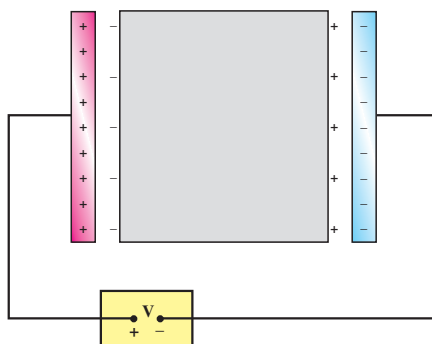


ولی در مجاورت صفحه‌های خازن، در سطح دی‌الکتریک بارهای غیر هم‌نام با بار صفحه‌ها ایجاد می‌شود (شکل ۲-۴۳). نیروی ربایشی بین این بارهای الکتریکی باعث می‌شود که با ولتاژ ثابت، بار خازن نسبت به وقتی که دی‌الکتریک ندارد، افزایش یابد و این به معنای افزایش ظرفیت خازن است.



شکل ۲-۴۳

## فناوری

انواع خازن‌ها: غالباً خازن‌ها را براساس دی‌الکتریک آن‌ها دسته‌بندی می‌کنند؛ مثلاً خازن کاغذی، الکترولیتی، سرامیکی، میکا و... . خازن‌ها بسیار متنوع‌اند؛ زیرا برای کاربردهای مختلفی ساخته می‌شوند. در این جا با چند نمونه خازن آشنا می‌شوید.



شکل ۲-۴۴

**خازن‌های کاغذی:** این خازن‌ها از دو ورقه قلع یا آلومینیوم تشکیل شده‌اند که بین آن‌ها دو ورقه کاغذ ظریف و نازک آغشته به روغن جا داده می‌شود. این ورق‌ها را

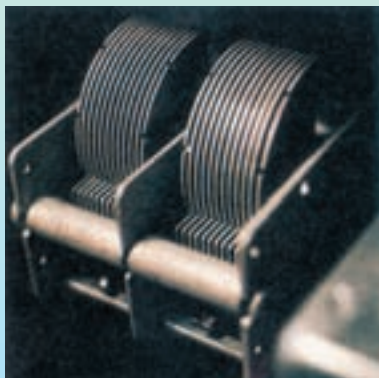
لوله می کنند و به صورت یک استوانه ی فشرده در می آورند و آن را در محفظه ی پلاستیکی یا پوشش مومی قرار می دهند. ظرفیت این نوع خازن ها از  $1\text{ nF}$  تا  $1\text{ }\mu\text{F}$  است.

**خازن های میکا:** بین ورقه های فلزی نازک قلعی، ورقه های نازک میکا قرار می دهند و ورقه های قلع را یک در میان به یک دیگر وصل می کنند. همه ی ورقه ها در محفظه ی فیبر استخوانی قرار می گیرند. ظرفیت این خازن ها حدود  $50^\circ$  تا  $500^\circ$  پیکوفاراد است.

**خازن های سرامیکی:** دی الکتریک این خازن ها سرامیک است که با استفاده از انواع سیلیکات ها در دمای بالا تهیه می شود. ثابت دی الکتریک این خازن ها بالا و در حدود  $1000^\circ$  است. خازن های سرامیکی به شکل عدس تهیه می شوند و حجم آن ها کم است. صفحه های رسانای آن ها نیز با ذوب نقره در دو طرف سرامیک تهیه می شود. ظرفیت این خازن ها حدود ده ها نانوفاراد ( $\text{nF}$ ) است.

**خازن های الکترولیتی:** این نوع خازن ها از صفحه های آلومینیومی تشکیل شده اند که در میان آن ها الکترولیت هایی از انواع مختلف فسفات یا کربنات قرار می دهند. در بین صفحه ها ماده ای اسفنجی است که الکترولیت را به خود جذب می کند. ظرفیت این خازن ها بالاست و حدود  $1000^\circ\text{ }\mu\text{F}$  می رسد.

**خازن های متغیر:** دی الکتریک این خازن ها معمولاً هوا است. در ساختمان آن ها دو نوع صفحه ی فلزی، یک دسته ثابت و دسته ی دیگر متغیر به کار رفته است که هر دو دسته، روی یک محور قرار گرفته اند. ولی صفحه های متغیر روی این محور می چرخند. صفحه ها به شکل نیم دایره اند و با چرخیدن صفحه های متغیر، مساحت خازن کم و زیاد می شود. این نوع خازن در گیرنده های رادیویی به کار می رود.



شکل ۲- ۴۵

## ۲-۱۳- انرژی خازن

در بخش ۱-۸ دیدیم که وقتی دو بار الکتریکی (هم نام یا غیرهم نام) در مجاورت یکدیگر قرار گیرند، مجموعه‌ی بارها دارای انرژی پتانسیل الکتریکی می‌شوند. خازن پر شده نیز به همین علت دارای انرژی پتانسیل الکتریکی است. در واقع، انرژی‌ای که مولد برای پُر کردن خازن مصرف می‌کند، به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در خازن ذخیره می‌شود. این انرژی را خازن در هنگام تخلیه در یک مدار، پس می‌دهد. انرژی ذخیره شده در خازن را می‌توان از رابطه‌ی زیر محاسبه کرد:

$$U = \frac{1}{2} q V = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{q^2}{2C} \quad (2-19)$$

### مثال ۲-۱۷

خازنی به ظرفیت  $6\mu\text{F}$  را به ولتاژ  $200\text{V}$  وصل می‌کنیم. بار الکتریکی و انرژی ذخیره شده در خازن را محاسبه کنید.

حل: با استفاده از رابطه‌های ۲-۱۶ و ۲-۱۹ داریم:

$$q = CV$$

$$q = 6 \times 10^{-6} \times 200$$

$$q = 1/2 \times 10^{-3} \text{C} = 1/2 \text{mC}$$

$$U = \frac{1}{2} qV$$

$$U = \frac{1}{2} \times 1/2 \times 10^{-3} \times 200 = 0/12 \text{J}$$

## ۲-۱۴- به هم بستن خازن‌ها

در مدارهای الکتریکی، گاهی لازم می‌شود که از ظرفیت معینی استفاده کنیم اما آن را در اختیار نداریم. در این گونه موارد می‌توانیم خازن‌ها را به یکدیگر ببندیم و ظرفیت موردنظر را به دست آوریم. همچنین می‌توان یک خازن را جایگزین چند خازن در یک مدار کرد. به این خازن، خازن معادل و به ظرفیت آن، ظرفیت معادل می‌گوییم. ظرفیت معادل چند خازن، ظرفیت خازنی است که اگر به جای آن خازن‌ها در مدار قرار گیرد و به همان ولتاژی که به دو سر مجموعه‌ی خازن‌ها وصل است، متصل شود، انرژی الکتریکی ذخیره شده در آن برابر انرژی‌ای باشد که در مجموعه‌ی خازن‌ها ذخیره شده است.

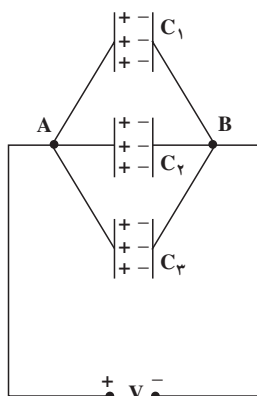
در حالت ساده، خازن‌ها ممکن است به‌طور موازی یا متوالی به یک‌دیگر وصل شده باشند. حالت‌های پیچیده‌تر را به کمک این دو حالت ساده می‌توان بررسی کرد.

**الف — به هم بستن موازی خازن‌ها:** اگر خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  و ... را مطابق شکل ۴۶-۲ به یک‌دیگر وصل کنیم، می‌گوییم خازن‌ها را به‌طور موازی به هم وصل کرده‌ایم. اگر ولتاژ  $V$  را به دو سر مجموعه وصل کنیم، اختلاف پتانسیل دو سر هر خازن برابر  $V$  می‌شود. بار الکتریکی هر یک از خازن‌ها برابر است با:

$$q_1 = C_1 V$$

$$q_2 = C_2 V$$

$$q_3 = C_3 V$$



شکل ۴۶-۲

بار الکتریکی ذخیره شده در مجموعه‌ی خازن‌ها برابر  $q = q_1 + q_2 + q_3$  است. اگر خازن معادل به ظرفیت  $C_T$  را به همین ولتاژ وصل کنیم، بار ذخیره شده در آن  $q = C_T V$  می‌شود. در نتیجه، داریم:

$$q = C_T V$$

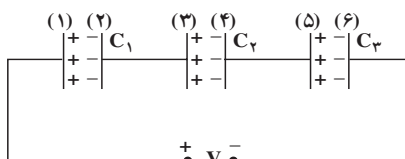
$$q_1 + q_2 + q_3 = C_T V$$

$$(C_1 + C_2 + C_3) V = C_T V$$

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \quad (۲۰-۲)$$

بنابراین، ظرفیت خازن معادل مجموعه‌ای از خازن‌ها که به‌طور موازی به یک‌دیگر وصل شده‌اند، برابر مجموع ظرفیت خازن‌هاست و ظرفیت خازن معادل از ظرفیت هر یک از خازن‌ها بیش‌تر است.

**ب — به هم بستن متوالی خازن‌ها:** در شکل



شکل ۴۷-۲

۴۷-۲ سه خازن به‌طور متوالی به یک‌دیگر وصل شده‌اند. وقتی خازن‌ها به‌طور متوالی به یک ولتاژ وصل می‌شوند، هیچ کدام از آن‌ها به‌طور مستقل به ولتاژ  $V$  وصل نیستند. اگر روی صفحه‌ی ۱ بار  $+q$

انباشته شود، بار  $-q$  روی صفحه‌ی ۲ القا می‌گردد. مجموع بار صفحه‌های ۲ و ۳ برابر صفر است (چرا؟)؛ بنابراین، بار  $+q$  روی صفحه‌ی ۳ انباشته می‌شود و به همین ترتیب، بار هر خازن برابر  $q$  می‌شود. بار ذخیره شده روی مجموعه‌ی خازن‌ها نیز برابر  $q$  است. اگر ولتاژ خازن‌ها به ترتیب  $V_1$  و  $V_2$  و  $V_3$  باشد، ولتاژ دو سر مدار برابر مجموع ولتاژ دو سر خازن‌هاست.

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

اگر به جای  $V_1$  و  $V_2$  و  $V_3$  مساوی آن‌ها را از رابطه‌های  $V_1 = \frac{q}{C_1}$  و  $V_2 = \frac{q}{C_2}$  و  $V_3 = \frac{q}{C_3}$  قرار دهیم، نتیجه می‌شود:

$$V = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

اگر ظرفیت خازن معادل باشد، وقتی به ولتاژ  $V$  وصل شود، بار آن برابر  $q$  می‌شود و در نتیجه،  $V = \frac{q}{C_T}$  است. با قرار دادن  $V$  به جای  $V$  نتیجه می‌شود:

$$\frac{q}{C_T} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} \quad \text{و یا:}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (2-21)$$

بنابراین، وقتی خازن‌ها به طور متوالی به یک‌دیگر وصل می‌شوند، بار هر یک از خازن‌ها برابر با بار خازن معادل آن‌ها و وارون ظرفیت معادل، برابر مجموع وارون ظرفیت خازن‌هاست و ظرفیت معادل از کوچک‌ترین ظرفیت نیز کوچک‌تر است.

## مثال ۲-۱۸

به دو سر مجموعه‌ی سه خازن به ظرفیت‌های  $6\mu F$ ،  $3\mu F$  و  $2\mu F$  که به طور متوالی به یک‌دیگر وصل‌اند، اختلاف پتانسیل  $150V$  را وصل می‌کنیم. الف - ظرفیت خازن معادل، ب - بار الکتریکی هر خازن و پ - ولتاژ دو سر هر خازن را حساب کنید.

حل: الف - با استفاده از رابطه‌ی ۲-۲۱ داریم:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1+2+3}{6}$$

$$C_T = 1\mu F$$

ب- بار الکتریکی هر خازن، برابر با بار خازن معادل آن هاست.

$$q = CV$$

$$q = 1 \times 150 = 150 \mu C$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = q = 150 \mu C$$

پ- با استفاده از رابطه ی  $q = CV$  داریم :

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

$$V_1 = \frac{150}{6} = 25V$$

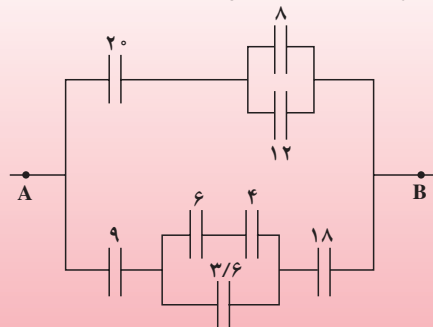
$$V_2 = \frac{150}{3} = 50V$$

$$V_3 = \frac{150}{2} = 75V$$

ممکن است در یک مدار، خازن ها به صورت پیچیده تری به یک دیگر وصل شده باشند. با استفاده از محاسبه ی ظرفیت خازن های موازی و متوالی، می توان مدار را ساده کرد و در نهایت ظرفیت معادل را به دست آورد.

## مثال ۲-۱۹

ظرفیت معادل بین دو نقطه ی A و B را در شکل ۲-۴۸ محاسبه کنید. ظرفیت هر خازن بر حسب میکروفاراد روی شکل داده شده است.

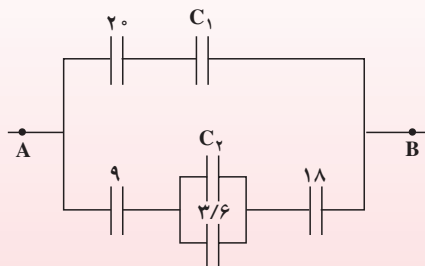


شکل ۲-۴۸

حل: دو خازن  $8\mu\text{F}$  و  $12\mu\text{F}$  با یکدیگر موازی و خازن  $4\mu\text{F}$  با  $6\mu\text{F}$  به طور متوالی به یکدیگر وصل شده اند. اگر به جای آن ها خازن معادل آن ها را قرار دهیم، مدار به صورت شکل ۴۹-۲ ساده می شود.

$$C_1 = 12 + 8 = 20\mu\text{F}$$

$$C_2 = \frac{6 \times 4}{6 + 4} = 2.4\mu\text{F}$$

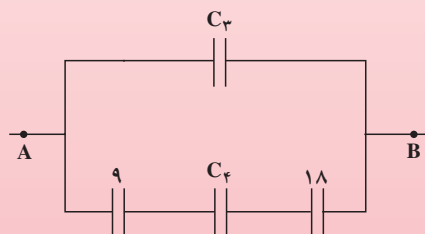


شکل ۴۹-۲

اکنون خازن های  $20\mu\text{F}$  میکروفارادی با یکدیگر متوالی اند و خازن  $C_2$  با خازن  $3/6\mu\text{F}$  میکروفارادی موازی است. مدار به صورت شکل ۵۰-۲ ساده می شود.

$$C_3 = \frac{20}{2} = 10\mu\text{F}$$

$$C_4 = 2.4 + 3/6 + 18 = 6\mu\text{F}$$



شکل ۵۰-۲

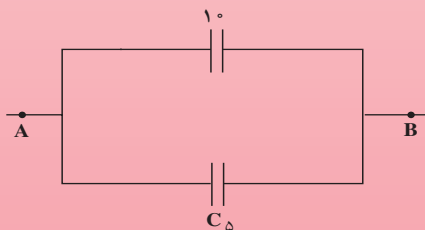
اگر خازن معادل سه خازن  $9\mu\text{F}$ ،  $C_4$  و  $18\mu\text{F}$  را که متوالی اند را با  $C_5$  نشان دهیم، مدار به صورت شکل ۵۱-۲ ساده می شود.

$$\frac{1}{C_5} = \frac{1}{9} + \frac{1}{6} + \frac{1}{18}$$

$$\frac{1}{C_5} = \frac{2 + 3 + 1}{18}$$

$$C_5 = \frac{18}{6} = 3\mu\text{F}$$

$$C_T = 10 + 3 = 13\mu\text{F}$$



شکل ۵۱-۲

## مثال ۲-۲۰

دو خازن به ظرفیت  $C_1 = 2\mu F$  و  $C_2$  را به یکدیگر وصل می‌کنیم و ولتاژ  $100V$  را به دو سر مجموعه‌ی آن‌ها می‌بندیم. اگر انرژی ذخیره شده در مجموعه‌ی خازن‌ها برابر  $25$  میلی ژول شود، تعیین کنید که خازن‌ها چگونه به یکدیگر وصل شده‌اند. ظرفیت  $C_2$  را نیز محاسبه کنید.

حل: اگر ظرفیت معادل دو خازن برابر  $C_T$  باشد، داریم:

$$U = \frac{1}{2} C_T V^2$$

$$25 \times 10^{-3} = \frac{1}{2} C_T \times 10^4$$

$$C_T = 5 \times 10^{-6} F = 5\mu F$$

چون ظرفیت معادل از  $C_1$  بزرگ‌تر است، دو خازن به‌طور موازی به یکدیگر وصل شده‌اند.

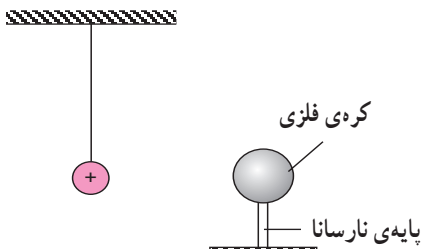
$$C_T = C_1 + C_2$$

$$5 = 2 + C_2$$

$$C_2 = 3\mu F$$

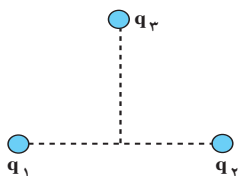
## تمرین‌های فصل دوم

۱- یک کره‌ی فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایه‌ی نارسانایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد.



شکل ۲-۵۲

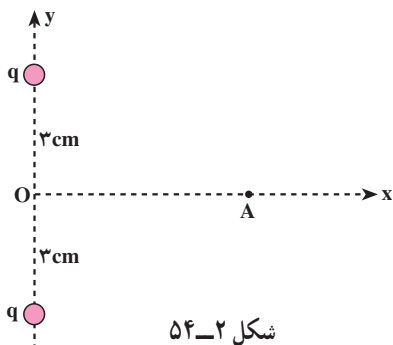
۲- بارهای الکتریکی نقطه‌ای  $q_1 = -4\mu C$  و  $q_2 = -3\mu C$  مطابق شکل در فاصله‌ی  $8\text{cm}$  از یکدیگر ثابت شده‌اند. بار نقطه‌ای  $q_3 = -5\mu C$  را در نقطه‌ای که فاصله‌ی آن از هر یک از دو بار الکتریکی قبلی برابر  $5\text{cm}$  است، قرار می‌دهیم. نیروی الکتریکی وارد بر بار  $q_3$  را محاسبه کنید.



شکل ۲-۵۳

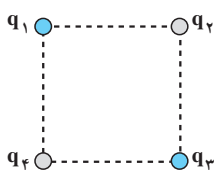


۳- توضیح دهید که چرا خط‌های میدان الکتریکی یکنواخت، به صورت خط‌های راست و موازی با فاصله‌های مساوی با یکدیگرند.



شکل ۵۴-۲

۴- دو بار الکتریکی نقطه‌ای هم نام  $q = +5\mu C$  مطابق شکل ۵۴-۲ به فاصله‌ی ۶ cm از یکدیگر قرار دارند. جهت و اندازه‌ی میدان الکتریکی را در نقطه‌ی A واقع بر عمود منصف خط واصل دو بار، در فاصله‌ی ۴ cm از نقطه‌ی O (وسط خط واصل دو بار) مشخص کنید.



شکل ۵۵-۲

۵- سه ذره‌ی باردار  $q_1$ ،  $q_2$  و  $q_3$  مطابق شکل ۵۵-۲ در سه رأس مربعی ثابت شده‌اند. اگر  $q_1 = q_3 = -5\mu C$  باشد، نوع و اندازه‌ی بار  $q_2$  را طوری تعیین کنید که بار  $q_4$  در حال تعادل باشد.

۶- در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی  $\frac{N}{C} \times 10^4$  که

جهت آن قائم و رو به پایین است، ذره‌ی باردارى به جرم ۲ g معلق و به حال سکون قرار دارد. اگر  $g = 10 \frac{N}{kg}$  باشد، اندازه و نوع بار الکتریکی ذره را مشخص کنید.



شکل ۵۶-۲

۷- غلظت الکترون‌ها در ارتفاعات مختلف جو زمین متفاوت است. وقتی ماهواره‌ای به دور زمین می‌چرخد بر اثر عبور از فضای اطراف زمین باردار می‌شود (شکل ۵۶-۲). این بارها ممکن است موجب آسیب رساندن به قطعات الکترونیکی ماهواره شود. فرض کنید ماهواره‌ی امید بر اثر عبور از یکی از لایه‌های جو دارای بار الکتریکی  $q = 2 \times 10^{-9} C$  شود. این ماهواره مکعبی به ابعاد  $40\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$  است. چگالی سطحی بار

الکتریکی روی سطح این ماهواره را محاسبه کنید. (از تجمع بار بر روی لبه‌ها چشم‌پوشی شود.)

۸- بار  $q = +5\mu\text{C}$  را با سرعت ثابت در میدان الکتریکی یکنواخت  $\frac{N}{C} \times 10^5$  مطابق شکل

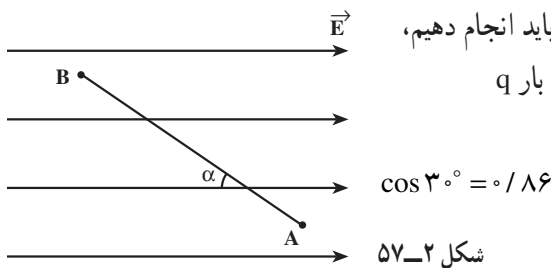
۵۷-۲ از نقطه‌ی A تا B جابه‌جا می‌کنیم. اگر  $AB = 2\text{m}$  و  $\alpha = 30^\circ$  درجه باشد :

الف - نیروی الکتریکی وارد بر بار  $q$ ،

ب - کاری که برای این جابه‌جایی باید انجام دهیم،

پ - تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار  $q$

را حساب کنید.



۹- دو صفحه‌ی رسانا با فاصله‌ی  $2\text{cm}$  را موازی یک‌دیگر قرار می‌دهیم و آن‌ها را به اختلاف

پتانسیل  $100\text{V}$  وصل می‌کنیم. در نتیجه، یکی از صفحه‌ها به‌طور منفی و دیگری به‌طور مثبت باردار

می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی بوجود می‌آید. اندازه‌ی این میدان الکتریکی را

حساب کنید و توضیح دهید که کدام یک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیش‌تری دارند.

۱۰- در یک میدان الکتریکی، بار  $q = +2\mu\text{C}$  از نقطه‌ی A تا B جابه‌جا می‌شود. اگر انرژی

پتانسیل آن در نقطه‌های A و B به‌ترتیب  $-4 \times 10^{-5}\text{J}$  و  $5 \times 10^{-5}\text{J}$  باشد، اختلاف پتانسیل الکتریکی

میان دو نقطه  $(V_B - V_A)$  را محاسبه کنید.

۱۱- بار الکتریکی  $q = -4\mu\text{C}$  از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی  $V_1 = -40\text{V}$  تا نقطه‌ای با

پتانسیل  $V_2 = -10\text{V}$  آزادانه جابه‌جا می‌شود. الف - انرژی پتانسیل الکتریکی بار  $q$  چه اندازه و

چگونه تغییر می‌کند؟ ب - توضیح دهید که تغییر انرژی پتانسیل بار  $q$  (با توجه به قانون پایستگی

انرژی) به چه انرژی‌ای تبدیل می‌شود؟

۱۲- دو صفحه‌ی رسانا به فاصله‌ی یک سانتی‌متر از هم و موازی یک‌دیگر واقع‌اند. اختلاف

پتانسیل میان دو صفحه برابر  $1000\text{V}$  است. یک ذره به بار  $+1/6 \times 10^{-19}\text{C}$  و جرم  $1/6 \times 10^{-27}\text{kg}$

(یک پروتون) از مجاور صفحه‌ی مثبت و از حال سکون به طرف صفحه‌ی منفی شتاب می‌گیرد. انرژی

پتانسیل الکتریکی این ذره وقتی به صفحه‌ی روبرو می‌رسد، افزایش می‌یابد یا کاهش؟ اندازه‌ی تغییرات

این انرژی را حساب کنید. سرعت ذره در لحظه‌ی رسیدن به این صفحه چه قدر است؟

۱۳- اختلاف پتانسیل بین دو صفحه‌ی یک خازن را از  $28\text{V}$  به  $40\text{V}$  افزایش می‌دهیم.

اگر با این کار  $15$  میکروکولن بر بار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

۱۴- دو صفحه‌ی مربعی شکل به ضلع  $۱۶\text{cm}$  در فاصله‌ی  $۲\text{mm}$  از یک‌دیگر قرار دارند. فضای بین دو صفحه از پارافین با ضریب دی‌الکتریکی  $۲/۵$  پر شده است. ظرفیت خازن حاصل چه اندازه است؟

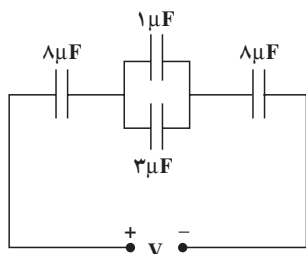
۱۵- خازنی به ظرفیت  $C_1 = ۵\mu\text{F}$  با اختلاف پتانسیل  $۱۲۰\text{V}$  و خازنی به ظرفیت  $C_2 = ۱۰\mu\text{F}$  با اختلاف پتانسیل  $۷۵\text{V}$  ولت پر شده‌اند. اگر این خازن‌های پر را از مدار اصلی آن‌ها جدا و صفحه‌های هم‌نام آن‌ها را به هم وصل کنیم، الف - اختلاف پتانسیل بین دو صفحه و بار ذخیره شده در هر خازن چه اندازه می‌شود؟

ب - مجموع انرژی ذخیره شده در دو خازن را قبل و بعد از اتصال به یک‌دیگر محاسبه و با هم مقایسه کنید.

۱۶- ظرفیت خازنی  $۱۲$  میکروفاراد و بارالکتریکی آن  $q$  است.  $۸\text{J}$  انرژی باید مصرف کنیم تا  $+۳\text{mC}$  بار الکتریکی را از صفحه‌ی منفی جدا کرده و به صفحه‌ی مثبت منتقل کنیم.  $q$  را محاسبه کنید.

۱۷- در مدار شکل ۵۸-۲ اختلاف پتانسیل در سر

مدار برابر  $۱۰\text{V}$  است.



شکل ۵۸-۲

الف - ظرفیت معادل مدار

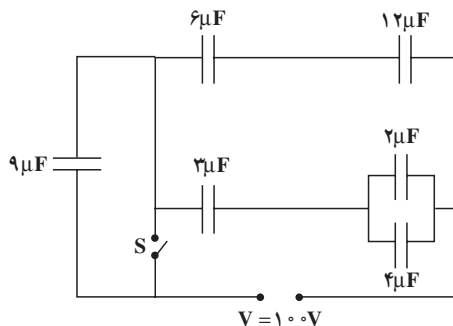
ب - بار الکتریکی و اختلاف پتانسیل دو سر هر یک

از خازن‌ها را حساب کنید.

۱۸- در شکل ۵۹-۲، انرژی ذخیره شده

در مجموعه‌ی خازن‌ها را در حالتی که الف - کلید

S باز و ب - کلید S بسته است، حساب کنید.



شکل ۵۹-۲