گزینه دو

مؤسسه آموزشی فرهنگی

فیزیک ۳

فصل دوم: الکتریسیته ساکن

فصل ۲: الکتریسیته ساکن

پایستگی بار الکتریکی: بار الکتریکی به خودی خود ایجاد نمی‌شود یا از بین نمی‌رود بلکه فقط بین دو جسم مبادله می‌شود.

۱- قانون کولن:

دو جسم باردار بر هم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. بارهای هم‌نام نیروی رانشی (دافعه) و بارهای ناهم‌نام نیروی ربایشی (جاذبه) بر یک‌دیگر وارد می‌کنند. اندازه‌ی نیرویی که دو بار نقطه‌ای بر هم وارد می‌کنند از فرمول کولن به‌دست می‌آید:

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

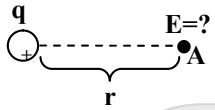
در این فرمول $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$ **است.**

۲- میدان الکتریکی:

یک بار الکتریکی در فضای اطراف خود میدان الکتریکی ایجاد می‌کند. اگر یک بار الکتریکی را در میدان الکتریکی قرار دهیم بر آن نیرو وارد می‌شود. نیروی وارد بر یکای بار مثبت را در هر نقطه، شدّت میدان الکتریکی در آن نقطه می‌گوییم.

اگر بر بار $+q_0$ **در نقطه‌ای از میدان، نیروی** $\vec{F}$ **وارد شود، شدّت میدان در آن نقطه از رابطه‌ی** $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ **به‌دست می‌آید. با توجّه به این رابطه درمی‌یابیم که میدان الکتریکی کمیتی برداری است.**

۳- میدان الکتریکی در اطراف یک ذرّه‌ی باردار:



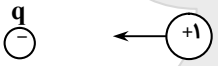
در تعریف میدان الکتریکی گفتیم که شدّت میدان در هر نقطه معادل نیروی وارد بر یکای بار مثبت است، یعنی باید فرض کنیم بار $+1C$ **را در نقطه‌ی A قرار می‌دهیم و محاسبه کنیم چه نیرویی بر آن وارد می‌شود.**

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \Rightarrow E = k\frac{q\times1}{r^2} \Rightarrow E = k\frac{q}{r^2}$$

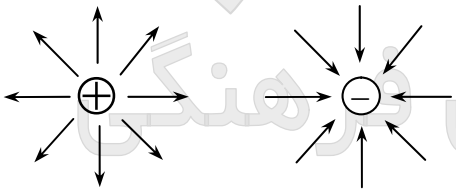
رابطه‌ی فوق اندازه‌ی میدان را در اطراف بار نشان می‌دهد. امّا جهت میدان چگونه است؟ باز هم فرض کنید بار $+1C$ **را در نقطه‌ی A می‌گذاریم. اگر بار q مثبت باشد، بار** $+1C$ **دفع می‌شود، یعنی در اطراف بارهای مثبت، خطوط میدان به‌گونه‌ای است که از بار مثبت دور می‌شود.**



اگر بار q منفی باشد، بار $+1C$ **جذب می‌شود، پس در اطراف بارهای منفی، خطوط میدان به گونه‌ای است که به بار منفی نزدیک می‌شود.**



به شکل‌های مقابل توجّه کنید. هر دو شکل با همین استدلال رسم شده‌اند.



نظریه خطوط میدان الکتریکی

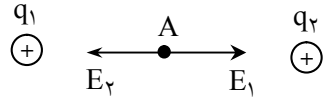
میدان الکتریکی در هر نقطه، خطی است مماس بر آن نقطه که همسو با خطوط میدان است. هر کجا میدان قوی‌تر باشد، خطوط میدان متراکم‌ترند و برعکس.

نتایج نظریه خطوط میدان الکتریکی:

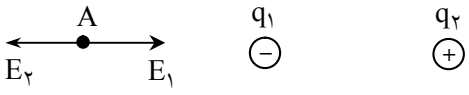
۱- خطوط میدان هیچ‌گاه هم‌دیگر را قطع نمی‌کنند مگر در ذره باردار منشأ.

۲- در شرایط الکترواستاتیک بار خالص الکتریکی درون جسم رسانا وجود ندارد بنابراین میدان الکتریکی داخل رسانا صفر بوده و خطوط میدان داخل رسانا نفوذ پیدا نمی‌کنند.

۴- صفر شدن میدان الکتریکی در اثر وجود دو بار:



هرگاه دو بار هم‌نام در جایی قرار گیرند، شدّت میدان در جایی روی خطّ واصل دو بار و بین آن‌ها نزدیک به بار کوچکتر صفر می‌شود. در شکل مقابل بارهای مثبت q_1 **و** q_2 **هریک میدانی به طرف خارج از خود ایجاد کرده اند. هرگاه اندازه‌ی دو بردار** $\vec{E}_1$ **و** $\vec{E}_2$ **برابر شود، این دو هم‌دیگر را خنثی می‌کنند و میدان صفر می‌شود.**

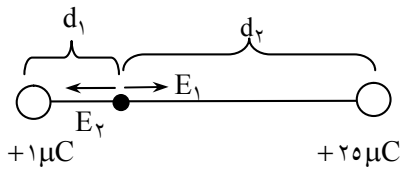


در این شکل دو بار ناهم‌نام رو به روی هم قرار گرفته‌اند.

میدان بار منفی به طرف آن و میدان بار مثبت به سمت خارج از آن است. بنابراین هرگاه دو بار ناهم‌نام داشته باشیم، میدان در جایی خارج از دو بار و نزدیک به بار با اندازه کوچکتر صفر می‌شود.

مثال ۱: دو بار $1\mu C$ و $25\mu C$ در فاصله‌ی ۹۰ سانتی‌متری هم قرار گرفته‌اند. میدان الکتریکی در کجا صفر می‌شود؟

پاسخ: چون دو بار هم‌نامند، میدان در جایی بین آن دو صفر می‌شود. میدان همواره در نقطه‌ای که به بار کوچک‌تر، نزدیک‌تر است صفر می‌شود.



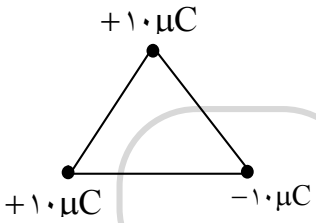
$$E_1 = E_2 \Rightarrow k\frac{q_1}{d_1^2} = k\frac{q_2}{d_2^2} \Rightarrow \frac{q_1}{d_1^2} = \frac{q_2}{d_2^2} \Rightarrow \frac{1}{d_1^2} = \frac{25}{d_2^2} \Rightarrow d_2 = 5d_1$$

$$\left.\begin{matrix} d_2 = 5d_1 \\ d_1 + d_2 = 90 \end{matrix}\right\} \Rightarrow d_1 + 5d_1 = 90 \Rightarrow d_1 = 15cm$$

۵- برآیندگیری از نیروها و میدان‌ها:

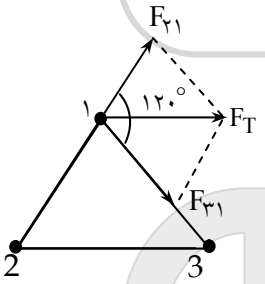
مثال ۲: مطابق شکل سه بار ۱۰+ و ۱۰+ و ۱۰- میکروکولنی روی سه رأس یک مثلث متساوی‌الاضلاع به ضلع $30cm$ قرار گرفته‌اند. برآیند نیروهای وارد بر هریک از بارهای $10\mu C+$ چند نیوتن است؟

پاسخ:



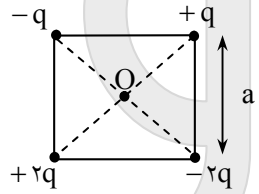
$$|F_{21}| = |F_{31}| = 9\times10^9 \frac{(10\times10^{-6})\times(10\times10^{-6})}{(0/3)^2} = 10N$$

بار مثبت توسط یکی از بارها دفع شده (F_{21}) و توسّط یکی از بارها جذب می‌شود (F_{31}). در این‌جا زاویه‌ی بین دو نیرو 120° است.



برآیند $F_T = 2|F_{21}|\cos\frac{120^\circ}{2} = 2\times10\times\frac{1}{2} = 10N$

مثال ۳: بزرگی میدان الکتریکی را در مرکز مربع شکل زیر به دست آورید و جهت میدان برآیند را رسم کنید.



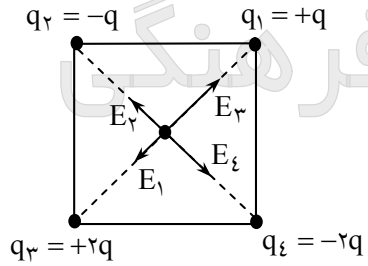
$$q = 10^{-6}C$$

$$k = 9\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

$$a = 3cm$$

پاسخ:

فاصله هر بار تا مرکز نصف قطر مربع است.

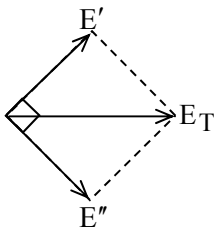


$$r = \frac{\sqrt{2}}{2}a \Rightarrow r^2 = \frac{1}{2}a^2$$

$$E_1 = \frac{kq_1}{r_1^2} = \frac{9\times10^9\times10^{-6}}{\frac{1}{2}\times9\times10^{-4}} = 2\times10^7\left(\frac{N}{C}\right)$$

$$|E_3| = |E_4| = 2E_1 \qquad |E_2| = |E_1|$$

برآیند E_1 و E_3 را E' و برآیند E_2 و E_4 را E'' می‌گیریم:



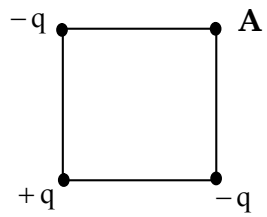
$$E' = E_3 - E_1 = 2\times10^7\frac{N}{C}$$

$$E'' = E_4 - E_2 = E_1 = 2\times10^7\frac{N}{C}$$

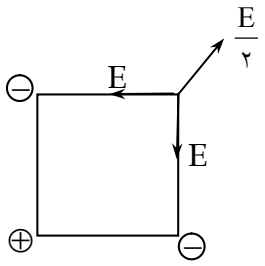
$$E_T = 2|E'|\cos\frac{90^\circ}{2} = 2\sqrt{2}\times10^7\frac{N}{C}$$

مؤسسه آموزشی فرهنگ

مثال ۴: سه بار هم اندازه‌ی $+q$ و $-q$ و $-q$ مطابق شکل روی سه رأس مربعی قرار گرفته‌اند. اگر اندازه‌ی میدان ایجاد شده از طرف بار $-q$ در رأس A برابر E باشد، اندازه‌ی میدان برآیند را در این نقطه تعیین کنید.



پاسخ: باید از میدان‌ها برآیند گرفت.



$$R = E\sqrt{۲} - \frac{E}{۲} \approx ۰/۹E$$

۶- نکاتی در مورد ماهیّت بار الکتریکی و انتقال آن‌ها:

۶-۱- اجسام خنثی:

پروتون‌ها دارای بار مثبت و الکترون‌ها دارای بار منفی هستند. اندازه‌ی بار هر الکترون و هر پروتون با هم برابر است. چون در حالت عادّی تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های یک جسم با هم برابر هستند، بارهای مثبت و منفی هم‌دیگر را خنثی می‌کنند و جسم بدون بار است.

۶-۲- باردار کردن اجسام:

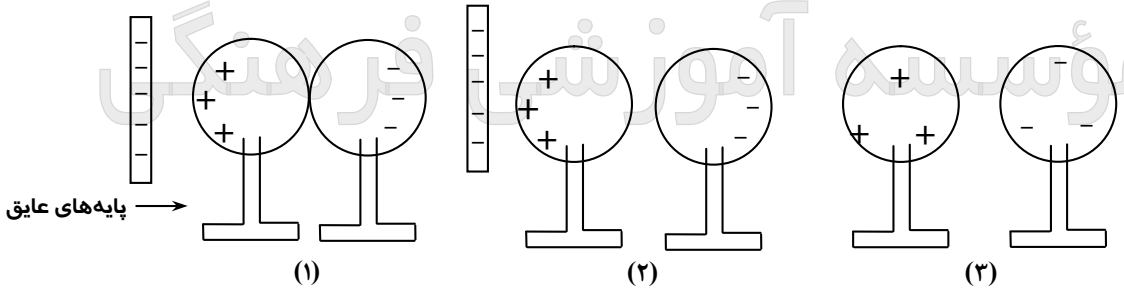
اجسام را به چند روش می‌توان باردار کرد: مالش، القای الکتریکی، تماس مستقیم

مالش:

اگر دو جسم را به هم مالش دهیم، تعدادی از الکترون‌های یکی به دیگری منتقل می‌شود و دو جسم دارای بار می‌شوند. اگر میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه‌ی ابریشمی مالش دهیم، میله دارای بار مثبت و پارچه دارای بار منفی می‌شود. اگر میله‌ی پلاستیکی (ابونیتی) را با پارچه پشمی مالش دهیم، میله‌ی پلاستیکی دارای بار منفی و پارچه دارای بار مثبت می‌شود. باید توجّه کنیم که بار هر جسم مضرب صحیحی از بار الکترون است $(q = ne)$، زیرا الکترون‌ها هستند که با حرکت خود، در جسم ایجاد بار می‌کنند.

القای الکتریکی:

این روش معمولاً برای باردار کردن رساناها است. برای مثال در این روش مطابق شکل دو کره‌ی رسانای بدون بار روی دو پایه‌ی عایق قرار دارند و میله‌ی بارداری را به یکی از کره‌ها نزدیک می‌کنیم. اگر بار میله منفی باشد الکترون‌ها توسّط این میله به کره دیگر دفع می‌شوند. سپس دو کره را از هم جدا می‌کنیم. با برداشتن میله‌ی باردار، بارها در سطح کره به‌طور یکنواخت پخش می‌شوند. اگر بار میله مثبت باشد عکس این مطلب رخ می‌دهد.



تماس مستقیم:

اگریک جسم رسانای دارای بار منفی را به جسم فلزی بدون باری تماس دهیم، بعضی از الکترون‌های جسم باردار به دیگری منتقل می‌شود و هر دو جسم دارای بار می‌شوند. اگر بار اولیه مثبت باشد برخی از الکترون‌های جسم بدون بار به جسم باردار منتقل شده، هر دو دارای بار مثبت می‌گردند.

۶-۳- توزیع بارها در اجسام:

هرگاه به‌یک جسم عایق یا نارسانا، بار الکتریکی بدهیم، بارها سر جای خود می‌مانند.

هرگاه به‌یک جسم فلزّی یا رسانا، بار الکتریکی بدهیم، بارها حرکت می‌کنند و روی سطح فلز پخش می‌شوند. در فلزّات بارها آن قدر حرکت می‌کنند که پتانسیل همه‌ی نقاط یکسان شود.

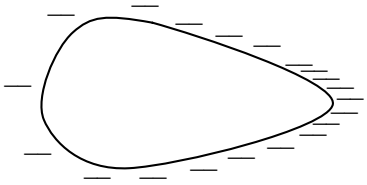
۷- چگالی سطحی بار الکتریکی:

در اجسام رسانا بار فقط در سطح خارجی توزیع می‌شود. چگالی سطحی بار الکتریکی برابر بار الکتریکی موجود در واحد سطح خارجی جسم رسانا است. چگالی سطحی بار از رابطه‌ی زیر حساب می‌شود و واحد آن $\frac{C}{m^2}$ است:

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

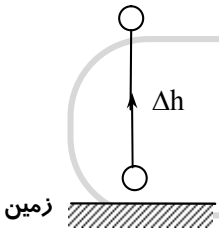
اگر شکل جسمی متقارن نباشد، چگالی سطحی بار در نقاط نوک تیز بیش‌تر است.

شکل رو به رو به صورت طرح وار توزیع بار را در سطح جسم فلزّی نشان می دهد.



۸- انرژی پتانسیل الکتریکی:

الف) می دانیم اگر سنگی را بر خلاف نیروی جاذبه‌ی زمین به اندازه‌ی Δh بالا ببریم، انرژی پتانسیل آن به اندازه‌ی $mg\Delta h$ زیاد می‌شود.



ب) دو بار مثبت یکدیگر را دفع می‌کنند. هرگاه بر خلاف نیروی الکتریکی دو بار را به هم نزدیک کنیم، انرژی پتانسیل مجموعه زیاد می‌شود. هنگامی می‌گوییم انرژی پتانسیل زیاد شده که اگر جسم را رها کنیم به طور خود به خودی به جای اول برگردد و در این حرکت انرژی آزاد کند. به عبارت دیگر انرژی پتانسیل باید تبدیل به انرژی جنبشی شود. به مثال‌های زیر دقّت کنید:



الف) اگر سنگی را که بالا برده‌ایم رها کنیم، خود به خود پایین می‌آید و انرژی جنبشی پیدا می‌کند.

ب) اگر دو بار مثبت را که به هم نزدیک کرده‌ایم رها کنیم، در اثر نیروی دافعه به حرکت درمی‌آیند و از هم دور می‌شوند.

مثال ۵: تعیین کنید در هر یک از موارد زیر انرژی پتانسیل الکتریکی زیاد می‌شود یا کم؟

الف) دو بار منفی به هم نزدیک می‌شوند.

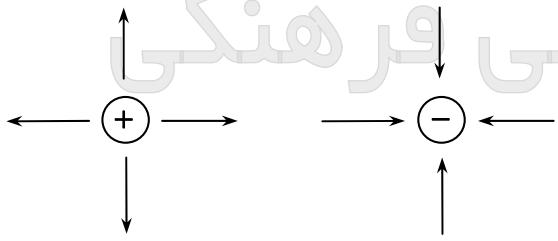
پاسخ: از آن‌جا که این حرکت خود به خودی نیست و برای انجام آن باید انرژی صرف کنیم، انرژی پتانسیل مجموعه زیاد می‌شود.

ب)یک بار مثبت و یک بار منفی به هم نزدیک می‌شوند.

پاسخ: این حرکت به صورت خود به خودی انجام می‌شود و در طی آن انرژی پتانسیل کم می‌شود. توجّه کنید که در این حرکت انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود.

ج) بار الکتریکی مثبت در جهت خطوط میدان الکتریکی حرکت می‌کند.

پاسخ: می‌دانیم خطوط میدان همواره از بار مثبت دور شده و به بار منفی نزدیک می‌شوند. بنابراین وقتی بار مثبت در جهت خطوط میدان حرکت می‌کند،یعنی بار مثبت از بارهای مثبت دیگر دور گشته، به بارهای منفی نزدیک می‌شود. چون این حرکت خود به خودی است، انرژی پتانسیل الکتریکی مجموعه کاهش می‌یابد.



تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی: تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی برابر کاری است که ما صرف کرده‌ایم تا بار را با سرعت ثابت بین دو نقطه جابه‌جا کنیم.

۹- اختلاف پتانسیل الکتریکی:

اگر یکای بار الکتریکی را بین دو نقطه جابه‌جا کنیم، کار مشخصی انجام می‌شود. اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه، برابر کار انجام شده برای جابه‌جایی یکای بار بین آن دو نقطه است. با توجّه به این تعریف:

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

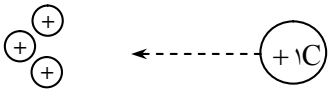
که در این فرمول ΔU بیانگر تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی است.یکای اختلاف پتانسیل الکتریکی، ولت است.

مثال ۶: برای جابه‌جایی $۰/۲C$ بار بین دو نقطه ۲۰ ژول انرژی مصرف می‌کنیم. اختلاف پتانسیل بین دو نقطه چند ولت است؟

پاسخ: $\Delta V = \frac{W}{q} = \frac{۲۰}{۰/۲} = ۱۰۰V$

به عبارت دیگر باید $۱۰۰J$ انرژی برای جابه‌جایی $۱C$ بار صرف کنیم.

نکته‌ی ۱: همان طور که گفتیم ΔV در واقع ΔU برای بار $+۱C$ است. هرگاه بخواهیم بار $+۱C$ را به بارهای مثبت دیگر نزدیک کنیم، باید انرژی صرف کنیم. در نتیجه U زیاد می‌شود و V هم زیاد می‌شود. پس هر چه به طرف بارهای مثبت برویم پتانسیل الکتریکی زیاد می‌شود. به همین ترتیب، هر چه به طرف بارهای منفی برویم، پتانسیل الکتریکی کم می‌شود.

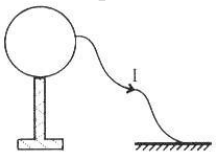


نکته‌ی ۲: پتانسیل زمین به طور قراردادی صفر فرض می‌شود. هر جسمی که پتانسیل الکتریکی‌اش بیش از زمین باشد پتانسیل مثبت دارد و برعکس.

نکته‌ی ۳: بارهای مثبت به طور خود به خودی از پتانسیل بیش‌تر به پتانسیل کم تر می‌روند و بارهای منفی به‌طور خودبه‌خودی از پتانسیل کم‌تر به پتانسیل بیش‌تر می‌روند. بنابراین می‌گوییم اختلاف پتانسیل عامل شارش بار (یا عامل ایجاد جریان الکتریکی) است. شارش بار زمانی متوقّف می‌شود که پتانسیل تمام نقاطی که توسّط رسانا به هم وصل شده‌اند یکسان شود. بنابراین در یک جسم رسانا بارها آن قدر جابه‌جا می‌شوند که پتانسیل تمام نقاط آن با هم برابر شود.

نکته‌ی ۴: می دانیم که در جریان الکتریکی، در واقع، الکترون‌ها هستند که جابه‌جا می شوند. امّا در قدیم این را نمی‌دانستند و فرض می‌کردند که پروتون‌ها (بار مثبت) جابه‌جا می شوند. با توجّه به این که نتیجه فرق نمی‌کند، هنوز هم جهت قراردادی جریان، جهت حرکت بار مثبت است. می دانیم که بار مثبت به‌طور خود به خودی از پتانسیل بیش‌تر به پتانسیل کم‌تر شارش پیدا می‌کند. پس جهت قراردادی جریان از پتانسیل بیش‌تر به پتانسیل کم‌تر است.

مثال ۷: کره‌ی بارداری را مطابق شکل به زمین وصل می‌کنیم. اگر جهت قراردادی جریان از کره به زمین باشد:



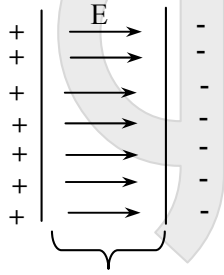
الف) پتانسیل کره مثبت است یا منفی؟

پاسخ: مثبت. زیرا جهت جریان از پتانسیل بیش‌تر به پتانسیل کم‌تر می باشد و پتانسیل زمین صفر است.

ب) کره بار مثبت داشته است یا منفی؟

پاسخ: مثبت. وقتی جهت جریان از کره به طرف زمین است، فرض می‌کنیم که بار مثبت از کره به زمین می‌رود. در واقع بار منفی (الکترون) از زمین به طرف کره می‌آید. الکترون‌ها به طرف بار مثبت می‌روند. پس این کره بار مثبت داشته است.

۱۰- میدان الکتریکی یکنواخت:



هرگاه دو صفحه‌ی موازی که بین آن‌ها عایقی قرار دارد باردار شوند (مثل یک خازن)، بین دو صفحه میدان الکتریکی یکنواخت ایجاد می‌شود. در میدان الکتریکی یکنواخت خطوط میدان موازی هم هستند و اندازه‌ی میدان در همه‌جا برابر است. توجّه کنید که مثل همیشه جهت خطوط میدان از بارهای مثبت به طرف بارهای منفی است.

می‌توان ثابت کرد که اندازه‌ی میدان الکتریکی یکنواخت از فرمول $E = \frac{V}{d}$ به‌دست می‌آید. در این فرمول V اختلاف پتانسیل بین دو صفحه و d فاصله‌ی دو صفحه است.

۱۱- ظرفیت خازن و عوامل مؤثّر بر آن:

خازن وسیله‌ای است که از دو صفحه رسانای بزرگ تشکیل شده است که بارهای مساوی و ناهم‌نام روی آنها نشسته است و نسبت به هم عایق‌اند. خازن مسطح، خازنی است که صفحات آن با هم مساوی، موازی و تخت‌اند. $C = \frac{q}{V}$

ظرفیت یک خازن بستگی به مشخصّات ساختمانی آن دارد. این ظرفیت بستگی به مساحت دو صفحه‌ی مقابل به هم، فاصله‌ی دو صفحه و جنس عایق بین دو صفحه دارد و از فرمول زیر حساب می‌شود: $C = k\varepsilon_{\circ}\frac{A}{d}$

صفحه‌های خازن را جوشن‌های خازن هم می‌نامند. ظرفیت خازن به مقدار بار آن بستگی ندارد.

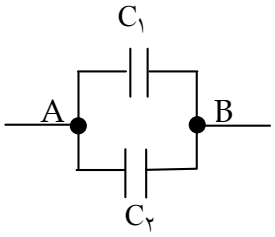
۱۲- انرژی خازن:

هنگام پر شدن خازن مقداری انرژی پتانسیل الکتریکی در آن ذخیره می‌شود. اندازه‌ی این انرژی از فرمول $U = \frac{۱}{۲}qV$ به‌دست می‌آید.

$$\left.\begin{array}{l} U = \frac{۱}{۲}qV \\ q = CV \end{array}\right\} \Rightarrow U = \frac{۱}{۲}CV^{۲} = \frac{۱}{۲}\frac{q^{۲}}{C}$$

هرگاه بار الکتریکی ذخیره شده یا اختلاف پتانسیل دو سر خازن بسیار زیاد شود، الکترون‌های آزاد عایق رها می‌شوند و عایق به طور موقت رسانا می‌شود که این امر موجب سوختن یا سوراخ شدن دی الکتریک و در نتیجه سوختن خازن می‌شود که به این پدیده «فروشکست دی‌الکتریک» می‌گویند.

۱۳- تعیین ظرفیت خازن معادل:

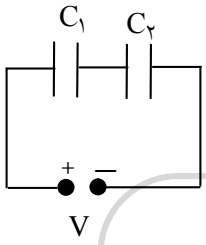


به هم بستن موازی خازن‌ها: خازن‌های موازی خازن‌هایی هستند که دو سر آن‌ها به هم وصل باشد. در شکل روبه‌رو دو خازن C_1 و C_2 موازی هستند. زیرا یک سر هریک از آن‌ها به نقطه‌ی A و یک سر دیگر هریک به نقطه‌ی B وصل است. پس دو سر خازن‌ها بدون هیچ واسطه‌ای به هم وصلند.

خازن‌های موازی خازن‌هایی هستند که‌یک سر آن‌ها به یک نقطه مشترک و سر دیگر آن‌ها به نقطه مشترک دیگری متصل شده باشد.

در خازن‌های موازی ظرفیت معادل برابر مجموع ظرفیت خازن‌ها است.

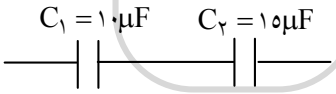
$$C_T = C_1 + C_2$$



به هم بستن متوالی خازن‌ها: خازن‌های متوالی خازن‌هایی هستند که به‌صورت پشت سر هم بسته شده باشند. شکل روبه‌رو نشان‌دهنده‌ی دو خازن متوالی است. در خازن‌های متوالی معکوس ظرفیت معادل برابر جمع معکوس ظرفیت خازن‌ها است.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

مثال ۸: در شکل زیر دو خازن $C_1 = 10\mu F$ و $C_2 = 15\mu F$ به‌صورت متوالی بسته شده‌اند. ظرفیت معادل خازن‌ها را به‌دست آورید.



راه اول:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15} = \frac{3+2}{30} \Rightarrow C = \frac{30}{5} = 6\mu F$$

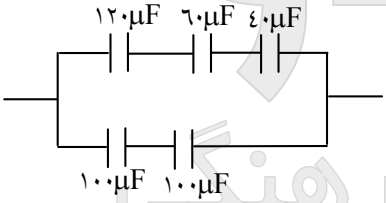
راه دوم:

این راه در واقع همان راه اول است، ولی ضرب و تقسیم آن ساده شده است. اگر فرمول بالا را برحسب C حل کنیم به این نتیجه می‌رسیم که:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{10 \times 15}{10 + 15} = \frac{150}{25} = 6\mu F$$

مثال ۹: در شکل روبه‌رو ظرفیت معادل خازن‌ها را به‌دست آورید.



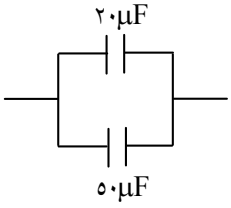
پاسخ: خازن‌های ردیف بالا با هم متوالی هستند، همین‌طور خازن‌های ردیف پایین.

۶۰ و ۱۲۰ ردیف بالا: $C = \frac{60 \times 120}{60 + 120} = 40\mu F$

۴۰ و ۴۰: $C = \frac{40}{1+1} = 20\mu F$

۱۰۰ و ۱۰۰ ردیف پایین: $C = \frac{100}{1+1} = 50\mu F$

حال خازن معادل ردیف بالا و خازن معادل ردیف پایین با هم موازی هستند و می‌توانیم آن‌ها را به‌سادگی با هم جمع کنیم.



$$C = 20 + 50 = 70\mu F$$

مؤسسه آموزشی فرهنگی

نکته: به‌راحتی می توان ثابت کرد که ظرفیت معادل **n** خازن مشابه متوالی که ظرفیت هریک C_1 است برابر $\frac{C_1}{n}$ می باشد.

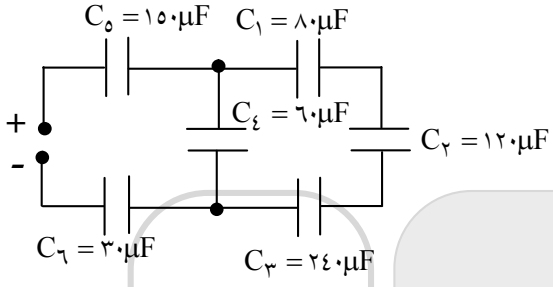
اثبات:

$$\frac{1}{C}=\overbrace{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_1}+\ldots+\frac{1}{C_1}}^{\text{مرتبه n}}=\frac{n}{C_1}\Rightarrow C=\frac{C_1}{n}$$

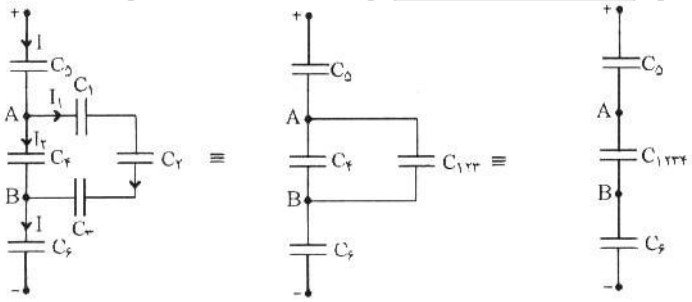
نکته: اگر دو خازن با ظرفیت‌های C_1 و nC_1 را با هم سری کنیم، ظرفیت معادل برابر است با:

$$C_T=\frac{nC_1}{n+1}=\frac{\text{ظرفیت بزرگتر}}{n+1}$$

مثال ۱۰: ظرفیت معادل را در شکل روبه‌رو به‌دست آورید.



پاسخ: ابتدا باید تعیین کنیم کدام خازن‌ها موازی اند و کدام متوالی. می‌توان گفت C_1 و C_2 و C_3 که یک جریان یکسان می‌گیرند با هم متوالی هستند. معادل آن‌ها با C_4 موازی است و معادل این مجموعه با دو خازن دیگر متوالی است. برای درک بهتر این موضوع شکل را به‌صورت زیر تغییر آرایش می‌دهیم و در هر بار معادل‌ها را جایگزین می‌کنیم. بنابراین ابتدا از C_1 و C_2 و C_3 معادل می‌گیریم.



$$\text{۱۲۰ و ۲۴۰}: C=\frac{240\times120}{240+120}=80\mu F$$

$$\text{۸۰ و ۸۰}: C=\frac{80}{1+1}=40\mu F$$

پس در واقع $C_{123}=40\mu F$. این خازن با C_4 موازی است. پس:

$$C_{1234}=C_{123}+C_4=40+60=100\mu F$$

حالا دوباره خازن‌های $C_5=150$، $C_{1234}=100$ و $C_6=30$ متوالی هستند.

$$\text{۱۵۰ و ۱۰۰}: C=\frac{100\times150}{100+150}=60\mu F$$

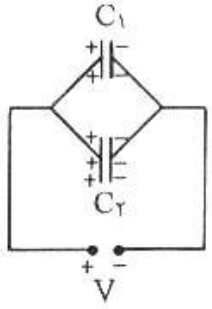
$$\text{۳۰ و ۶۰}: C=\frac{60\times30}{60+30}=20\mu F$$

نکته: در خازن‌های موازی ظرفیت‌ها جمع می‌شوند. پس ظرفیت معادل از ظرفیت بزرگ‌ترین خازن بزرگ‌تر است. در خازن‌های متوالی، برعکس، ظرفیت معادل از ظرفیت کوچک‌ترین خازن کوچک‌تر است.

۱۴- بار و اختلاف پتانسیل و انرژی در خازن‌های موازی:

اختلاف پتانسیل دو سر خازن‌های موازی با هم برابر است، زیرا صفحه‌های آن‌ها به هم وصل است.

در شکل روبه‌رو:



$$V=V_1=V_2$$

امّا بارها در خازن‌های موازی با هم جمع می‌شوند.

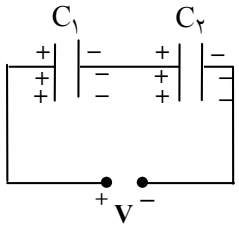
$$q=q_1+q_2$$

خازنی که ظرفیت بزرگ‌تر دارد بار بیش‌تری نیز خواهد داشت.

$$\frac{q_1}{q_2}=\frac{C_1V}{C_2V}\Rightarrow\frac{q_1}{q_2}=\frac{C_1}{C_2}$$

۱۵- بار و اختلاف پتانسیل در خازن‌های متوالی:

در خازن‌های متوالی بار کل با بار هریک از خازن‌ها برابر است. در شکل زیر:



$$q = q_۱ = q_۲$$

امّا پتانسیل‌ها در خازن‌های متوالی با هم جمع می‌شوند.

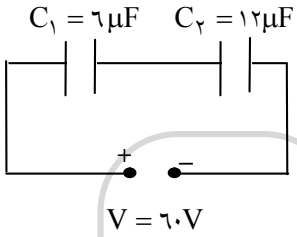
$$V = V_۱ + V_۲$$

خازنی که ظرفیت بزرگ‌تر دارد، اختلاف پتانسیل کم‌تری خواهد داشت.

$$q_۱ = q_۲ \Rightarrow C_۱V_۱ = C_۲V_۲ \Rightarrow \frac{C_۱}{C_۲} = \frac{V_۲}{V_۱}$$

در واقع در خازن‌های متوالی اختلاف پتانسیل به نسبت عکس ظرفیت، بین خازن‌ها تقسیم می‌شود.

مثال ۱۱: در شکل زیر دو خازن $C_۱$ و $C_۲$ متوالی هستند و به دو سر مجموعه اختلاف پتانسیل $V = ۶۰V$ بسته شده است. اختلاف پتانسیل دو سر خازن $C_۲$ را به‌دست آورید.



پاسخ: راه اول: ظرفیت معادل و از روی آن بار کل را تعیین می‌کنیم. بار هر خازن برابر بار کل است. برای هر خازن می‌توانیم بنویسیم:

$$q = CV$$

$$C = \frac{۱۲ \times ۶}{۱۲ + ۶} = ۴\mu F$$

$$q = CV = ۴ \times ۶۰ = ۲۴۰\mu C \Rightarrow q_۱ = q_۲ = ۲۴۰\mu C$$

$$q_۲ = C_۲V_۲ \Rightarrow ۲۴۰ = ۱۲ \times V_۲ \Rightarrow V_۲ = ۲۰V$$

راه دوم: اختلاف پتانسیل را به نسبت عکس ظرفیت‌ها تقسیم می‌کنیم. ظرفیت $C_۲$ دو برابر ظرفیت $C_۱$ است. پس اختلاف پتانسیل دو سر $C_۱$ دو برابر اختلاف پتانسیل دو سر $C_۲$ خواهد بود (نسبت‌ها ۲ به ۱ است). اگر $۶۰V$ را به ۳ قسمت تقسیم کنیم، هر قسمت $۲۰V$ می‌شود.

$$\frac{۶۰}{۲+۱} = ۲۰V$$

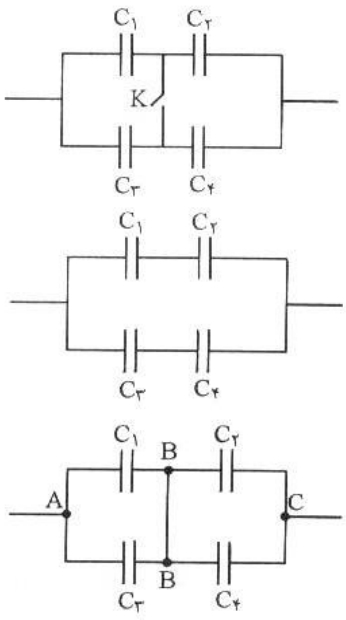
یک قسمت را به خازن با ظرفیت بزرگ‌تر می‌دهیم $(V_۲ = ۲۰V)$ و دو قسمت را به خازن کوچک‌تر $(V_۱ = ۴۰V)$.

۱۶- کار کردن با کلیدها:

در بسیاری از تست‌ها ملاحظه می‌کنید که‌یک کلید باز یا بسته می‌شود.

به‌طور کلّی وقتی کلید در شاخه‌ای باز است، چون جریانی از شاخه نمی‌گذرد، می‌توان آن شاخه را نادیده گرفت.

وقتی سیم بدون مقاومتی به صورت موازی به دو سر یک دستگاه بسته شده باشد، دستگاه از مدار حذف می‌شود. در این حالت، اصطلاحاً می‌گویند، اتصال کوتاه شده است.



در شکل روبه‌رو وقتی کلید K باز است خازن‌های $C_۱$ و $C_۲$ متوالی هستند (شکل دوم)؛ خازن‌های $C_۳$ و $C_۴$ هم متوالی هستند؛ مجموعه‌ی ردیف بالا و مجموعه‌ی ردیف پایین با هم موازی‌اند، امّا وقتی کلید K بسته می‌شود (شکل سوم)، خازن‌های $C_۱$ و $C_۳$ با هم و خازن‌های $C_۲$ و $C_۴$ با هم موازی می‌شوند و مجموعه‌ی سمت چپ $(C_۳, C_۱)$ با مجموعه‌ی سمت راست $(C_۴, C_۲)$ متوالی می‌گردد.