آزمایش‌هایی مانند آزمایش ۱ــ۲ و نیز محاسبه نشان می‌دهد چگالی سطحی بار در نقاط نوک‌تیز سطح جسم رسانا از نقاط دیگر آن بیشتر است.

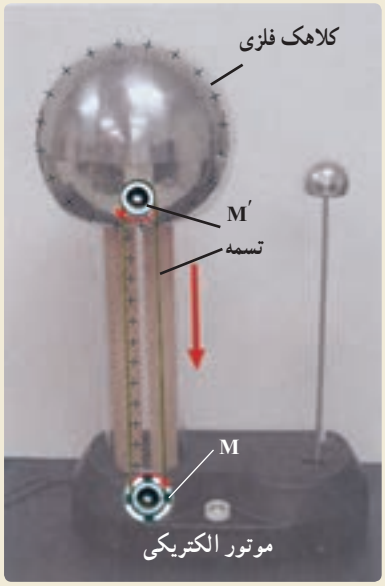
فعالیت ۱ـ۷

در مورد برقگیرهای ساختمان تحقیق کنید و بررسی کنید چگونه آنها ساختمان‌ها را از خطر آذرخش در امان نگه می‌دارند.

مطالعهٔ آزاد

مولّد واندوگراف

مولّد واندوگراف دستگاهی است که بار الکتریکی روی کلاهک فلزی آن انباشته می‌شود. اگر یک جسم رسانا با کلاهک این دستگاه تماس پیدا کند، دارای بار الکتریکی می‌شود.



در نمونهٔ سادهٔ مولد واندوگراف، غلتک M توسط یک موتور الکتریکی می‌چرخد و تسمه روی دو غلتک چرخانده می‌شود. معمولاً غلتک M از جنس پلی‌اتیلن و غلتک M′ از جنس پرسپکس است. براثر مالش تسمه با غلتک‌ها، غلتک M بار منفی و غلتک M′ بار مثبت پیدا می‌کند. غلتک M که بار منفی دارد، در یک شانهٔ فلزی که متصل به زمین است، بار مثبت القا می‌کند. بار مثبت توسط این شانه روی سطح بیرونی تسمه قرار داده می‌شود. این بارهای مثبت، توسط تسمه که عایق است به کمک شانهٔ فلزی دیگری که به کلاهک متصل است به سطح خارجی کلاهک منتقل می‌شود. به این ترتیب، بار الکتریکی مثبت روی سطح خارجی کلاهک انباشته می‌شود. اگر جای غلتک‌های M و M′ با هم عوض شود، بار منفی در سطح خارجی کلاهک انباشته خواهد شد.

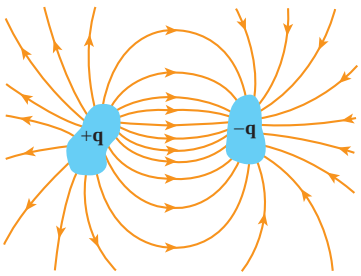
۱ــ۹ــ خازن

خازن وسیله‌ای الکتریکی است که می‌تواند بار الکتریکی و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند. مثلاً باتری‌های یک دوربین با باردار کردن یک خازن، انرژی را در خازن فلاش دوربین ذخیره می‌کنند (شکل ۱ــ۲۰). توجه کنید باتری‌ها می‌توانند انرژی را فقط با آهنگ نسبتاً کمی به مدار بدهند که این برای گسیل جرقهٔ نور از فلاش دوربین بسیار کم است، اما وقتی خازن باردار می‌شود، می‌تواند انرژی را با آهنگ بسیار بیشتری برای فلاش‌زدن آماده کند.

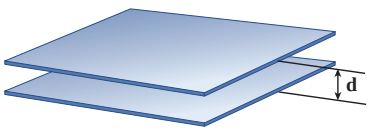
شکل ۱ــ۲۰ انرژی فلاش دوربین در یک خازن ذخیره شده است.

شکل ۱ــ۲۱ چند خازن را در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف نشان می‌دهد. شکل ۱ــ۲۲ اجزای اصلی هر خازن را نشان می‌دهد که شامل دو رسانا با هر شکلی است. بی‌توجه به شکل آنها و اینکه آیا تخت هستند یا نه، این رساناها را **صفحهٔ خازن** می‌نامیم. شکل ۱ــ۲۳ آرایش خازنی موسوم به **خازن‌تخت**[1] را نشان می‌دهد که شامل دو صفحهٔ رسانای موازی با مساحت A است که به فاصلهٔ d (که در برابر ابعاد صفحه‌ها ناچیز است) از هم قرار گرفته‌اند. گرچه نمادی که برای نشان دادن یک خازن به‌کار می‌بریم (⊣⊢) مبتنی بر شکل یک خازن تخت است، ولی از آن برای نشان دادن خازن‌ها با هر شکلی استفاده می‌شود. خازن‌ها به‌طور گسترده‌ای در مدارهای الکترونیکی وسایلی مانند رادیو، تلویزیون، رایانه و... به‌کار می‌روند؛ مثلاً شکل ۱ــ۲۴ مدار یک تقویت‌کننده (آمپلی‌فایر) را نشان می‌دهد که در آن چندین خازن به‌کار رفته است. برخی از این خازن‌ها با پیکان‌هایی مشخص شده‌اند.

شکل ۱ــ۲۱ تصویری از چند خازن مختلف



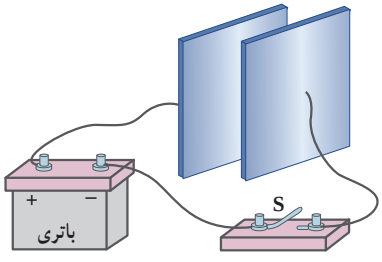
شکل ۱ــ۲۲ دو رسانا که به‌طور الکتریکی از یکدیگر و محیط اطراف خود منزوی شده‌اند، تشکیل یک خازن را می‌دهند.



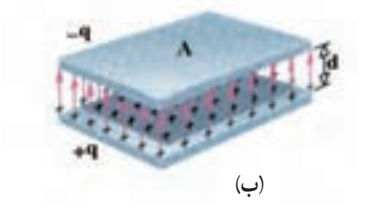
شکل ۱ــ۲۳ یک خازن تخت، از دو صفحه با مساحت A ساخته شده است که به فاصلهٔ d از هم قرار گرفته‌اند.

شکل ۱ــ۲۴ مدار یک تقویت‌کننده که شامل چند خازن است. برخی از خازن‌ها با پیکان مشخص شده‌اند.

باردار (شارژ) کردن خازن : روش ساده و مرسوم برای باردار کردن خازن قرار دادن آن در مدار الکتریکی ساده‌ای است که دارای یک باتری است (شکل ۱ــ۲۵ ــ الف). وقتی کلید S بسته شود بار از طریق سیم رسانا جریان می‌یابد. این بار همان الکترون‌هایی هستند که توسط میدان الکتریکی‌ای که باتری در سیم‌ها ایجاد می‌کند در طول سیم‌ها به حرکت واداشته می‌شوند. میدان الکتریکی، الکترون‌ها را از صفحهٔ متصل به پایانهٔ مثبت باتری به حرکت در می‌آورد. درنتیجه، این صفحه با از دست دادن الکترون دارای بار مثبت می‌شود. این میدان، درست همین تعداد الکترون را از پایانهٔ منفی باتری به صفحه‌ای می‌راند که از طریق کلید به پایانهٔ منفی باتری متصل است. درنتیجه، این صفحه با به‌دست آوردن الکترون دارای بار منفی می‌شود که درست به همان اندازه‌ای است که صفحهٔ دیگر با از دست دادن الکترون دارای بار مثبت شده است. این شارش بار تا هنگامی ادامه پیدا می‌کند که اختلاف پتانسیل میان دو صفحهٔ خازن با اختلاف پتانسیل میان دو پایانهٔ باتری یکسان شود. با توجه به اینکه صفحه‌های



(الف)



(ب)

شکل ۱ــ۲۵ الف) برای باردار کردن خازن، آن را به باتری وصل کرده‌ایم. ب) هر صفحهٔ این خازن بارهایی با علامت مخالف قرار دارد و میدان الکتریکی عمود بر صفحه‌ها و از صفحهٔ مثبت به سمت صفحهٔ منفی است.

۱ــ parallel – plate capacitor

خازن رساناست تمام نقاط هر صفحه پتانسیل یکسانی دارد و خطوط میدان الکتریکی عمود بر این صفحه‌ها و از صفحهٔ مثبت به سمت صفحهٔ منفی است (شکل ۱ــ۲۵ــ ب). وقتی یک خازن باردار می‌شود، صفحه‌های آن دارای بارهایی با بزرگی یکسان، ولی علامت مخالف می‌شود : $+q$ و $-q$. ولی بار یک خازن را به‌صورت q نشان می‌دهند که همان بار صفحهٔ مثبت است.

۱ــ۱۰ــ ظرفیت خازن

اگر اختلاف پتانسیل بین صفحه‌های خازن (ΔV) را زیاد کنیم، بار خازن (q) نیز *به همان نسبت* زیاد می‌شود. به‌عبارتی نسبت $\frac{q}{\Delta V}$ همواره مقداری ثابت است. به این نسبت که به اندازهٔ بار خازن و نیز اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ آن بستگی ندارد ظرفیت خازن می‌گویند و آن را با C نشان می‌دهند. بنا به دلایل تاریخی قدرمطلق اختلاف پتانسیل ΔV بین دو صفحهٔ خازن را با V نمایش می‌دهند. بنابراین :

$$C=\frac{q}{V} \qquad (۱۴ــ۱)$$

در رابطهٔ ۱ــ۱۴ یکای بار الکتریکی، کولن (C)، یکای اختلاف پتانسیل، ولت (V) و بنابراین یکای ظرفیت، کولن بر ولت (C/V) است که به پاس خدمات مایکل فارادی، فاراد (F) نامیده شده است. *فاراد* یکای بسیار بزرگی است و عملاً ظرفیت اکثر خازن‌های متداول در محدودهٔ پیکوفاراد ($10^{-12}F$) تا میلی‌فاراد ($10^{-3}F$) است. گرچه امروزه فناوری ساخت خازن‌ها، دستیابی به ظرفیت‌هایی بسیار بیشتر را نیز ممکن ساخته است.

مثال ۱ــ۱۵

صفحه‌های خازنی را به پایانه‌های مولّدی با اختلاف پتانسیل ۲۴/۰V وصل می‌کنیم. اگر بار خازن ۱۲۰μC شود

الف) ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

ب) اگر این خازن را به اختلاف پتانسیل ۳۶/۰V وصل کنیم، بار الکتریکی آن چقدر می‌شود؟

پاسخ :

الف) با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۱۴ داریم :

$$C=\frac{q}{V}=\frac{1/20\times10^{-4}C}{24/0V}=5/00\times10^{-6}F=5/00\mu F$$

ب) با توجه به اینکه ظرفیت خازن همواره مقدار ثابتی است از ظرفیت به‌دست آمده در قسمت الف استفاده می‌کنیم. آنگاه با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۱۴ می‌توان نوشت :

$$q=CV=(5/00\times10^{-6}F)(36/0V)=180\times10^{-6}C=180\mu C$$

۱ــ۱۱ــ خازن با دی‌الکتریک

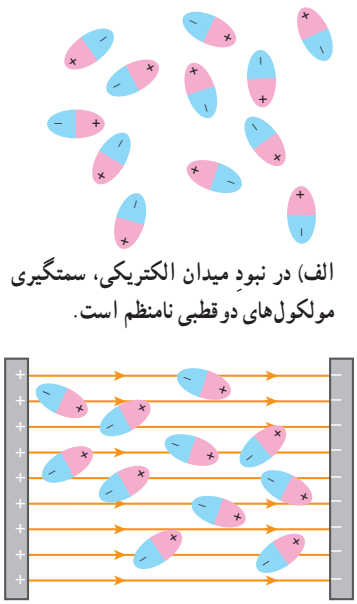
اگر فضای میان صفحه‌های یک خازن را با ماده‌ای عایق (مانند کاغذ یا پلاستیک) که به آن دی‌الکتریک گفته می‌شود پُر کنیم برای ظرفیت خازن چه پیش می‌آید؟ مایکل فارادی نخستین بار در

سال ۱۸۳۷ میلادی، با استفاده از وسایل ساده‌ای دریافت که ظرفیت خازن با ضریبی موسوم به ثابت دی‌الکتریک مادهٔ عایق (که آن را با κ[1] نشان می‌دهند) افزایش می‌یابد؛ یعنی اگر ظرفیت خازن بدون دی‌الکتریک را با C_0 نمایش دهیم آنگاه ظرفیت خازن با دی‌الکتریک برابر با $C = \kappa C_0$ می‌شود. جدول ۱ــ۱ ثابت دی‌الکتریک چند مادهٔ عایق را نشان می‌دهد.

جدول ۱ــ۱ــ برخی از ویژگی‌های دی‌الکتریک‌ها در دمای $20\,^{\circ}C$

مادهٔ دی‌الکتریک	ثابت دی‌الکتریک	قدرت دی‌الکتریک (kV/mm)
هوای ۱atm	۱/۰۰۰۶	۳
تفلون	۲/۱	۶۰
پارافین	۲/۲	۱۰
پلی‌استیرن	۲/۶	۲۴
میلار	۳/۱	۲۸۰
PVC(پلی وینیل کلراید)	۳/۴	۲۹
کاغذ	۳/۵	۱۶
کوارتز	۴/۳	۸
شیشه پیرکس	۵	۱۴
میکا	۷	۱۵۰
آب	۸۰	۶۵
تیتانید استرانسیوم	۳۱۰	۸

حال پرسش این است که دی‌الکتریک چگونه ظرفیت خازن را افزایش می‌دهد؟ به این منظور فرض کنید خازنی را نخست توسط یک باتری باردار و سپس از باتری جدا کرده‌ایم. اکنون فضای داخل این خازن را با یک دی‌الکتریک پر می‌کنیم. توجه کنید که دی‌الکتریک‌ها بر دو نوع‌اند : قطبی و غیرقطبی. وقتی یک دی‌الکتریک قطبی (مانند آب، NH_3، HCl) در میدان الکتریکی بین دو صفحهٔ خازن قرار می‌گیرد، سر منفی مولکول‌های دوقطبی به‌طرف صفحهٔ مثبت و سر مثبت آنها به طرف صفحهٔ منفی کشیده می‌شود و درنتیجه این مولکول‌های دوقطبی می‌کوشند خود را در جهت میدان الکتریکی بین دو صفحهٔ خازن همردیف کنند (شکل ۱ــ۲۶). همردیفی این مولکول‌های دوقطبی، میدانی الکتریکی مانند $\vec{E}'$ ایجاد می‌کند که جهت آن در خلاف جهت میدان الکتریکی



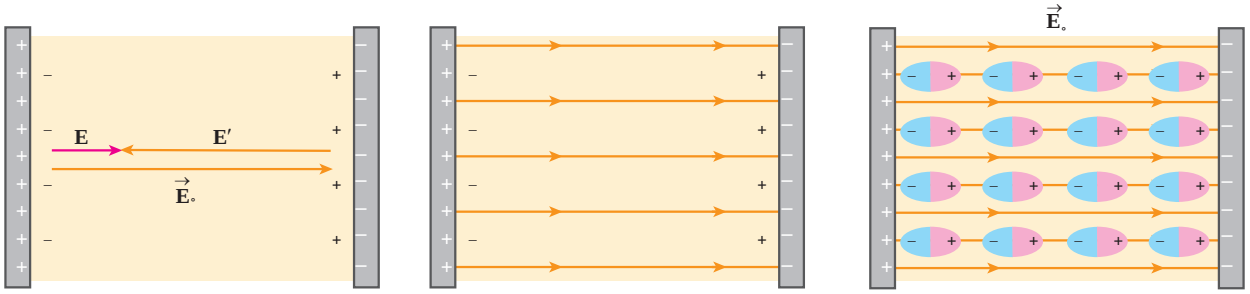
الف) در نبودِ میدان الکتریکی، سمتگیری مولکول‌های دوقطبی نامنظم است.

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

شکل ۱ــ۲۶

۱ــ از حروف الفبای یونانی که کاپا خوانده می‌شود.

$\vec{E}_0$ اولیهٔ صفحه‌های خازن است. به این ترتیب، میدان الکتریکی برایند $\vec{E}$ در داخل دی‌الکتریک جمع برداری میدان‌های $\vec{E}_0$ و $\vec{E}'$ می‌شود که جهت آن در همان جهت $\vec{E}_0$، ولی بزرگی آن از بزرگی $\vec{E}_0$ کوچک‌تر است (شکل ۱ــ۲۷).



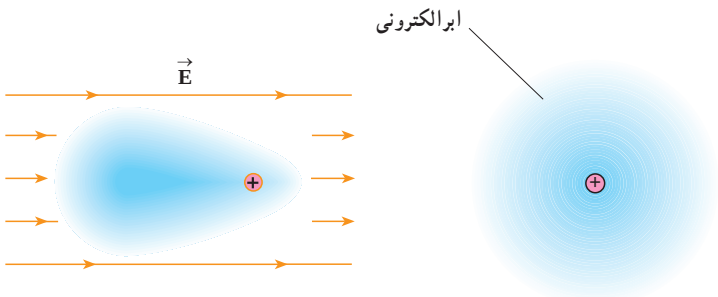
الف) مولکول‌های دوقطبی در حضور میدان الکتریکی خارجی $\vec{E}_0$ همردیف شده‌اند.

ب) این همردیفی، بارهایی سطحی را روی دو وجه دی‌الکتریک ایجاد می‌کند که موجب تضعیف میدان الکتریکی خارجی می‌شود.

پ) میدان‌الکتریکی $\vec{E}'$ حاصل از بارهای سطحی در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}_0$ است. میدان‌الکتریکی برایند $\vec{E}$ در جهت $\vec{E}_0$ و کوچک‌تر از آن شده است.

شکل ۱ــ۲۷

آنچه گفته شد برای دی‌الکتریک‌های غیرقطبی (مانند متان، بنزن و...) نیز برقرار است. وقتی مولکول‌های چنین دی‌الکتریکی در میدان بین دو صفحهٔ خازن قرار می‌گیرند بر اثر القاء قطبیده می‌شوند؛ یعنی میدان الکتریکی باعث می‌شود که ابر الکترونی این مولکول‌ها در خلاف جهت میدان جابه‌جا شود (شکل ۱ــ۲۸) و به این ترتیب، مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا می‌شوند و اصطلاحاً مولکول‌ها قطبیده می‌شوند.



الف) در نبودِ میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت و منفی بر هم منطبق‌اند.

ب) در حضور میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا شده‌اند و ابر الکترونی در خلاف جهت میدان جابه‌جا شده است.

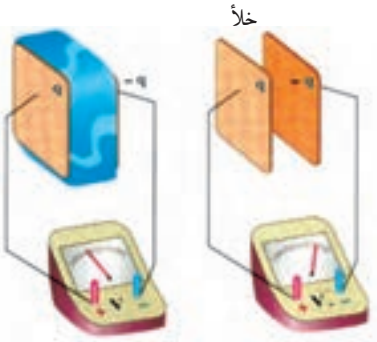
شکل ۱ــ۲۸

الکتروسیتهٔ ساکن

پس از آن مانند مولکول‌های دی‌الکتریک قطبی، میدان بین دو صفحهٔ خازن را تضعیف می‌کنند.

دیدیم که در هر دو حالت با توجه به اینکه خازن متصل به باتری نیست، با قرار دادن دی‌الکتریک (چه قطبی و چه غیرقطبی) بین صفحه‌های خازن، میدان اولیهٔ بین این صفحه‌ها کاهش می‌یابد و درنتیجه اختلاف پتانسیل بین دو صفحه نیز کاهش می‌یابد (شکل ۱ــ۲۹). بنابراین، طبق رابطهٔ ۱ــ۱۴ و با توجه به اینکه بار ثابت مانده است، ظرفیت خازن افزایش می‌یابد :

$$C = \kappa C_{\circ} \qquad (۱ــ۱۵)$$



شکل ۱ــ۲۹ با وارد شدن دی‌الکتریک در بین صفحه‌های خازن، اختلاف پتانسیل اولیهٔ $V_{\circ}$ به مقدار کوچک‌تر V کاهش یافته است.

اثر دیگر حضور دی‌الکتریک‌ها در خازن، افزایش حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن است. اما در هر حال برای هر دی‌الکتریکی، بیشینهٔ میدان و درنتیجه اختلاف پتانسیلی وجود دارد که از آن به بعد دی‌الکتریک اصطلاحاً دستخوش فروریزش الکتریکی[۱] می‌شود و به آن اختلاف پتانسیل بیشینه، پتانسیل فروریزش می‌گویند. مقدار بیشینهٔ میدان الکتریکی‌ای که دی‌الکتریک می‌تواند بدون فروریزش تحمل کند را قدرت (استقامت) دی‌الکتریک[۲] می‌نامند. برخی از قدرت‌های دی‌الکتریک برحسب kV/mm در ستون دوم در جدول ۱ــ۱ داده شده است. به لحاظ میکروسکوپی، فروریزش الکتریکی ناشی از کنده شدن الکترون‌های اتم‌های مادهٔ دی‌الکتریک توسط میدان الکتریکی و سپس رانده شدن این الکترون‌ها توسط میدان الکتریکی و ایجاد یک مسیر رسانایی بین دو صفحهٔ خازن است که با ایجاد یک جرقه همراه است و معمولاً خازن را می‌سوزاند. خازن‌ها معمولاً با مقدار ظرفیت آنها و اختلاف پتانسیل بیشینه‌ای که می‌توانند تحمل کنند مشخص می‌شوند (شکل ۱ــ۳۱).

شکل ۱ــ۳۰ فروریزش الکتریکی باعث تشکیل مسیرهای رسانشی سرخس‌شکلی در دی‌الکتریک شده‌است.

به‌عنوان مثالی از کاربرد دی‌الکتریک، خازن تختی را درنظر بگیرید. آزمایش و محاسبه نشان می‌دهد که ظرفیت یک خازن تخت با مساحت صفحه‌های A و فاصلهٔ جدایی صفحه‌های d، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$C = \varepsilon_{\circ}\frac{A}{d} \qquad (۱ــ۱۶)$$

که در آن $\varepsilon_{\circ}$ همان ضریب گذردهی الکتریکی خلأ ($\varepsilon_{\circ} = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}\ F/m$) است.

حال اگر فضای بین صفحه‌های این خازن را با یک دی‌الکتریک با ثابت دی‌الکتریک κ کاملاً پر کنیم، رابطهٔ (۱ــ۱۶) همان $C_{\circ}$ رابطهٔ (۱ــ۱۵) می‌شود و درنتیجه برای ظرفیت خازن جدید داریم :

$$C = \kappa\varepsilon_{\circ}\frac{A}{d} \qquad (۱ــ۱۷)$$

شکل ۱ــ۳۱ تصویری از یک خازن که روی آن ظرفیت و اختلاف پتانسیل قابل تحمل بیشینه نوشته شده است.

۱ــ Electrical breakdown

۲ــ Dielectric strength

مثال ۱ـ۱۶

مساحت هریک از صفحه‌های خازن تختی $۴/۰ \times ۱۰^{۲}\,cm^{۲}$ و فاصلهٔ جدایی صفحه‌های آن $۱/۰ \times ۱۰^{-۱}\,mm$ است. فضای بین صفحه‌ها را با صفحهٔ کاغذی پر می‌کنیم. با استفاده از جدول ۱ـ۱ کتاب، الف) ظرفیت خازن و ب) پتانسیل فروریزش الکتریکی آن را محاسبه کنید.

پاسخ :

الف) ظرفیت خازن با دی‌الکتریک برابر است با

$$C = \kappa\varepsilon_{۰}\frac{A}{d}$$

ثابت دی‌الکتریک کاغذ با استفاده از جدول ۱ـ۱ برابر با ۳/۵ است و از آنجا برای ظرفیت خازن داریم :

$$C = (۳/۵)(۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\,F/m)\frac{(۴/۰\times۱۰^{-۲}\,m^{۲})}{(۱/۰\times۱۰^{-۴}\,m)} = ۱/۲ \times ۱۰^{-۸}F = ۱۲nF$$

ب) با استفاده از رابطهٔ ۱ـ۱۰ به ازای $\alpha=۰$ ($\Delta V = -Ed$) پتانسیل فروریزش را به‌دست می‌آوریم. همان‌طور که گفتیم در نمادگذاری این کتاب از نماد V برای نشان دادن قدرمطلق اختلاف پتانسیل صفحه‌های خازن استفاده می‌کنیم. بنابراین، منظور از پتانسیل فروریزش همان اختلاف پتانسیل بیشینه‌ای است که به فروریزش دی‌الکتریک خازن می‌انجامد. آنگاه با استفاده از جدول ۱ـ۱ داریم :

$$V_{\text{فروریزش}} = E_{\text{فروریزش}}\,d = (۱۶\times۱۰^{۶}\,\frac{V}{m})(۱/۰\times۱۰^{-۴}\,m) = ۱/۶ \times ۱۰^{۳}V = ۱/۶kV$$

توجه کنید در محاسبهٔ بالا از قدرت دی‌الکتریک به‌جای $E_{\text{فروریزش}}$ استفاده کردیم.

مثال ۱ـ۱۷

برخی از صفحه‌کلیدهای رایانه (شکل الف) بر مبنای تغییر ظرفیت خازن عمل می‌کند. هر کلید این صفحه به یک سر پایه‌ای نصب شده است که سر دیگر آن به یک صفحهٔ فلزی متحرک متصل است. این صفحهٔ فلزی خود توسط یک دی‌الکتریک انعطاف‌پذیر از صفحهٔ فلزی ثابتی جدا شده است و درواقع این دو صفحه یک خازن تخت را تشکیل می‌دهند (شکل ب). با فشار دادن کلید، صفحهٔ متحرک به صفحهٔ ثابت نزدیک می‌شود و ظرفیت خازن افزایش می‌یابد. این تغییر ظرفیت به‌صورت سیگنالی الکتریکی توسط مدارهای الکترونیکی رایانه آشکار می‌شود و بدین‌ترتیب مشخص می‌شود که کدام کلید فشار داده شده است.

فاصلهٔ بین صفحه‌ها عموماً $۵/۰۰ \times ۱۰^{-۳}\,m$ است که این فاصله با فشار دادن کلید به $۰/۱۵۰ \times ۱۰^{-۳}\,m$ می‌رسد. مساحت صفحه‌ها $۹/۵۰ \times ۱۰^{-۵}\,m^{۲}$ است و خازن از ماده‌ای با ثابت دی‌الکتریک ۳/۵۰ پر شده است. تغییر ظرفیتی که با فشار دادن کلید، توسط مدارهای الکترونیکی رایانه آشکار می‌شود چقدر است؟

پاسخ : با استفاده از رابطهٔ ۱ـ۱۷ ظرفیت خازن پیش از فشار دادن کلید برابر است با

$$C = \kappa\varepsilon_{\circ}\frac{A}{d} = ۳/۵۰(۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\,F/m)\frac{(۹/۵۰\times۱۰^{-۵}\,m^{۲})}{(۵/۰۰\times۱۰^{-۳}\,m)}$$

$$= ۰/۵۸۹\times۱۰^{-۱۲}\,F = ۰/۵۸۹pF$$

پس از فشرده شدن کلید، فاصلهٔ بین صفحه‌ها به $۰/۱۵۰\times۱۰^{-۳}m$ می‌رسد و با محاسبه‌ای مشابه به $C = ۱۹/۶\times۱۰^{-۱۲}F = ۱۹/۶pF$ می‌رسیم. بنابراین، تغییر ظرفیت خازن که به‌صورت سیگنالی آشکار می‌شود از تفاضل دو مقدار بالا به‌دست می‌آید :

$$\Delta C = ۱۹/۶pF - ۰/۵۸۹pF = ۱۹/۰pF$$

فعالیت ۱ـ۷

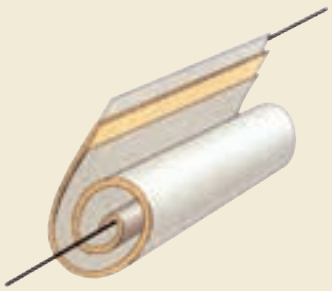
کیسهٔ هوای خودرو

در حسگر کیسهٔ هوای برخی از خودروها از یک خازن استفاده می‌شود. دربارهٔ چگونگی عملکرد این حسگرها تحقیق کنید و نتیجهٔ آن را به کلاس گزارش دهید.

مطالعهٔ آزاد

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 اینجا با چند نمونه خازن آشنا می‌شوید.



طرحی از یک خازن کاغذی

خازن‌های کاغذی : این خازن‌ها از دو ورقهٔ قلع یا آلومینیوم تشکیل شده‌اند که بین آنها دو ورقهٔ کاغذ ظریف و نازک آغشته به روغن جا داده می‌شود. این ورق‌ها را لوله می‌کنند و به‌صورت یک استوانه درمی‌آورند و در محفظه‌ای پلاستیکی یا پوشش مومی قرار می‌دهند (شکل روبه‌رو). ظرفیت این نوع خازن‌ها از $۱nF$ تا $۱\mu F$ است.

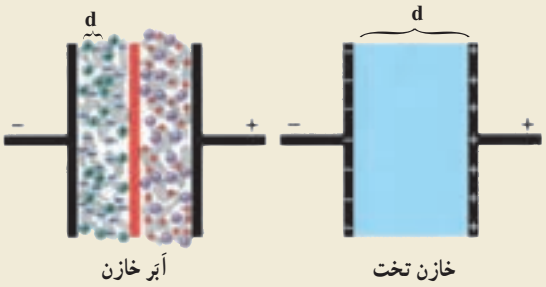
خازن‌های میکا : بین ورقه‌های فلزی نازک قلعی، ورقه‌های نازک میکا قرار می‌دهند و ورقه‌های قلع را یک در میان به یکدیگر وصل می‌کنند. ظرفیت این خازن‌ها حدود ۵۰ تا ۵۰۰ پیکوفاراد است.

خازن‌های سرامیکی : دی‌الکتریک این خازن‌ها سرامیک است که با استفاده از انواع سیلیکات‌ها در دمای بالا تهیه می‌شود. ثابت دی‌الکتریک این خازن‌ها زیاد و در حدود ۱۰۰۰ است. خازن‌های سرامیکی به شکل عدس تهیه می‌شوند و

حجم آنها کم است. صفحه‌های رسانای آنها نیز با ذوب نقره در دو طرف سرامیک تهیه می‌شود. ظرفیت این خازن‌ها حدود ده‌ها نانوفاراد (nF) است.

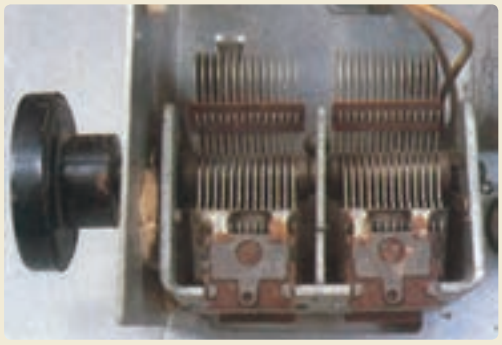
خازن‌های الکترولیتی : این نوع خازن‌ها از صفحه‌های آلومینیومی تشکیل شده‌اند که در میان آنها الکترولیت‌هایی از انواع مختلف فسفات یا کربنات قرار می‌دهند. در بین صفحه‌ها ماده‌ای اسفنجی است که الکترولیت را به خود جذب می‌کند. ظرفیت این خازن‌ها بالاست و تا حدود ۰/۱F می‌رسد.

اَبَر خازن[۱] : این نوع خازن‌ها می‌توانند با حجمی حدود $16/4cm^3$ ظرفیتی تا چند کیلوفاراد داشته باشند. صفحه‌های این نوع خازن‌ها که از نوعی الکترولیت پر شده‌اند با استفاده از موادی ساخته شده‌اند که در مقیاس نانو مساحت سطح بسیار بزرگی دارند. فناوری نانو به کار گرفته شده در این خازن‌ها به ظرفیت‌های بسیار بزرگی (از مرتبهٔ کیلو فاراد) می‌انجامد. یکی از ویژگی‌های این خازن‌ها آن است که خیلی سریع‌تر از باتری‌های شارژ شدنی شارژ می‌شوند و می‌توان آنها را به دفعاتی تا هزاران بار بیشتر از این باتری‌ها شارژ کرد. همین ویژگی است که باعث استفاده از این خازن‌ها در وسایل نقلیه الکتریکی می‌شود.



طرحی از ساختار یک اَبَر خازن در مقایسه با یک خازن تخت معمولی. به تفاوت dها توجه کنید. در عمل این تفاوت به مراتب بیشتر است. d در یک اَبَر خازن از مرتبهٔ نانومتر است.

خازن‌های متغیر : دی‌الکتریک این خازن‌ها معمولاً هواست. در ساختمان آنها دو نوع صفحهٔ فلزی، یک دسته ثابت و دستهٔ دیگر متحرّک به‌کار رفته است که هر دو دسته، روی یک محور قرار گرفته‌اند؛ ولی صفحه‌های متحرّک روی این محور می‌چرخند. صفحه‌ها به شکل نیم‌دایره‌اند و با چرخیدن صفحه‌های متحرّک، مساحت خازن کم و زیاد می‌شود. این نوع خازن‌ها در گیرنده‌های رادیویی به‌کار می‌رفته است.



تصویری از یک خازن متغیر

۱ــ Supercapacitor (ultra capactior)

الکتریسیته ساکن

۱ـ۱۲ـ انرژی خازن

وقتی صفحه‌های خازن دارای بار الکتریکی می‌شوند در خازن انرژی نیز ذخیره می‌شود؛ مثلاً در هنگام شارژ شدن خازن توسط باتری، دائماً باری جزئی از یک صفحهٔ خازن جدا و به همان اندازه به صفحهٔ دیگر منتقل می‌شود. در این فرایند طبق رابطهٔ ۱ـ ۱۲ باتری روی این بار کار انجام می‌دهد. هنگام انتقال بار، اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ خازن نیز به آهستگی افزایش می‌یابد. بنابراین، برای انتقال بارهای بعدی به‌کار بیشتری نیاز است. بنا به رابطهٔ ۱ـ۱۴ ($V = q/C$) و با توجه به اینکه در این فرایند ظرفیت خازن همواره مقدار ثابتی است، می‌توانیم اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ خازن را تابعی خطی از بار ذخیره شده در آن بدانیم که به‌طور یکنواخت از صفر تا V افزایش می‌یابد. بنابراین، در هنگام باردار شدن خازن می‌توان اختلاف پتانسیل متوسطی را به‌صورت $\overline{V} = \frac{V+0}{2} = \frac{V}{2}$ برای دو صفحهٔ خازن درنظر گرفت. آنگاه با استفاده از رابطهٔ ۱ـ۱۲، کار انجام شده برای باردار شدن کامل خازن برابر با حاصل‌ضرب کلّ بارهای جزئی منتقل شده (q) در اختلاف پتانسیل متوسط است :

$$W = q\overline{V} = q\left(\frac{V}{2}\right) = \frac{1}{2}qV$$

این کار به‌صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در میدان الکتریکی فضای بین صفحه‌های خازن ذخیره می‌شود. بنابراین :

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2}qV \qquad (۱ـ۱۸)$$

که در آن انرژی پتانسیل الکتریکی خازن ($U_{\text{خازن}}$) برحسب ژول (J)، بار خازن (q) برحسب کولن (C) و اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ خازن (V) برحسب ولت (V) است.

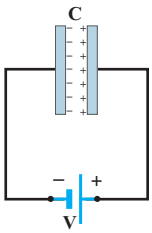
از طرفی با استفاده از رابطهٔ ۱ـ۱۴ می‌توان نوشت :

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2}CV^2 \qquad (۱ـ۱۹)$$

و

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} \qquad (۱ـ۲۰)$$

مثال ۱ـ۱۸



دو سر یک خازن ۰/۰۵۰μF را به ولتاژ ۱۲V وصل می‌کنیم. بار و انرژی ذخیره در آن را محاسبه کنید.

پاسخ : با توجه به رابطهٔ $q = CV$ بار ذخیره شده برابر است با

$$q = CV = (0/050 \times 10^{-6}F)(12V) = 0/60 \times 10^{-6}C = 0/60\mu C$$

با استفاده از رابطهٔ $U = \frac{1}{2}qV$ انرژی خازن را محاسبه می‌کنیم :

$$U = \frac{1}{2}qV = \frac{1}{2}(0/60 \times 10^{-6}C)(12V) = 3/6 \times 10^{-6}J = 3/6\mu J$$

مثال ۱ـ۱۹

دستگاه رفع لرزش نامنظم قلب (دِفیبریلاتور[۱])

توانایی خازن برای ذخیرهٔ انرژی پتانسیل الکتریکی، اساس کار بسیاری از دستگاه‌ها مانند دستگاه‌های رفع لرزشی است که توسط گروه‌های فوریت‌های پزشکی برای توقف لرزش بطنی افرادی که دچار حملهٔ قلبی شده‌اند به‌کار می‌رود. در این بیماری انبساط و انقباض ناهماهنگ و آشفتهٔ قلب باعث می‌شود خون به‌درستی به مغز فرستاده نشود. در دستگاه‌های رفع لرزشی قابل حمل، یک باتری، خازنی را تا اختلاف پتانسیل حدود ۶kV باردار می‌کند و خازن در زمانی کمتر از یک دقیقه مقدار زیادی انرژی ذخیره می‌کند. صفحه‌های رابط (کفشک‌ها[۲]) روی قفسهٔ سینهٔ بیمار قرار داده می‌شوند و خازن بخشی از انرژی ذخیره شدهٔ خود را از طریق بدن بیمار از یک کفشک به کفشک دیگر منتقل می‌کند. هدف از این کار این است که یک پالس (تپ) جریان قوی به قلب بدهند تا قلب به‌طور موقت از کار بیفتد و پس از آن با آهنگ منظم طبیعی خود به‌کار افتد.

اگر خازن این دستگاه به ظرفیت ۱۱/۰μF با ولتاژ ۶/۰۰kV شارژ شود و سپس تمام انرژی آن از طریق کفشک‌ها به درون بدن بیمار تخلیه شود،

الف) چقدر انرژی در بدن بیمار تخلیه شده است؟

ب) چه مقدار بار الکتریکی از بدن بیمار عبور کرده است؟

پ) اگر تخلیه انرژی تقریباً در مدت ۲/۰۰ms صورت پذیرفته باشد توان پالس جریان چقدر بوده است؟

پاسخ : الف) انرژی ذخیره شده در خازن با استفاده از رابطهٔ (۱ـ۱۹) به‌دست می‌آید :

$$U=\frac{۱}{۲}CV^{۲}=\frac{۱}{۲}(۱۱/۰\times۱۰^{-۶}F)(۶/۰۰\times۱۰^{۳}V)^{۲}=۱۹۸J$$

که با توجه به فرض مسئله این همان انرژی تخلیه شده در بدن بیمار است.

ب) بار اولیه روی صفحات خازن برابر است با

$$q=CV\Rightarrow q=(۱۱/۰\times۱۰^{-۶}F)\,(۶/۰۰\times۱۰^{۳}V)=۶/۶۰\times۱۰^{-۲}C$$

با توجه به فرض مسئله، این همان باری است که از بدن بیمار عبور کرده است.

پ) توان پالس (تپ) برابر است با

$$P=\frac{U}{t}=\frac{۱۹۸}{۲/۰۰\times۱۰^{-۳}}=۹۹/۰kW$$

فعالیت ۱ـ۸

انرژی پتانسیلی که باتری فراهم می‌آورد از رابطهٔ $U_{\text{باتری}}=qV$ به‌دست می‌آید. از طرفی طبق رابطهٔ ۱ـ۱۸ انرژی پتانسیل خازن $U_{\text{خازن}}=\frac{۱}{۲}qV$ است. آیا به‌نظر شما پایستگی انرژی نقض شده است؟ در این مورد تحقیق کنید.

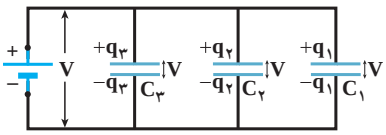
۱ـ Defibrillator

۲ـ paddles

الکتریسیته ساکن

۱ــ۱۳ــ به هم بستن خازن‌ها در مدار

در گذشته‌های دور برای به‌دست آوردن ظرفیت موردنیاز، تعداد معینی خازن را طوری به‌هم می‌بستند که ظرفیت موردنظر را به‌دست آورند، ولی امروزه همان‌طور که پیش‌تر دیدیم مدارهای الکتریکی پُر از خازن‌هایی است که هریک بنا به ویژگی‌های خود در مدار استفاده شده است. خازن‌ها می‌توانند به روش‌های مختلفی به یکدیگر متصل شوند که در اینجا دو نوع رایج این اتصال‌ها را بررسی می‌کنیم که موازی و متوالی نامیده می‌شوند. مجموعهٔ خازن‌هایی که به این روش‌ها به هم متصل شده‌اند را می‌توان با یک خازن جایگزین کرد که به این خازن، خازن معادل و به ظرفیت آن، ظرفیت معادل[۱] (C_{eq}) می‌گویند. انرژی الکتریکی ذخیره شده در این خازنِ معادل برابر مجموع انرژی تک‌تک خازن‌هاست.



شکل ۱ــ۳۲ سه خازن که به‌طور موازی بسته شده‌اند.

الف) بستن خازن‌ها به‌صورت موازی : شکل ۱ــ۳۲ یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد که در آن سه خازن به‌صورت موازی به باتری متصل شده‌اند. توجه کنید واژهٔ «موازی» ارتباط چندانی به چگونگی ترسیم صفحه‌های خازن‌ها ندارد، بلکه «به‌صورت موازی» به این معناست که صفحهٔ بالایی خازن‌ها به یکدیگر و صفحهٔ پایینی آنها نیز به یکدیگر متصل شده است و اختلاف پتانسیل یکسان V به دو سر این دسته صفحه‌ها اعمال شده است. بنابراین، هریک از خازن‌ها در اختلاف پتانسیل یکسان V قرار دارد :

$$V_۱ = V_۲ = V_۳ = V$$

بار هر خازن طبق رابطهٔ $q = CV$ به‌صورت زیر درمی‌آید :

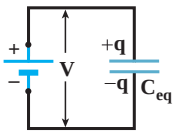
$$q_۱ = C_۱V \quad ، \quad q_۲ = C_۲V \quad ، \quad q_۳ = C_۳V$$

بنابراین، بار کل ذخیره شده در مجموعهٔ خازن‌ها برابر است با :

$$q = q_۱ + q_۲ + q_۳ = C_۱V + C_۲V + C_۳V = (C_۱ + C_۲ + C_۳)\,V$$

درنتیجه ظرفیت معادل ترکیب خازن‌های موازی چنین می‌شود :

$$C_{eq} = \frac{q}{V} = \frac{(C_۱ + C_۲ + C_۳)V}{V} = C_۱ + C_۲ + C_۳$$



شکل ۱ــ۳۳ خازن معادل با ظرفیت C_{eq}

و بنابراین، ترکیب این سه خازن موازی را می‌توان با خازن معادل شکل ۱ــ۳۳ جایگزین کرد. درحالت کلی برای n خازن موازی رابطهٔ بالا به‌صورت زیر تعمیم می‌یابد :

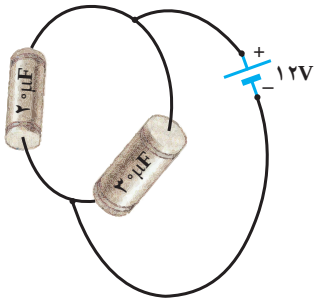
$$C_{eq} = C_۱ + C_۲ + \cdots + C_n \qquad (۱ــ۲۱)$$

بنابراین، ظرفیت خازن معادل خازن‌هایی که به‌صورت موازی به یکدیگر بسته شده‌اند از ظرفیت هریک از خازن‌ها بیشتر است.

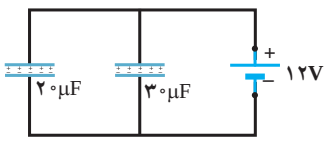
۱ــ eq مخفف واژهٔ equivalent به معنای معادل است.

مثال ۱ـ۲

شکل الف، دو خازن را نشان می‌دهد که به یک باتری ۱۲V بسته شده‌اند.
الف) ظرفیت، بار و انرژی خازن معادل را محاسبه کنید.
ب) بار و انرژی هر خازن را بیابید.



(الف)



(ب)

پاسخ :

الف) شکل الف را می‌توان به‌صورت آرایش شکل ب نشان داد. با توجه به شکل ب، خازن‌ها موازی‌اند و ظرفیت معادل آنها ازمجموع ظرفیت تک‌تک آنها حاصل می‌شود :

$$C_{eq} = C_1 + C_2 = ۲۰\mu F + ۳۰\mu F = ۵۰\mu F$$

با توجه به اینکه ولتاژ خازن معادل برابر اختلاف پتانسیل باتری است، بار خازن معادل از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$q = C_{eq}V = (۵۰\mu F)(۱۲V) = ۶/۰ \times ۱۰^{۲}\mu C$$

و انرژی خازن معادل را می‌توانیم با استفاده از هرکدام از سه رابطه‌ای که برای انرژی خازن به‌دست آوردیم محاسبه کنیم؛ مثلاً با استفاده از رابطهٔ $U=\frac{۱}{۲}CV^{۲}$ داریم :

$$U = \frac{۱}{۲}C_{eq}V^{۲} = \frac{۱}{۲}(۵۰\mu F)(۱۲V)^{۲} = ۳/۶ \times ۱۰^{۳}\mu J$$

ب) با توجه به اینکه خازن‌ها به‌صورت موازی بسته شده‌اند، ولتاژ هر خازن برابر با اختلاف پتانسیل دو سر باتری است. اکنون با استفاده از رابطهٔ $q = CV$ بار هر خازن را به‌دست می‌آوریم :

$$q_1 = C_1V = (۲۰\mu F)(۱۲V) = ۲/۴ \times ۱۰^{۲}\mu C$$

$$q_2 = C_2V = (۳۰\mu F)(۱۲V) = ۳/۶ \times ۱۰^{۲}\mu C$$

و انرژی هر خازن نیز با استفاده از هرکدام از سه رابطه‌ای که برای انرژی خازن به‌دست آوردیم محاسبه می‌شود. این دفعه از رابطهٔ $U=\frac{۱}{۲}qV$ استفاده می‌کنیم :

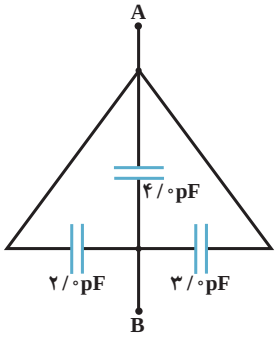
$$U_1 = \frac{۱}{۲}q_1V = \frac{۱}{۲}(۲/۴ \times ۱۰^{۲}\mu C)(۱۲V) = ۱/۴ \times ۱۰^{۳}\mu J$$

$$U_2 = \frac{۱}{۲}q_2V = \frac{۱}{۲}(۳/۶ \times ۱۰^{۲}\mu C)(۱۲V) = ۲/۲ \times ۱۰^{۳}\mu J$$

خوب است بررسی کنید که مجموع بار خازن‌ها برابر با بار خازن معادل، و مجموع انرژی خازن‌ها برابر با انرژی خازن معادل است.

الکتروسیتهٔ ساکن

مثال ۱ـ۲۱



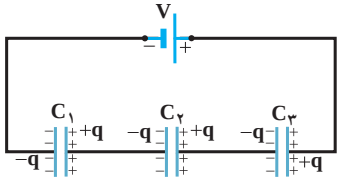
ظرفیت معادل بین پایانه‌های A و B را در شکل روبه‌رو به‌دست آورید.

پاسخ : همان‌طور که در شکل می‌بینیم دو صفحهٔ خازن ۴/۰pF به دو صفحهٔ خازن‌های ۳/۰pF و ۲/۰pF بسته شده است. بنابراین، خازن ۴/۰pF با دو خازن دیگر موازی است.

در نتیجه داریم :

$$C_{eq} = C_۱ + C_۲ + C_۳ = ۴/۰pF + ۳/۰pF + ۲/۰pF = ۹/۰pF$$

ب) بستن خازن‌ها به‌صورت متوالی : شکل ۱ـ۳۴ سه خازن را نشان می‌دهد که به‌صورت متوالی به یک باتری متصل شده‌اند. توجه کنید واژهٔ «متوالی» ارتباط چندانی به چگونگی ترسیم صفحه‌های خازن‌ها ندارد؛ بلکه «به‌صورت متوالی» به این معناست که خازن‌ها یکی پس از دیگری به یکدیگر بسته شده‌اند، هیچ انشعابی بین آنها وجود ندارد و یک اختلاف پتانسیل V به دو سر این ترکیب متوالی اعمال شده است. در بستن متوالی خازن‌ها، همهٔ خازن‌ها دارای بار یکسان q می‌شوند. برای توضیح این موضوع، فرایند زیر را که پس از اعمال اختلاف پتانسیل V در خازن‌ها رخ می‌دهد در نظر می‌گیریم.



شکل ۱ـ۳۴ سه خازن که به‌طور متوالی بسته شده‌اند.

از خازن ۱ شروع می‌کنیم و رو به سمت راست به سوی خازن ۳ می‌رویم. وقتی باتری به خازن‌های متوالی وصل می‌شود بار q− را روی صفحهٔ سمت چپ خازن ۱ ایجاد می‌کند. آنگاه این بار، بار منفی را از صفحهٔ سمت راست خازن ۱ می‌راند (آن را با بار q+ بر جای می‌گذارد). این بار منفیِ رانده شده به سوی صفحهٔ سمت چپ خازن ۲ حرکت می‌کند (به آن بار q− می‌دهد). سپس بار روی صفحهٔ سمت چپ خازن ۲ بار منفی را از صفحهٔ سمت راست خازن ۲ می‌راند (آن‌را با بار q+ بر جای می‌گذارد) و به صفحهٔ سمت چپ خازن ۳ می‌برد (به آن بار q− می‌دهد). سرانجام بار روی صفحهٔ سمت چپ خازن ۳ کمک می‌کند تا بار منفی از صفحهٔ سمت راست خازن ۳ به سمت باتری حرکت کند و به این ترتیب، صفحهٔ سمت راست را با بار q+ بر جای می‌گذارد.

برای به‌دست‌آوردن ظرفیت خازن معادل C_{eq}، نخست اختلاف پتانسیل هریک از خازن‌ها را به‌طور جداگانه به‌دست می‌آوریم :

$$V_۱ = \frac{q}{C_۱}\ ،\ V_۲ = \frac{q}{C_۲}\ ،\ V_۳ = \frac{q}{C_۳}$$

اختلاف پتانسیل کل، برابر با مجموع این سه اختلاف پتانسیل است :

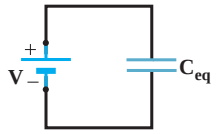
$$V = V_۱ + V_۲ + V_۳ = q(\frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} + \frac{۱}{C_۳})$$

پس ظرفیت خازن معادل چنین می‌شود :

$$C_{eq} = \frac{q}{V} = \frac{q}{q(\frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} + \frac{۱}{C_۳})} = \frac{۱}{\frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} + \frac{۱}{C_۳}}$$

و درنتیجه :

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}+\frac{۱}{C_۳}$$



شکل ۱ــ ۳۵ خازن معادل با ظرفیت C_{eq}

و بنابراین، ترکیب این سه خازن متوالی را می‌توان با خازن معادل شکل ۱ــ۳۵ جایگزین کرد.

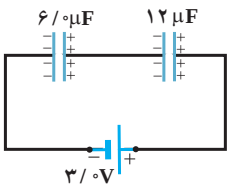
در حالت کلی برای n خازن متوالی رابطهٔ بالا به‌صورت زیر تعمیم می‌یابد.

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}+\cdots+\frac{۱}{C_n} \qquad (۲۲ــ۱)$$

بنابراین، ظرفیت خازن معادل خازن‌هایی که به‌صورت متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند از کوچک‌ترین ظرفیت خازن این مجموعه نیز کوچک‌تر است.

مثال ۱ــ۲۲

(الف)



(ب)

شکل الف دو خازن را نشان می‌دهد که به یک باتری ۳/۰V بسته شده‌اند.

الف) ظرفیت، بار و انرژی خازن معادل را محاسبه کنید.

ب) بار، ولتاژ و انرژی هر خازن را بیابید.

پاسخ :

الف) شکل الف را می‌توان به‌صورت آرایش شکل ب نشان داد.

با توجه به شکل ب، خازن‌ها متوالی‌اند و ظرفیت معادل آنها از رابطهٔ ۱ــ۲۲ به‌دست می‌آید :

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}=\frac{۱}{۶/۰\mu F}+\frac{۱}{۱۲\mu F}=\frac{۱}{۴/۰\mu F}$$

درنتیجه $C_{eq}=۴/۰\mu F$ است.

اکنون با استفاده از رابطهٔ $q=C_{eq}V$ بار خازن معادل را به‌دست می‌آوریم :

$$q=C_{eq}V=(۴/۰\mu F)(۳/۰V)=۱۲\mu C$$

و انرژی خازن معادل را می‌توانیم با استفاده از هرکدام از سه رابطه‌ای که برای انرژی خازن به‌دست آوردیم محاسبه کنیم؛ مثلاً با استفاده از $U=\frac{۱}{۲}\frac{q^۲}{C}$ داریم :

$$U=\frac{۱}{۲}\frac{q^۲}{C_{eq}}=\frac{۱}{۲}\frac{(۱۲\mu C)^۲}{۴/۰\mu F}=۱۸\mu J$$

ب) با توجه به اینکه خازن‌ها به‌صورت متوالی بسته شده‌اند، بار هر دو خازن با هم برابر و مساوی بار خازن معادل است :

$$q_۱=q_۲=q=۱۲\mu C$$

اکنون با استفاده از رابطهٔ $V=q/C$ ولتاژ هر خازن را می‌یابیم :

$$V_۱=\frac{q_۱}{C_۱}=\frac{۱۲\mu C}{۶/۰\mu F}=۲/۰V$$

$$V_۲=\frac{q_۲}{C_۲}=\frac{۱۲\mu C}{۱۲\mu F}=۱/۰V$$

و انرژی هر خازن نیز با استفاده از هرکدام ازسه رابطه‌ای که برای انرژی خازن به‌دست آوردیم محاسبه می‌شود. این بار از رابطهٔ $U=\frac{1}{2}qV$ استفاده می‌کنیم :

$$U_1=\frac{1}{2}q_1V_1=\frac{1}{2}(12\mu C)(2/0V)=12\mu J$$

$$U_2=\frac{1}{2}q_2V_2=\frac{1}{2}(12\mu C)(1/0V)=6/0\mu J$$

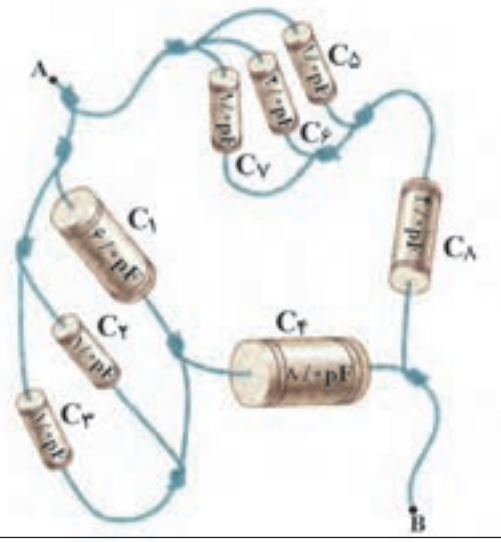
خوب است بررسی کنید که مجموع ولتاژ خازن‌ها برابر با ولتاژ کل (ولتاژ باتری) است و نیز مجموع انرژی خازن‌ها برابر با انرژی خازن معادل است.

فعالیت ۱ـ۹

صفحه‌های لمسی از قبیل آنچه که در شکل روبه‌رو نشان داده شده است امروزه کاربردی گسترده در زندگی روزمره پیدا کرده است و آنها را می‌توان در همه جا از صفحه‌های رایانه گرفته تا گوشی‌های تلفن‌های همراه و حتی در ابزارهای پزشکی یافت. آنها به روش‌های مختلفی عمل می‌کنند که یکی از متداول‌ترین این روش‌ها مبتنی بر استفاده از ظرفیت خازن‌هاست. با تماس انگشت با یک صفحهٔ لمسی، تغییری در ظرفیت خازن ایجاد می‌شود که مدارهای الکترونیکی دستگاه می‌توانند آن تغییر را آشکار کنند. در مورد انواع این صفحه‌های لمسی خازنی[1] و چگونگی عملکرد آنها تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

خازن‌ها را می‌توان به‌صورت موازی، متوالی یا ترکیبی از خازن‌های موازی و متوالی بست و دستگاهی از خازن‌ها درست کرد. در ادامه مثالی از این دست را بررسی می‌کنیم.

مثال ۱ـ۲۳



شکل روبه‌رو، هشت خازن را نشان می‌دهد که به‌صورت مجموعه‌ای از اتصال‌های متوالی و موازی به هم بسته شده‌اند.

الف) ظرفیت خازن معادل بین پایانه‌های A و B را در شکل محاسبه کنید.

ب) اگر پایانه‌های A و B را به یک باتری با ولتاژ ۱۲V وصل کنیم چه مقدار انرژی در دستگاه خازن‌ها ذخیره می‌شود؟

۱– capacitive touch screen

پاسخ :

الف) با توجه به شکل، سه خازن خوشهٔ سمت چپ با هم موازی‌اند و ظرفیت معادل آنها برابر است با

$$C_{۱۲۳} = C_۱ + C_۲ + C_۳ = ۶/۰\,pF + ۱/۰\,pF + ۱/۰\,pF = ۸/۰\,pF$$

خازن $C_{۱۲۳}$ خود با خازن $C_۴$ متوالی است. بنابراین ظرفیت معادل خازن‌های سمت چپ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$\frac{۱}{C_{چپ}} = \frac{۱}{C_{۱۲۳}} + \frac{۱}{C_۴} = \frac{۱}{۸/۰\,pF} + \frac{۱}{۸/۰\,pF} = \frac{۱}{۴/۰\,pF} \Rightarrow C_{چپ} = ۴/۰\,pF$$

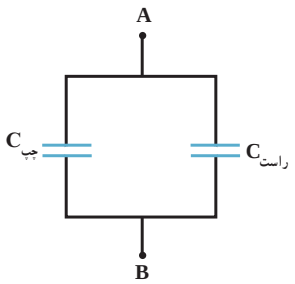
به همین ترتیب سه خازن خوشهٔ سمت راست با هم موازی‌اند و ظرفیت معادل آنها برابر است با

$$C_{۵۶۷} = C_۵ + C_۶ + C_۷ = ۱/۰ + ۲/۰ + ۱/۰ = ۴/۰\,pF$$

خازن $C_{۵۶۷}$ خود با خازن $C_۸$ متوالی است. بنابراین، ظرفیت معادل خازن‌های سمت راست از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$\frac{۱}{C_{راست}} = \frac{۱}{C_{۵۶۷}} + \frac{۱}{C_۸} = \frac{۱}{۴/۰\,pF} + \frac{۱}{۴/۰\,pF} = \frac{۱}{۲/۰\,pF} \Rightarrow C_{راست} = ۲/۰\,pF$$

بنابراین، شکل این دستگاه خازن‌ها به‌صورت شکل زیر درمی‌آید.



درنتیجه ظرفیت خازن معادل این دستگاه خازن‌ها برابر است با

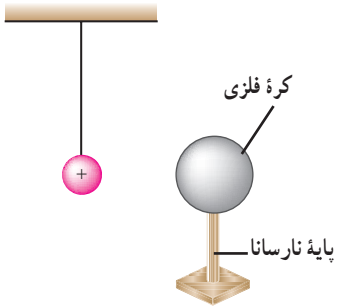
$$C_{eq} = C_{چپ} + C_{راست} = ۴/۰\,pF + ۲/۰\,pF = ۶/۰\,pF$$

ب) با استفاده از یکی از سه رابطهٔ انرژی خازن‌ها می‌توانیم انرژی ذخیره‌شده در این دستگاه را بیابیم. در اینجا ساده‌تر آن است که از رابطهٔ $U = \frac{۱}{۲}CV^۲$ استفاده کنیم :

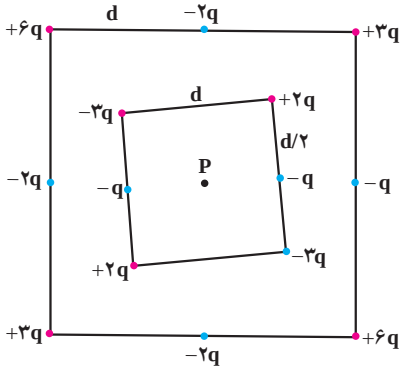
$$U = \frac{۱}{۲}C_{eq}V^۲ = \frac{۱}{۲}(۶/۰\,pF)(۱۲V)^۲ = ۴/۳ \times ۱۰^۲\,pJ$$

پرسش‌ها

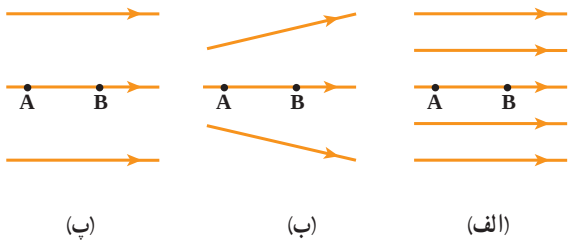
۱ یک کرهٔ فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایهٔ نارسانایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد.



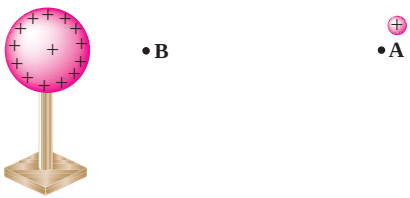
۲ شکل روبه‌رو دو آرایهٔ مربعی از ذرات باردار را نشان می‌دهد. مربع‌ها که در نقطهٔ P هم‌مرکزند، همردیف نیستند. ذره‌ها روی محیط مربع به فاصلهٔ d یا d/۲ از هم قرار گرفته‌اند. بزرگی و جهت میدان الکتریکی برایند در نقطهٔ P چیست؟



۳ شکل روبه‌رو سه آرایش خطوط میدان الکتریکی را نشان می‌دهد. در هر آرایش، یک پروتون از حالت سکون در نقطهٔ A رها می‌شود و سپس توسط میدان الکتریکی تا نقطهٔ B شتاب می‌گیرد. نقطه‌های A و B در هر سه آرایش در فاصله‌های یکسانی از هم قرار دارند. در کدام شکل سرعت پروتون در نقطهٔ B بیشتر است؟ توضیح دهید.



۴ در شکل روبه‌رو ذرهٔ باردار کوچک را از حالت سکون، از نقطهٔ A به سمت کرهٔ باردار که روی پایهٔ عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم و در نقطهٔ B قرار می‌دهیم. (الف) در این جابه‌جایی، کار نیروی الکتریکی مثبت است یا منفی؟ (ب) کاری که ما در این جابه‌جایی انجام می‌دهیم مثبت است یا منفی؟ (پ) انرژی پتانسیل ذرهٔ باردار در این جابه‌جایی چگونه تغییر می‌کند؟ (ت) پتانسیل نقطه‌های A و B را با هم مقایسه کنید.



۵ اگر ساختمان یک خازن را تغییر ندهیم، در هریک از شرایط زیر ظرفیت خازن چگونه تغییر می‌کند؟

الف) بار آن دو برابر شود.

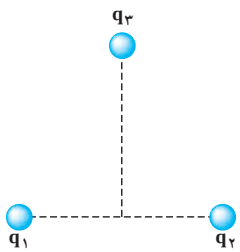
ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌های آن سه برابر شود.

۶ شکل روبه‌رو، دوذرهٔ باردار را نشان می‌دهد که در جای خود روی محور x ثابت شده‌اند.

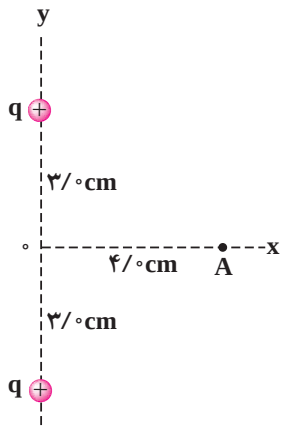
(الف) در کجای این محور (غیر از بینهایت) نقطه‌ای وجود دارد که در آنجا میدان الکتریکی برایند برابر با صفر است؟ (ب) آیا نقطه‌ای در جایی بیرون از محور (غیر از بینهایت) وجود دارد که میدان الکتریکی در آنجا صفر باشد؟

مسئله‌ها

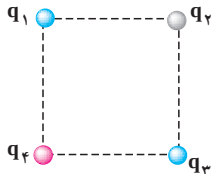
۱ بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_1=-۴/۰\,nC$ و $q_2=-۴/۰\,nC$ مطابق شکل در فاصلهٔ $۸/۰\,cm$ از یکدیگر ثابت شده‌اند. بار نقطه‌ای $q_3=-۵/۰\,nC$ را در نقطه‌ای که فاصلهٔ آن از هریک از دو بار الکتریکی قبلی برابر $۸/۰\,cm$ است، قرار می‌دهیم. نیروی الکتریکی وارد بر بار q_3 را محاسبه کنید.



۲ دو بار الکتریکی نقطه‌ای همنام $q=+۱/۰nC$ مطابق شکل روبه‌رو فاصلهٔ $۶/۰cm$ از یکدیگر قرار دارند. جهت و اندازهٔ میدان الکتریکی را در نقطهٔ A واقع بر عمودمنصف خط واصل دو بار، در فاصلهٔ $۴/۰cm$ از نقطهٔ O (وسط خط واصل دو بار) مشخص کنید.



۳ سه ذرهٔ باردار $q_۱$، $q_۲$ و $q_۳$ مطابق شکل در سه رأس مربعی ثابت شده‌اند. اگر $q_۱=q_۳=-۵/۰\mu C$ باشد، نوع و اندازهٔ بار $q_۲$ را طوری تعیین کنید که بار $q_۴$ در حال تعادل باشد.



۴ هستهٔ اتم آهن شعاعی در حدود $۴/۰\times۱۰^{-۱۵}m$ دارد و شامل ۲۶ پروتون است. (الف) بزرگی نیروی دافعهٔ بین دو پروتون که به فاصلهٔ $۴/۰\times۱۰^{-۱۵}m$ از هم قرار دارند چقدر است؟ (ب) بزرگی نیروی گرانشی بین این دو پروتون چقدر است؟ (پ) از این مسئله به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟

۵ در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $۵/۰\times۱۰^{۵}N/C$ که جهت آن قائم و رو به پایین است، ذرهٔ بارداری به جرم $۲/۰g$ معلّق و به حال سکون قرار دارد. اگر $g=۱۰N/kg$ باشد، اندازه و نوع بار الکتریکی ذره را مشخص کنید.

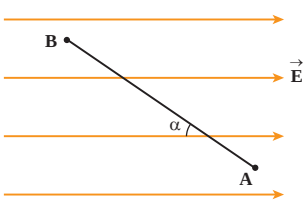
۶ غلظت الکترون‌ها در ارتفاعات مختلف جوّ زمین متفاوت است. وقتی ماهواره‌ای به دور زمین می‌چرخد براثر عبور از فضای اطراف زمین باردار می‌شود. این بارها ممکن است موجب آسیب‌رساندن به قطعات الکترونیکی ماهواره شود. فرض کنید ماهوارهٔ امید در اثر عبور از یکی از لایه‌های جو دارای بار الکتریکی $q=۲/۰\times۱۰^{-۹}C$ شود. این ماهواره، مکعبی به ضلع $۴۰cm$ است. چگالی سطحی بار الکتریکی روی سطح این ماهواره را محاسبه کنید (از تجمع بار بر روی لبه‌ها چشم‌پوشی شود).

۷ مطابق شکل، بار $q=+۵۰nC$ را در میدان الکتریکی یکنواخت $۸/۰\times۱۰^{۵}N/C$ از نقطهٔ A تا نقطهٔ B جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB=۲/۰m$ و $\alpha=۳۰^\circ$ باشد، مطلوب است

الف) نیروی الکتریکی وارد بر بار q،

ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه‌جایی انجام می‌دهد،

پ) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q



۸ دو صفحهٔ رسانا با فاصلهٔ $۲/۰۰cm$ را موازی یکدیگر قرار می‌دهیم و آنها را به اختلاف پتانسیل $۱۰۰V$ وصل می‌کنیم. درنتیجه، یکی از صفحه‌ها به‌طور منفی و دیگری به‌طور مثبت باردار می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی به‌وجود می‌آید. اندازهٔ این میدان الکتریکی را حساب کنید و توضیح دهید که کدام‌یک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیشتری دارند.

۹ در یک میدان الکتریکی، بار $q=۲۰nC$ از نقطهٔ A تا B جابه‌جا می‌شود. اگر انرژی پتانسیل آن در نقطه‌های A و B به‌ترتیب $-۴/۰\times۱۰^{-۵}J$ و $۵/۰\times۱۰^{-۵}J$ باشد، اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه (V_B-V_A) را محاسبه کنید.

۱۰ بار الکتریکی $q=-۴۰nC$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_۱=-۴۰V$ تا نقطه‌ای با پتانسیل $V_۲=-۱۰V$ 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؟

۱۱ مساحت صفحه‌های یک خازن تخت به ظرفیت ۱/۰F که فاصلهٔ صفحات آن ۱/۰mm و بین صفحات آن هواست، باید چقدر باشد؟ از این مسئله چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۱۲ اختلاف پتانسیل بین دو صفحهٔ یک خازن را از ۲۸ ولت به ۴۰ ولت افزایش می‌دهیم. اگر با این کار ۱۵ میکروکولن بر بار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

۱۳ خازنی به ظرفیت $C_1=5/0\mu F$ با اختلاف پتانسیل $1/2\times10^3\ V$ و خازنی به ظرفیت $C_2=10\mu F$ با اختلاف پتانسیل $7/5\times10^2\ V$ پر شده‌اند. اگر این خازن‌های پر را از مدار اصلی آنها جدا و صفحه‌های همنام آنها را به هم وصل کنیم،

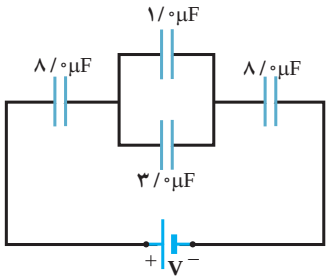
الف) اختلاف پتانسیل بین دو صفحه و بار ذخیره شده در هر خازن چقدر می‌شود؟

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

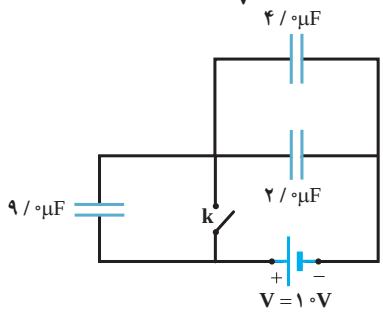
۱۴ در مدار شکل روبه‌رو اختلاف پتانسیل دو سر مدار برابر ۱۰V است.

الف) ظرفیت معادل مدار، و

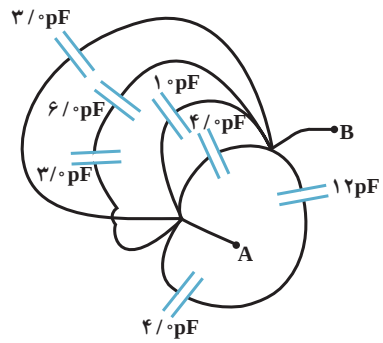
ب) بار الکتریکی و اختلاف پتانسیل دو سر هر یک از خازن‌ها را حساب کنید.



۱۵ در شکل روبه‌رو، انرژی ذخیره شده در مجموعهٔ خازن‌ها را در حالتی حساب کنید که الف) کلید k باز و ب) کلید k بسته است.



۱۶ یک باتری ۱۲V به پایانه‌های A و B ی مدار نشان داده شده در شکل روبه‌رو بسته شده است. چقدر انرژی در شبکهٔ خازنی ذخیره می‌شود؟



* ۱۷ فرض کنید زنبور عسل کره‌ای به قطر ۱/۰۰۰cm است که بار +۴۵/۰pC به‌طور یکنواخت روی آن پخش شده است. همچنین قطر گردهٔ کروی‌ای را که به سمت زنبور کشیده می‌شود ۴۰/۰μm و بزرگی باری را که روی هر طرف گرده القا می‌شود ۱/۰۰pC در نظر بگیرید و نیز فرض کنید گرده کاملاً به زنبور می‌چسبد. الف) با فرض آنکه کلّ بار روی زنبور در مرکز آن قرار گرفته باشد و بارهای القاشده روی گرده به‌صورت دو بار نقطه‌ای مجزا از هم در دو سمت مقابل قطر گرده باشد، نیروی الکتریکی خالص وارد بر گرده از سوی زنبور را محاسبه کنید. ب) سپس فرض کنید این زنبور، گرده را به فاصلهٔ ۱/۰۰۰mm از نوک کلالهٔ گل دیگری بیاورد و نیز نوک کلاله را مانند ذره‌ای با بار −۴۵/۰pC درنظر بگیرید. نیروی الکتریکی خالص وارد بر گرده از سوی کلاله را محاسبه کنید.

پ) با مقایسهٔ قسمت‌های الف و ب نتیجه بگیرید آیا گرده روی زنبور باقی می‌ماند یا به سمت کلاله حرکت می‌کند؟

* این سؤالات برای دانش‌آموزان بسیار کوشا طراحی شده است و در امتحان نهایی از آنها ارزشیابی به عمل نمی‌آید.