن وارد می‌شود.

$$F_{۱۲} = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲_{۱۲}} = ۹.۰ \times ۱۰^۹\ N.m^۲/C^۲ \frac{(۲.۵ \times ۱۰^{-۶}C)(۱.۰ \times ۱۰^{-۶}C)}{(۴.۰\ m)^۲}$$

$$\approx ۱.۴ \times ۱۰^{-۳}N$$

$$F_{۳۲} = k\frac{|q_۳||q_۲|}{r^۲_{۳۲}} = ۹.۰ \times ۱۰^۹\ N.m^۲/C^۲ \frac{(۴ \times ۱۰^{-۶}C)(۱.۰ \times ۱۰^{-۶}C)}{(۲.۰\ m)^۲}$$

$$\approx ۹ \times ۱۰^{-۳}N$$

نیرویی که بار $q_۱$ و $q_۳$ به بار $q_۲$ وارد می‌کنند هر دو از نوع جاذبه است اما در خلاف جهت همدیگر

بنابراین داریم: $$F_T = F_{۳۲} - F_{۱۲} = ۷.۶ \times ۱۰^{-۳}N$$

اگر این خط واصل بار ها را بر روی محور x ها در نظر بگیریم میتوان با استفاده از بردار یکّه گفت:

$$\vec{F}_T = (۷.۶ \times ۱۰^{-۳}N)\ \vec{i}$$

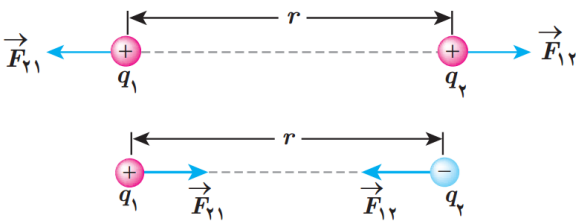
ثابت کولن را می‌توان بر حسب یک ضریب ثابت دیگر به نام ضریب گذردهی الکتریکی خلأ (ε_0) نیز نوشت:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

که در آن:

$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \quad C^2/N.m^2$$

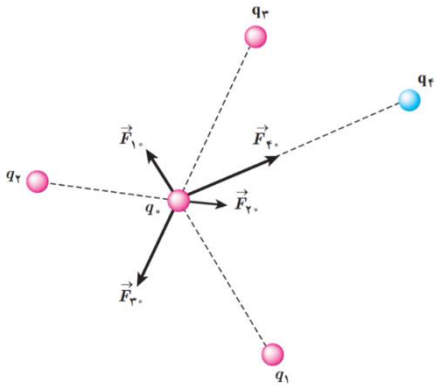
در شکل زیر $\vec{F}_{12}$ نیرویی است که بار نقطه ای q_1 به بار نقطه ای q_2 وارد می‌کند و $\vec{F}_{21}$ نیرویی است که بار نقطه ای q_2 به بار نقطه ای q_1 وارد می‌کند که بنا به قانون سوم نیوتون این دو نیرو هم اندازه، هم راستا و در خلاف جهت یکدیگرند.



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \implies F_{12} = F_{21}$$

برهمنهی نیروهای الکتروستاتیکی:

اگر تعدادی بار نقطه ای داشته باشیم نیروی الکتریکی وارد بر هر ذرّه، برآیند نیروهایی است که هر یک از ذرّه های دیگر در غیاب سایر ذرّه ها، بر آن ذرّه وارد می‌کنند.



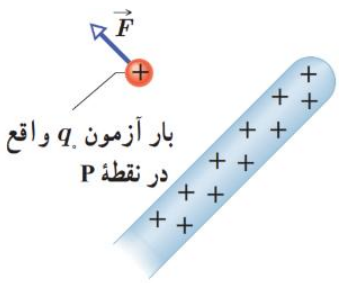
به طور مثال در شکل زیر:

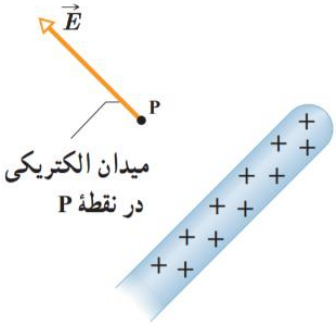
$$\vec{F}_{T.} = \vec{F}_{1.} + \vec{F}_{2.} + \vec{F}_{3.} + \vec{F}_{4.}$$

میدان الکتریکی:

میدان الکتریکی در واقع خاصیتی در فضای پیرامون هر جسم یا ذره باردار است که جسم باردار به واسطه آن بر ذرات و اجسام باردار دیگر نیرو وارد می‌کند.

برای یافتن میدان الکتریکی هر نقطه از فضای اطراف یک جسم باردار باید بار کوچک و مثبت $q.$ (بار آزمون) را در آن نقطه قرار داده و نیروی وارد بر آن را اندازه بگیریم. میدان الکتریکی ناشی از جسم باردار در آن نقطه به این صورت

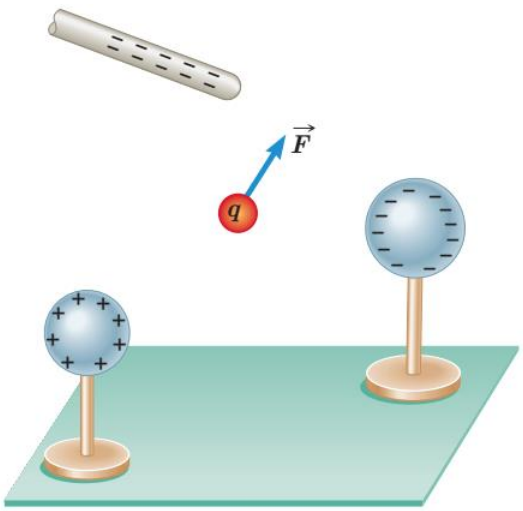




$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q.}$$

میدان الکتریکی کمیتی برداری است و اندازه آن برابر $\frac{F}{q.}$ و جهت آن همان جهت نیروی وارد بر بار آزمون است و یکای آن نیوتون بر کولن (N/C) می‌باشد.

مثال: بار آزمون نشان داده شده در شکل $q. = +۳.۰ \times ۱۰^{-۸} C$ است و از سوی دو گوی و یک میله باردار نیرویی برابر با $F = ۶.۰ \times ۱۰^{-۵} N$ در جهت نشان داده شده بر آن وارد می‌شود.



الف) میدان الکتریکی در محل بار آزمون را تعیین کنید.

ب) اگر بار $+۱۲ \times ۱۰^{-۸} C$ را به جای $q.$ قرار دهیم چه نیرویی به آن وارد می‌شود؟

پاسخ:

الف) بزرگی میدان الکتریکی برابر است با:

$$E = \frac{F}{q.} = \frac{۶.۰ \times ۱۰^{-۵} N}{۳.۰ \times ۱۰^{-۸} C} = ۲.۰ \times ۱۰^{۳}\, N/C$$

که هم جهت با نیروی $\vec{F}$ نشان داده شده در شکل است.

ب) حال که بزرگی میدان را می‌دانیم می‌توانیم نیروی وارد بر هر مقدار باری را بدست آوریم.

$$F = q.E = (۱۲ \times ۱۰^{-۸} C)(۲.۰ \times ۱۰^{۳}\, N/C) = ۲۴ \times ۱۰^{-۵} N$$

میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار:

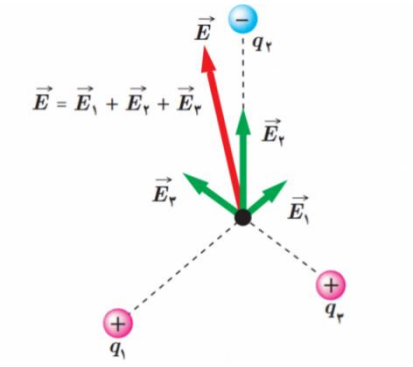
میدان الکتریکی ناشی از ذره ای با بار q در نقطه A که به فاصله r از بار q قرار دارد برابر است با:

$$\mathrm{E} = k\frac{|q|}{r^{۲}}$$

طبق این رابطه، میدان با اندازه بار q نسبت مستقیم و با مربع فاصله از آن، نسبت وارون دارد.

برهمنهی میدان های الکتریکی:

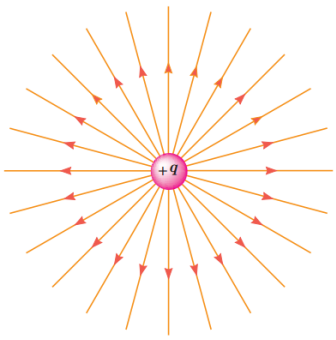
میدان الکتریکی ناشی از چند بار الکتریکی در نقطه ای از فضا، برابر مجموع میدان هایی است که هر بار در غیاب سایربارها در آن نقطه از فضا ایجاد می کند.



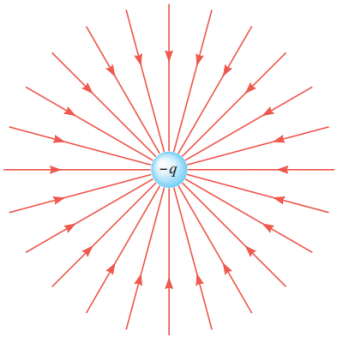
$$E = \vec{E}_۱ + \vec{E}_۲ + \vec{E}_۳$$

خطوط میدان الکتریکی:

برای مجسم کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار از خطهای جهتداری موسوم به خطوط میدان الکتریکی استفاده میکنیم.

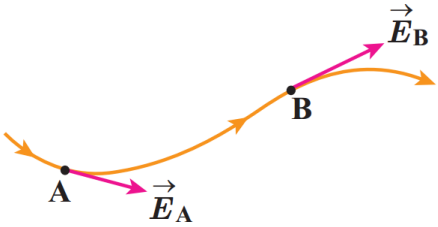


الف) خطوط میدان الکتریکی در جهتِ دور شدن از ذرّهٔ باردار $q+$ است.

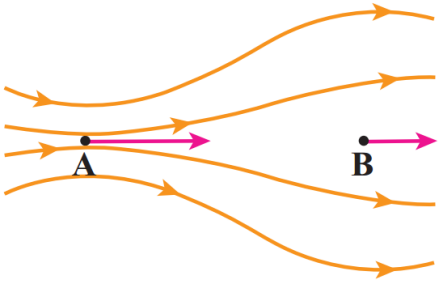


ب) خطوط میدان الکتریکی به سمت ذرّهٔ باردار $q-$ است.

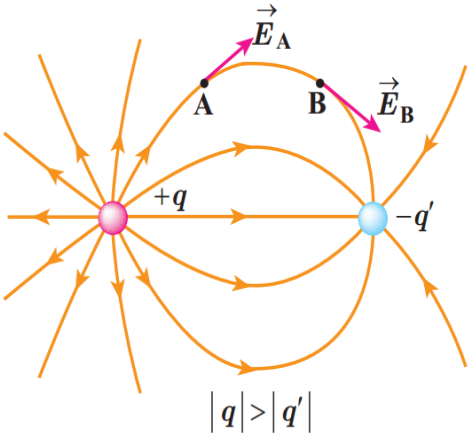
قواعد رسم خطوط میدان الکتریکی:



۱.در هر نقطه، بردار میدان الکتریکی باید **مماس** بر خط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد.



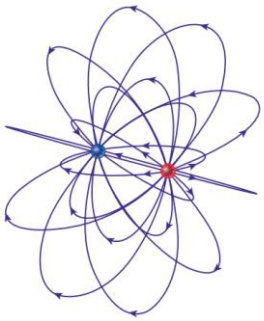
۲.میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان دهنده اندازه میدان در آن ناحیه است؛ هرجا **خطوط میدان متراکم‌تر** باشد، **اندازه میدان بیشتر** است.



$|q|>|q'|$

۳.در آرایشی از بارها، خطوط میدان الکتریکی از بارهای **مثبت شروع** و به بارهای **منفی ختم** می‌شوند.

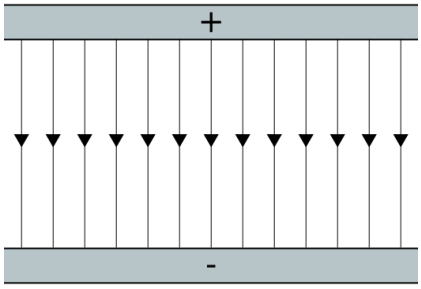
۴.خطوط میدان برآیند هرگز یکدیگر را **قطع نمی‌کنند** یعنی از هر نقطه فضا فقط یک خط میدان الکتریکی می‌گذرد.



تجسم واقعی خطوط میدان، در فضاست و بنابراین طرحی سه بعدی دارد.

میدان الکتریکی یکنواخت:

میدان الکتریکی یکنواخت عبارت است از میدانی که در تمام نقاط اندازه و جهت آن یکسان است.



نیروی الکتریکی وارد بر بار الکتریکی در یک میدان الکتریکی:

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

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

بزرگی این نیرو از رابطه $F = |q|\,E$ به دست می‌آید و جهت آن اگر q مثبت باشد هم جهت میدان و اگر q منفی باشد در خلاف جهت میدان است.

مثال: روی سطح بادکنکی به جرم $10g$ بار الکتریکی $-200nC$ ایجاد می‌کنیم و آن را در یک میدان الکتریکی قرار می‌دهیم. بزرگی و جهت این میدان الکتریکی را در صورتی که بادکنک معلق بماند، تعیین کنید. (از نیروی شناوری وارد به بادکنک چشم پوشی کنید.)

پاسخ: برای اینکه بادکنک در هوا معلق بماند نیروی وارد شده بر آن باید با نیروی گرانش زمین مقابله کند. بنابراین این نیرو باید به سمت بالا باشد. از آنجایی که بار بادکنک از نوع منفی است جهت میدان الکتریکی برای وارد آوردن نیروی رو به بالا به بادکنک باید به سمت پایین باشد. با توجه به معلق بودن داریم:

$$F_{\text{گرانش}} = m.g = ۰.۰۱\ Kg \times ۹.۸\ m/s^۲ = ۹.۸ \times ۱۰^{-۲} N$$

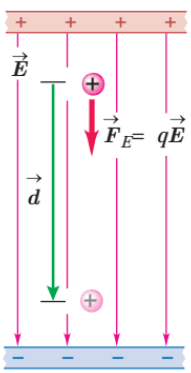
$$F_{\text{گرانش}} = F_E \implies F_E = ۹.۸ \times ۱۰^{-۲} N$$

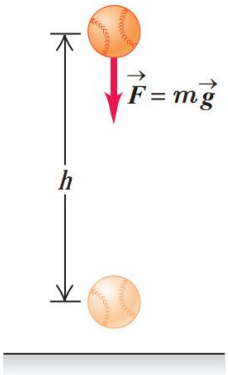
$$E = \frac{F_E}{|q|} = \frac{۹.۸ \times ۱۰^{-۲} N}{۲۰۰ \times ۱۰^{-۹} C} = ۴.۹ \times ۱۰^{۵}\ N/C$$

وجهت میدان رو به پایین (هم جهت با نیروی گرانش) است.

انرژی پتانسیل الکتریکی:

انرژی پتانسیل الکتریکی، انرژی لازم برای جابجایی ذره باردار در میدان الکتریکی است و مشابه با انرژی پتانسیل گرانشی تعریف می‌شود و وابسته به فاصله ذره از میدان الکتریکی است. همانگونه که در سقوط یک توپ رفته رفته از انرژی پتانسیل گرانشی آن کاسته و به انرژی جنبشی آن اضافه می‌شود در مورد ذره باردار مثبت نیز در هنگام حرکت در میدان الکتریکی، انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد و انرژی جنبشی ذره باردار افزایش می‌یابد.





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

$$W_E = -\Delta U_E$$

با توجه به شکل بالا می‌دانیم کار انجام شده توسط نیروی الکتریکی ثابت $\overrightarrow{F_E}$ در طی جابجایی $\vec{d}$ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$W_E = (F_E \cos\theta)d = F_E\, d \cos\theta$$

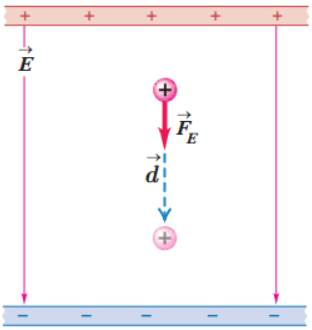
می‌دانیم: $F = |q|\, E$ بنابراین رابطه بالا به صورت زیر در می‌آید:

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

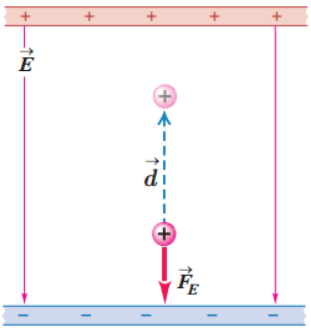
که با توجه به رابطه کار وتغییر انرژی پتانسیل الکتریکی داریم:

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

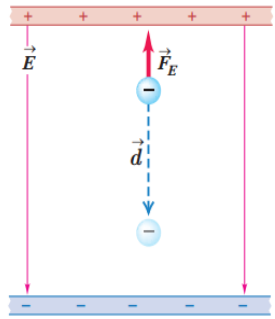
که در آن θ زاویه بین نیروی $\overrightarrow{F_E}$ و جابجایی $\vec{d}$ است. بار الکتریکی(q) برحسب کولن(C) ، بزرگی میدان الکتریکی(E) بر حسب نیوتون بر کولن(N/C)، اندازه جابجایی(d) بر حسب متر (m) و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) بر حسب ژول (J) است.



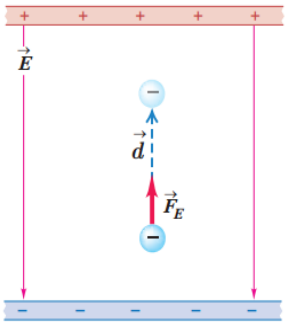
۱)اگر **بار مثبت** را **در جهت** میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابجا کنیم، میدان الکتریکی کار **مثبت** W_E را روی بار انجام می‌دهد و انرژی پتانسیل الکتریکی بار (U_E) **کاهش** می‌یابد.



۲)اگر **بار مثبت** را **خلاف جهت** میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابجا کنیم، میدان الکتریکی کار **منفی** W_E را روی بار انجام می‌دهد و انرژی پتانسیل الکتریکی بار (U_E) **افزایش** می‌یابد.



۳)اگر **بار منفی** را **درجهت** میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابجا کنیم، میدان الکتریکی کار **منفی** W_E را روی بار انجام می‌دهد و انرژی پتانسیل الکتریکی بار (U_E) **افزایش** می‌یابد.

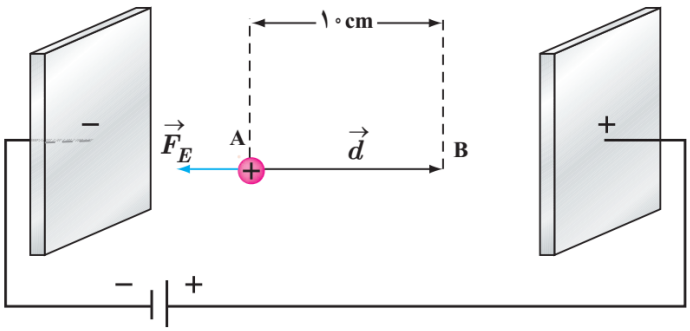


۴)اگر بار **منفی** را **خلاف جهت** میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابجا کنیم، میدان الکتریکی کار **مثبت** W_E را روی بار انجام می‌دهد و انرژی پتانسیل الکتریکی بار (U_E) **کاهش** می‌یابد.

مثال: در یک میدان الکتریکی یکنواخت $E = ۲.۰ \times ۱۰^{۳}\ N/C$ پروتونی از نقطه A با سرعت $\vec{V}.$ در خلاف جهت میدان الکتریکی پرتاب شده است. پروتون سرانجام در نقطه B متوقف می‌شود.بار پروتون $۱.۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$ و جرم آن $۱.۶۷ \times ۱۰^{-۲۷} Kg$ است.

الف) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی پروتون در این جابه‌جایی چقدر است؟

ب) تندی پرتاب پروتون را پیدا کنید.(از وزن پروتون و مقاومت هوا چشمپوشی شود)



پاسخ:

الف)

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|Edcos\theta$$

$$= -(۱.۶ \times ۱۰^{-۱۹} C\ )(۲.۰ \times ۱۰^{۳}\ N/C)(۱۰ \times ۱۰^{-۲}\ m)\ (\cos ۱۸۰°)$$

$$= ۳.۲ \times ۱۰^{-۱۷} J$$

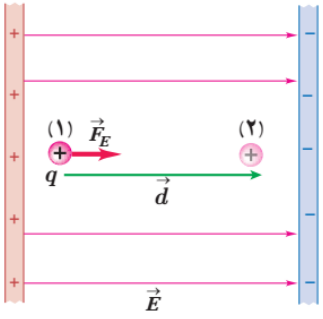
ب)

$$W_E = \Delta K \implies -\Delta U_E = \frac{۱}{۲} m(۰ - V_۰^{۲}) \implies$$

$$-۳.۲ \times ۱۰^{-۱۷} J = \frac{۱}{۲}(۱.۶۷ \times ۱۰^{-۲۷} Kg)\left(-V_۰^{۲}\right) \implies V_۰ \approx ۲.۰ \times ۱۰^{۵}\ m/s$$

پتانسیل الکتریکی:

تغییرات پتانسیل الکتریکی یا اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه از مسیر حرکت ذره باردار عبارتست از نسبت تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی در این دو نقطه به مقدار بار ذره.



$$\Delta V = V_۲ - V_۱ = \frac{\Delta U_E}{q}$$

در این رابطه V کمیتی نرده ای است که به آن پتانسیل الکتریکی گویند و مقدار آن در نقطه های ۱و۲ به ترتیب برابر V_1 و V_2 است. اختلاف پتانسیل الکتریکی ΔV بر حسب ژول بر کولن (J/C) به دست می‌آید که آن را به افتخار الساندرو ولتا، ولت نامیده و با نماد V نمایش می‌دهند.

به یاد داشته باشید که نسبت تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی به بار ذره (یا همان اختلاف پتانسیل الکتریکی)، مستقل از نوع و اندازه بار الکتریکی است.

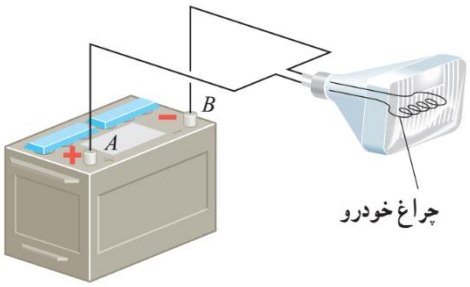
با انتخاب کردن مرجعی که در آن انرژی پتانسیل الکتریکی ذره و پتانسیل الکتریکی در آن نقطه صفر باشند (مشابه انرژی پتانسیل گرانشی)، پتانسیل الکتریکی در هر نقطه از میدان الکتریکی از رابطه $V = \frac{U_E}{q}$ به دست می‌آید.

باتری ها به اشکال و اندازه های مختلف و در ولتاژ های متفاوت وجود دارند. هر باتری دارای دو پایانه است که یکی مثبت و دیگری منفی نشان داده می‌شود. بنا به قرارداد، اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر باتری برابر با پتانسیل پایانه مثبت منهای پتانسیل پایانه منفی است.

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

وقتی می‌گوییم باتری خودرو ۱۲ ولت است، یعنی پتانسیل پایانه مثبت به اندازه ۱۲ ولت از پتانسیل پایانه منفی آن بیشتر است. با در نظر گرفتن پایانه منفی به عنوان مرجع، پتانسیل پایانه مثبت برابر ۱۲+ ولت می‌شود. معمولا در مدارات الکتریکی نقطه ای از مدار را پتانسیل صفر یا اصطلاحا زمین قرار می‌دهند و آن را با علامت ⏚ نمایش می‌دهند. پتانسیل نقاط دیگرمدار نسبت به این نقطه محاسبه می‌شود.

مثال: اختلاف پتانسیل الکتریکی پایانه های باتری خودروی نشان داده شده درشکل برابر $۱۲.۰\ V$ است. اگر بار الکتریکی -۵۰.۰ کولن از پایانه منفی به پایانه مثبت باتری جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چقدر تغییر می‌کند؟



پاسخ:

$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} \Longrightarrow \Delta U_E = q\Delta V = q(V_+ - V_-) = (-۵۰.۰\ C)(+۱۲.۰\ V) = -۶۰۰J$$

رابطه اختلاف پتانسیل دو نقطه و اندازه میدان الکتریکی یکنواخت:

اگر بار مثبت q را در میدان الکتریکی یکنواخت $\vec{E}$ هم جهت با خطوط میدان به اندازه d جابه‌جا کنیم،

با توجه به مثبت بودن q و صفر بودن θ داریم: $\Delta U_E = -|q|E\ d\ cos۰^\circ = -qEd$

و از طرفی داشتیم: $\Delta U_E = q\Delta V$

بنابراین: $\Delta V = -Ed$

در این رابطه ΔV بر حسب ولت، E بر حسب نیوتون بر کولن، و d بر حسب متر است. پس در واقع میتوان گفت:

$$۱N/C = ۱V/m$$

به یاد داشته باشید که ما در جهت میدان حرکت کردیم. اگر خلاف جهت میدان حرکت کنیم به این رابطه می‌رسیم: $\Delta V = Ed$

پس می‌توان گفت به طور کلی: $|\Delta V| = Ed$

کار انجام شده توسط نیروی خارجی:

اگر در یک میدان الکتریکی یکنواخت بار q را با اعمال نیرو جابجا کنیم بر روی آن کار انجام داده ایم که با نماد $W_{\text{خارجی}}$ نشان داده می‌شود. در همین حین میدان نیز بر روی بار کار انجام داده است که با نماد W_E نمایش داده می‌شود. با توجه به قضیه کار- انرژی جنبشی و روابط قبل، تغییر انرژی جنبشی بار q برابر است با:

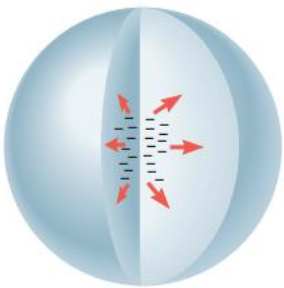
$$\Delta K = W_{\text{خارجی}} + W_E = W_{\text{خارجی}} - q\Delta V$$

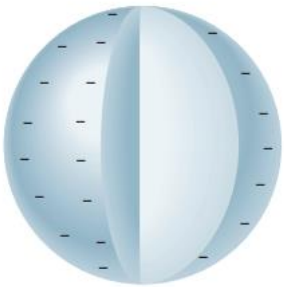
اگر تندی بار q در ابتدا و انتهای جابه‌جایی یکسان باشد $\Delta K = 0$ داریم:

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

در این حالت خاص بسته به علامت و بزرگی q و ΔV ، کار $W_{\text{خارجی}}$ می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد.

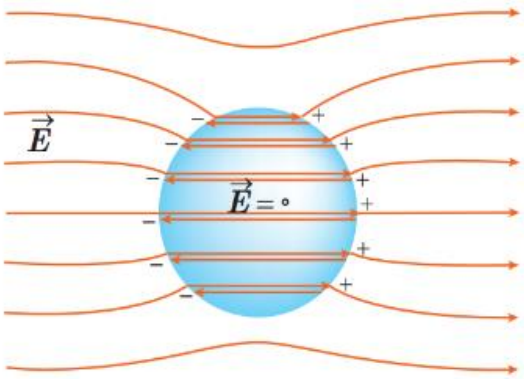
میدان الکتریکی در داخل رسانا ها:





بار اضافی داده شده به یک رسانا روی سطح خارجی آن توزیع میشود و نحوه توزیع بار در رسانا به گونه ای است که میدان الکتریکی در داخل رسانا صفر شود. به عبارت دیگر در شرایط الکتروستاتیکی، میدان الکتریکی در داخل رسانا نمی‌تواند صفر نباشد؛ زیرا اگر این میدان صفر نباشد، بر الکترونهای آزاد داخل رسانا نیروی الکتریکی (طبق رابطه $\vec{F} = q\vec{E}$) وارد میکند و سبب ایجاد جریان الکتریکی در داخل رسانا می‌شود که این بدین معناست که بارها در تعادل الکتروستاتیکی قرار ندارند.

رسانای خنثی در میدان الکتریکی:



وقتی یک رسانای خنثی را در یک میدان الکتریکی خارجی قرار می‌دهیم، در مدت زمان کوتاهی (کمتر از $10^{-9}s$) الکترونهای آزاد تحت تأثیر میدان الکتریکی خارجی، طوری روی سطح خارجی رسانا توزیع می‌شوند (القا می‌شوند) که میدان الکتریکی ناشی از آنها اثر میدان خارجی را درون رسانا خنثی کند و بدین ترتیب میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود.

چون میدان الکتریکی درون رسانایی که در تعادل الکتروستاتیکی است برابر با صفر است، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره باردار در داخل رسانا نیز صفر میشود. بنابراین، کار نیروی الکتریکی در هرجابه‌جایی دلخواهی در داخل رسانا صفر می شود. در نتیجه همه نقاط رسانا پتانسیل یکسانی دارند. به عبارت دیگر:

$$F_E = 0 \implies \Delta U_E = -W_E = 0$$

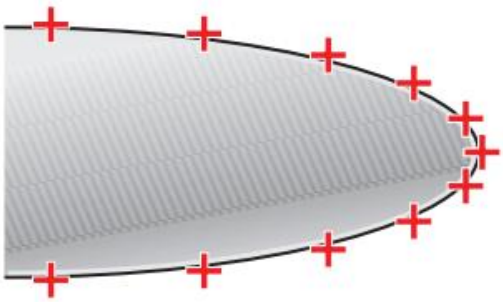
$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} = 0 \implies V_2 - V_1 = 0 \implies V_1 = V_2$$

چگالی سطحی بار الکتریکی رسانا: برای بیان تراکم بار الکتریکی بر روی یک سطح باید از مفهوم چگالی سطحی بار الکتریکی استفاده کنیم. چگالی سطحی بار که با نماد σ نشان داده می‌شود عبارت است از نسبت مقدار بار توزیع روی سطح به مساحت سطح:

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

در این رابطه چگالی سطحی بار (σ) بر حسب کولن بر متر مربع (C/m^2) بدست می‌آید.

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



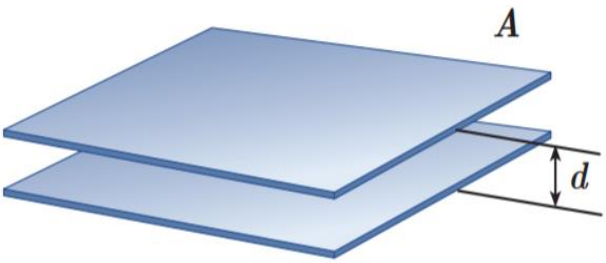
مثال: سطح فلزی بزرگ بارداری را در نظر بگیرید که بار الکتریکی در سطح آن و دور از لبه ها به طور یکنواخت توزیع شده است. اگر چگالی بار روی این سطح $۲.۰ \times ۱۰^{-۶} C/m^۲$ باشد، در بخشی از این سطح به شکل مربعی به ضلع ۱/۰ میلیمتر چقدر بار قرارگرفته است؟

پاسخ:

$$Q = \sigma A = (۲.۰ \times ۱۰^{-۶} C/m^۲)(۱.۰ \times ۱۰^{-۳} m \times ۱.۰ \times ۱۰^{-۳} m)$$

$$= ۲.۰ \times ۱۰^{-۱۲} C = ۲.۰\ pC$$

خازن ها:



خازن وسیله ای الکتریکی است که می‌تواند بار و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند. خازن ها در اشکال و ابعاد مختلف وجود دارند اما به طور کلی از دو صفحه

رسانا تشکیل شده اندکه با فاصله کمی (در مقایسه با ابعاد صفحات بسیار ناچیز) از یکدیگر قرار دارند.

خازن ها به طور گسترده ای در مدارات الکترونیکی کاربرد دارند و با نماد ⊣⊢ نشان داده

می‌شوند.خازن تخت مطابق شکل از دو صفحه رسانا با مساحت A که در فاصله d از هم قرار گرفته اند

تشکیل می‌شود.

باردار (شارژ) کردن خازن:

با وصل کردن دو سر خازن به پایانه های یک باتری، شارش بار الکتریکی بر روی صفحات خازن صورت

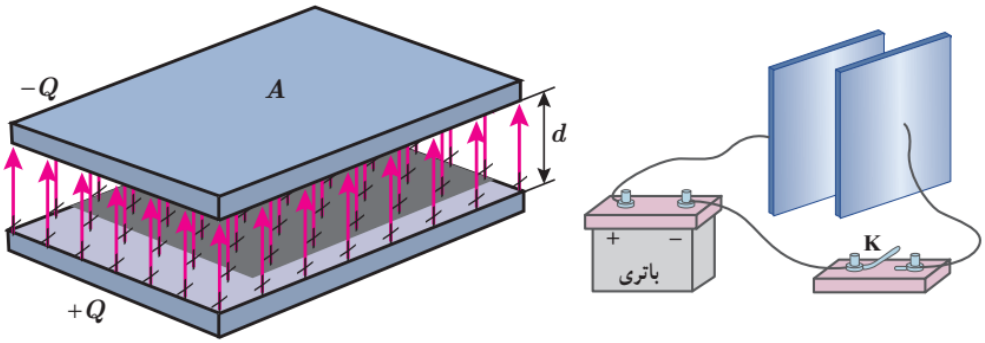
می‌گیرد تا زمانی که اختلاف پتانسیل دو پایانه باتری با اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن برابر گردد. در

این حالت خازن به اصطلاح شارژ می‌شود. وقتی یک خازن باردار می‌شود، صفحه های آن دارای بارهایی

با بزرگی یکسان، ولی با علامت مخالف می‌شود: $+Q$ و $-Q$ با این حال بار خازن را به صورت $+Q$ نمایش

می‌دهند. بین دو صفحه خازن باردار یک میدان الکتریکی ایجاد می‌شود که خطوط این میدان از صفحه

مثبت به منفی است.



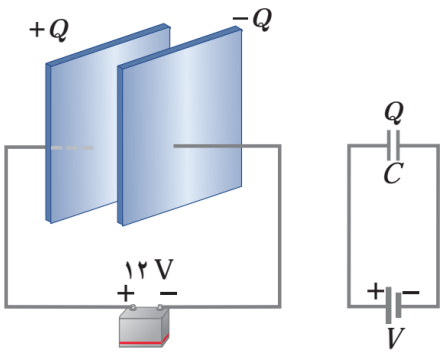
ظرفیت خازن:

اگر اختلاف پتانسیل بین صفحه های خازن (ΔV) را زیاد کنیم، بار خازن (Q) نیز به همان نسبت زیاد می‌شود. به عبارتی نسبت $\frac{Q}{\Delta V}$ همواره مقداری ثابت است که به این نسبت ثابت، **ظرفیت خازن** می‌گویند و آن را با (C) نشان می‌دهند. ظرفیت خازن به **اندازه بار خازن** و نیز **اختلاف پتانسیل دو صفحه** آن بستگی ندارد.

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

در رابطه بالا یکای بار الکتریکی، **کولن** (C) ، یکای اختلاف پتانسیل، **ولت** (V) و در نتیجه یکای ظرفیت، **کولن بر ولت** (C/V) است که به پاس خدمات مایکل فاراده، **فاراد** (F) نامیده شده است. فاراد یکای بسیار بزرگی است و عملا ظرفیت اکثر خازن های متداول در محدوده پیکوفاراد ($10^{-12}\ F$) تا میلی فاراد ($10^{-3}\ F$) است.

مثال: صفحه های خازنی را مطابق شکل به پایانه های یک باتری با اختلاف پتانسیل $12V$ می‌کنیم. اگر بار خازن $24\mu F$ شود،



الف)ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

ب)اگر این خازن را به اختلاف پتانسیل $36V$ وصل کنیم، بار الکتریکی آن چقدر می‌شود؟

پاسخ:

الف) $C = \frac{Q}{V} = \frac{۲۴\times۱۰^{-۶}\,C}{۱۲V} = ۲.۰ \times ۱۰^{-۶}\,F = ۲.۰\mu F$

ب) با توجه به اینکه ظرفیت خازن همواره مقدار ثابتی است از ظرفیت به دست آمده در قسمت الف استفاده میکنیم.

$$Q = CV = (۲.۰ \times ۱۰^{-۶}\,F)(۳۶V) = ۷۲ \times ۱۰^{-۶}\,C = ۷۲\mu C$$

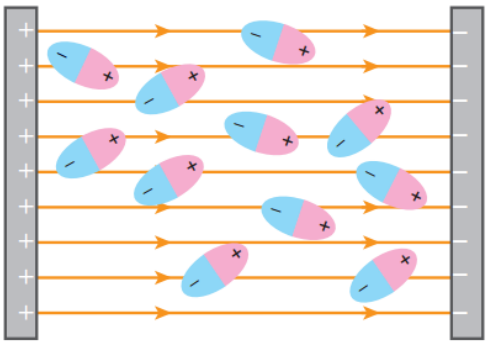
خازن با دی‌الکتریک:

اگر فضای میان صفحه های یک خازن را با مادهای عایق (مانند کاغذ یا پلاستیک) که به آن دی‌الکتریک گفته می‌شود پرکنیم ظرفیت خازن با ضریبی موسوم به ثابت دی‌الکتریک ماده عایق(که آن را با κ نمایش می‌دهند) افزایش می‌یابد. یعنی اگر ظرفیت خازن بدون دی‌الکتریک را با $C_.$ نمایش دهیم آنگاه ظرفیت خازن با دی‌الکتریک برابر است با:

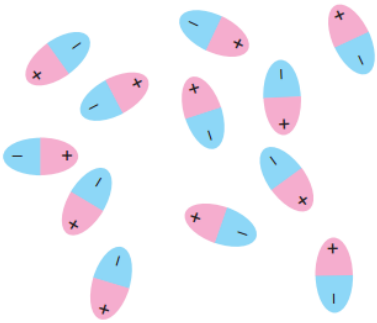
$$C = \kappa C_.$$

دی الکتریک ها بر دو نوع هستند: قطبی (مانند آب، $NH_۳$ و HCl) و غیر قطبی (مانند متان، بنزن).

یک خازن شارژ شده را در نظر بگیرید. وقتی یک دی الکتریک قطبی در میدان الکتریکی بین دو صفحه خازن قرار گیرد، سر منفی مولکولهای دوقطبی به طرف صفحه مثبت و سر مثبت آنها به طرف صفحه منفی کشیده میشود و درنتیجه این مولکولهای دوقطبی میکوشند خود را در جهت میدان الکتریکی بین دو صفحه خازن هم ردیف کنند.

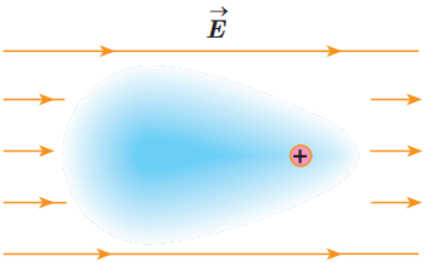


ب) در حضور میدان الکتریکی، مولکول‌های قطبی می‌کوشند خود را در جهت میدان الکتریکی خارجی هم‌ردیف کنند.

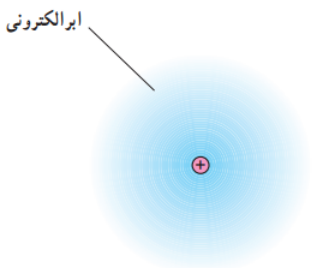


الف) در نبود میدان الکتریکی، سمت‌گیری مولکول‌های دو قطبی نامنظم است.

وقتی یک دی‌الکتریک غیرقطبی در میدان بین دو صفحه خازن قرارمی‌گیرد بر اثر القا قطبیده میشود؛ یعنی میدان الکتریکی اعمال شده باعث میشود که ابرِ الکترونی مولکولهای دی‌الکتریک در خلاف جهت میدان جابه‌جا شود و به این ترتیب، مرکز بارهای مثبت و منفی مولکولها از هم جدا شده و اصطلاحاً مولکولها قطبیده شوند.



ب) در حضور میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا می شوند و ابرالکترونی در خلاف جهت میدان جابه جا می شود.



الف) درنبود میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت و منفی برهم منطبق‌اند.

این رفتار مولکولهای دی‌الکتریک (قطبی یا غیرقطبی) در میدان الکتریکی بین صفحه های خازن، سبب افزایش ظرفیت خازن میشود.

ظرفیت خازن تخت به صورت روبرو بدست می‌آید: $C_0 = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$

که در آن ε_0 همان ضریب گذردهی الکتریکی خلأ است. $(\varepsilon_0 = ۸.۸۵ \times ۱۰^{-۱۲} \ F/m)$

حال اگر فضای بین صفحه های این خازن را با یک دی‌الکتریک با ثابت دی‌الکتریک κ کاملاً پر کنیم برای ظرفیت خازن جدید داریم:

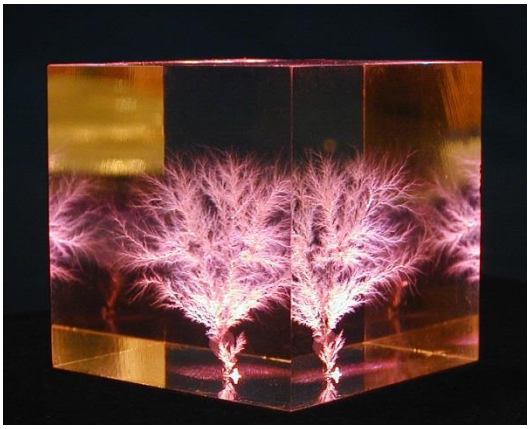
$$C = \kappa \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

فروریزش الکتریکی:

اثر دیگر حضور دی الکتریکها درخازن، افزایش حداکثرولتاژ قابل تحمل خازن است. اگر اختلاف پتانسیل دو صفحه یک خازن را به اندازه کافی زیاد کنیم، تعدادی از الکترون های اتم های ماده دی‌الکتریک، توسط میدان الکتریکی ایجادشده بین دو صفحه، کنده می‌شوند و مسیرهایی رسانا، درون دی‌الکتریک ایجاد می‌شود که سبب تخلیه خازن می‌گردد.

نقشهای لیچنبرگ:

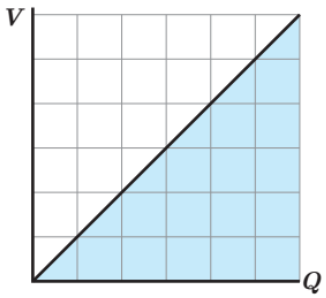
فروریزش الکتریکی باعث تشکیل مسیرهای رسانشی سرخس شکلی در دی الکتریک شده است.



به این پدیده فروریزش الکتریکی ماده دی‌الکتریک میگویند. فروریزش الکتریکی در عایق بین دو صفحه خازنها معمولاً، با ایجاد یک جرقه همراه است و در بیشتر مواقع خازن را می‌سوزاند. خازنها معمولاً با مقدار ظرفیت آنها و اختلاف پتانسیل بیشینه ای که می‌توانند تحمل کنند مشخص می‌شوند.

انرژی خازن:

وقتی صفحه های خازن دارای بار الکتریکی می‌شوند در خازن انرژی ذخیره می‌شود. درهنگام شارژ شدن خازن توسط باتری، دائماً باری جزئی از یک صفحه خازن جدا و به همان اندازه به صفحه دیگر منتقل می‌شود. در این فرایند طبق رابطه $W_{\text{خارجی}} = Q\Delta V$ باتری روی این بار کار انجام می‌دهد. هنگام انتقال بار، اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن نیز به آهستگی افزایش می‌یابد. بنابراین، برای انتقال بارهای بعدی به کار بیشتری نیاز است. بنا به رابطه $V = Q/C$ و با توجه به اینکه در این فرآیند ظرفیت خازن همواره مقدار ثابتی است، اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن تابعی خطی از بار ذخیره شده در آن می‌شود که به طور یکنواخت از صفر تا V افزایش می‌یابد.



بنابراین در هنگام باردار شدن خازن می‌توان اختلاف پتانسیل متوسطی را به صورت $\bar{V} = \frac{V+۰}{۲} = \frac{V}{۲}$ برای دو صفحه خازن در نظر گرفت. با استفاده از رابطه $W_{\text{خارجی}} = Q\Delta V$ ، کار انجام شده برای باردار

شدن کامل خازن برابراست با حاصل ضرب کل بارهای جزئی منتقل شده (Q) در اختلاف پتانسیل

متوسط:

$$W = Q\bar{V} = Q\left(\frac{V}{۲}\right) = \frac{۱}{۲}QV$$

این کار به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در میدان الکتریکی فضای بین صفحه های خازن ذخیره

می‌شود:

$$U_{\text{خازن}} = \frac{۱}{۲}QV = \frac{۱}{۲}CV^{۲} = \frac{۱}{۲}\frac{Q^{۲}}{C}$$

که در آن انرژی پتانسیل الکتریکی خازن ($U_{\text{خازن}}$) برحسب ژول (J)، بار خازن (Q) برحسب کولن (C)،

اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن(V) برحسب ولت (V) و ظرفیت خازن(C) بر حسب فاراد (F) است.

مثال: مدار یک فلاش عکاسی، انرژی را با ولتاژ $۳۳۰V$ در یک خازن $۶۶۰\mu F$ ذخیره می‌کند.

الف) چه مقدار انرژی الکتریکی در این خازن ذخیره می‌شود؟

ب) اگر تقریبا همه این انرژی در مدت $۱ms$ آزاد شود، توان متوسط خروجی فلاش چقدر است؟

پاسخ:

$$U = \frac{۱}{۲}CV^{۲} = \frac{۱}{۲}(۶۶۰ \times ۱۰^{-۶}\text{F})(۳۳۰V^{۲}) = ۳۵.۹\ \text{J}$$

$$\bar{P} = \frac{U}{t} = \frac{۳۵.۹\ J}{۱.۰ \times ۱۰^{-۳}s} = ۳.۶ \times ۱۰^{۴}\ J/s = ۳۶\ kW$$

بانک محتوای آموزشی SET

آسان و سریع مطالب مهم را مرور کنید و برای آزمون آماده شوید.

همین الان کلیک کن

ویدئو آموزشی

با ویدئوهای کوتاه درس به درس، مطالب درس را آسان و سریع یاد بگیرید.

خلاصه نکات

با خلاصه نکات درس به درس فقط به نکات مهم بهردازید و زمان را ذخیره کنید.

نمونه‌سوالات حل شده

با نمونه سوالات حل شده درس به درس، مثال‌های مهم را ببینید و مفاهیم را آسان درک کنید.

دوره‌های آموزشی

با دوره‌های آموزشی وارد مسیر یادگیری شوید و گام به گام خود را در کل درس راحت کنید.

set.ir

www.youtube.com/@saminskill

www.aparat.com/set_ir_official

www.instagram.com/set.ir.shop

t.me/set_ir_levelup

@set_ir_levelup

@levelupset

۰۲۱۴۴۰۷۰۷۳۰

۰۹۰۲۷۱۴۳۴۰۲

اسکن کنید