



از دانش آموزان می خواهیم تا مثال ۱۶-۲ را حل کنند و با مراجعه به جدول بگویند دی الکتریک در این مثال

چیست؟

پاسخ : شیشه

پاسخ : $A = a^2 \rightarrow a = \sqrt{10^8} = 10^4 \text{ m} = 10 \text{ km}$

ساخت چنین چیزی عملاً امکان پذیر نیست، پس ظرفیت ۱F برای خازن بسیار زیاد است. در اکثر موارد یکای مناسب برای ظرفیت خازن میکرو فاراد و نانوفاراد و پیکوفاراد است.

توجه : پیش از این فرستادن یک مهندس به انبار برای پیدا کردن یک خازن یک فارادی، شوخی به نظر می آمد اما فناوری های کنونی موفق به ساختن خازن یک فارادی با ابعاد چند سانتی متر شده است.

مثال : الف) فاصله دو صفحه ی یک خازن با صفحه های

موازی که بین آنها هواست با ظرفیت ۱/۰ F برابر ۱/۰ mm می باشد سطح هر صفحه چه مقدار است؟

پاسخ :

$$A = \frac{cd}{\epsilon_0} = \frac{(1F) \times (1/0 \times 10^{-3} \text{ m})}{8.85 \times 10^{-12} \left(\frac{F}{m}\right)} \rightarrow$$

$$A = 1/1 \times 10^8 \text{ m}^2 = 10^8 \text{ m}^2$$

ب) اگر صفحه به صورت مربع فرض شود، طول هر ضلع

آن را به دست آورید.

پرسش : اگر دو شاخه ی تلفن را اشتباهی به پریز

برق شهر وصل کنیم چه اتفاقی می افتد؟

پاسخ : به علت سوختن خازن (به اصطلاح برق

کارها) در اثر وصل شدن خازن به ولتاژ ۲۲۰ ولت برق

شهر پدیده ی فروشکست اتفاق می افتد.

در ادامه از دانش آموزان می خواهیم علت پدیده ی

فوق را در پاراگراف اول صفحه ی ۸۶ مربوط به پدیده ی

فروشکست جست و جو کنند.

مثال ۱۶-۲

هر یک از صفحه های خازن تختی به شکل مستطیلی به طول ۶۰ cm و عرض ۲۰ cm است که بین آنها دی الکتریکی به ضخامت ۱/۵ mm و ثابت دی الکتریک ۱۰ پر شده است. ظرفیت این خازن را محاسبه کنید.

حل : با استفاده از رابطه ی ۱۸-۴ داریم :

$$C = k\epsilon \frac{A}{d}$$

$$C = 10 \times 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{20 \times 60 \times 10^{-2}}{1.5 \times 10^{-3}} \text{ F}$$

$$C = 7.08 \times 10^{-9} \text{ F} = 7.08 \text{ nF}$$

فروشکست

دیده ام که اگر اختلاف پتانسیل دوسر خازن را افزایش دهیم، بار ذخیره شده در خازن نیز افزایش می یابد. آزمایش نشان می دهد که اگر بار الکتریکی خازن از مقدار معینی بیش تر شود، یک میدان الکتریکی بسیار قوی بین دو صفحه ایجاد می شود. این میدان الکتریکی باعث می شود که دی الکتریک بین دو صفحه به طور موقت رسا شود، در نتیجه، با ایجاد جرقه بین دو صفحه، خازن تخلیه می شود. این پدیده را فروشکست دی الکتریک می نامند. پدیده ی فروشکست باعث تغییر ماهیت یا سوختن دی الکتریک جامد و سوختن خازن می شود.

بررسی میکروسکوپی یک تقش دی الکتریک : در بخش ۱۴-۲ دیدیم که قراردادن دی الکتریک بین صفحه های یک خازن تخت، باعث افزایش ظرفیت آن می شود. اما دی الکتریک چگونه ظرفیت خازن را افزایش می دهد؟

وقتی یک دی الکتریک در میدان الکتریکی قرار می گیرد، تأثیر میدان الکتریکی بر اتم باعث می شود که ابر الکترونی در خلاف جهت میدان و هسته در جهت میدان جابه جا شوند (چرا؟). در نتیجه، مرکز مؤثر بار مثبت و منفی از هم جدا می شوند. در این حالت، می گوئیم که اتم دو میدان الکتریکی قطبیده شده است.

فعالیت ۴۶



با استفاده از کلید واژه‌ی انتهای کتاب درسی معادل کلمه‌ی «فروشکست» را یافته و اطلاعات جدید در مورد آن در اینترنت جست‌وجو کنید.

پرسش: پدیده‌ی فروشکست را در آذرخش بررسی کنید:
پاسخ: ابر و زمین به منزله‌ی صفحات خازن و هوای دی‌الکتریک آن خازن است. در اثر تجمع بیش از حد بارها، اختلاف پتانسیل زیاد شده و پدیده‌ی فروشکست ایجاد می‌شود.

دانشتنی



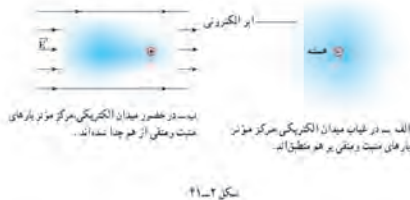
ثابت دی‌الکتریک

در این دانشتنی؛ پدیده‌ی افزایش ظرفیت خازن معین با قراردادن یک دی‌الکتریک بین صفحه‌های آن با استفاده از الکترومتر بررسی می‌شود.

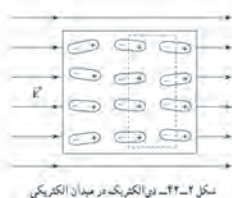
فعالیت ۴۷



از جلسه‌ی قبل یک گروه شکل صفحه‌ی ۸۷ شماره‌ی ۴۱-۲ کتاب درسی را بر روی پوستر بکشد و گروه داوطلب در مورد آن توضیح دهد.



در شکل ۴۱-۲ الف به یک اتم در قیاب میدان الکتریکی و ب به همان اتم در حضور میدان الکتریکی E به‌طور طرح‌وار نشان داده شده است. مولکول‌های دی‌الکتریک‌ها در میدان الکتریکی قطبیده می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۴۲-۲ نشان داده شده است، درون دی‌الکتریک، بارهای الکتریکی یک‌دیگر را خنثی می‌کنند.



توجه: چون دانش‌آموزان مفهوم قطبیده شدن را در شیمی سال دوم خوانده‌اند به راحتی می‌توانند شکل ۴۱-۲ را تحلیل کنند فقط برای جهت حرکت بار مثبت و بار منفی در میدان الکتریکی بین صفحه‌های خازن می‌توان مفهوم جهت نیروی وارد بر بارها را در میدان الکتریکی یادآوری کرد و یا از دانش‌آموزان به روش پرسش و پاسخ کمک گرفت. سپس از گروه‌ها می‌خواهیم تا شکل ۴۱-۲ را به بیان خود تفسیر کنند.

پرسش : در شکل ۴۲-۲ کتاب درسی در دو طرف میدان الکتریکی صفحه‌های خازن را رسم کرده و آن را به یک باتری وصل کنید. توجه : ولتاژ دو سر خازن ثابت است.

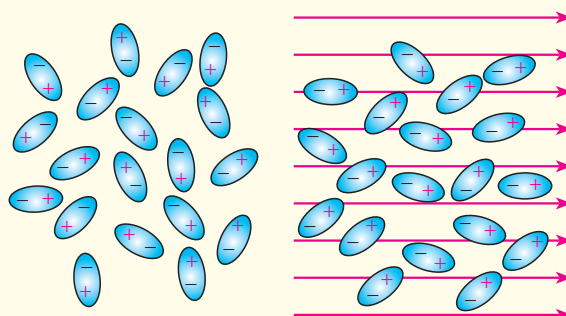
الف) علت خنثی شدن بارهای الکتریکی درون دی الکتریک را توضیح دهید.

ب) تأثیر بارهای لبه‌های دی الکتریک بر صفحه‌های خازن چیست؟

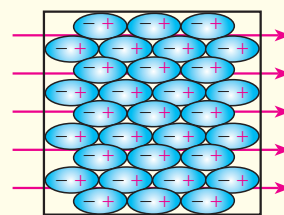
پ) با توجه به نیروی ربایشی بین بارهای لبه‌های دی الکتریک و سطح‌های خازن و افزایش بار روی صفحات خازن چرا ظرفیت خازن افزایش می‌یابد؟

پاسخ : پ) چون خازن از ابتدا به دو سر باتری وصل بود و تغییری در آن ایجاد نکرده بودیم با افزایش بار خازن طبق رابطه‌ی $C = \frac{q}{V}$ ظرفیت خازن نیز افزایش می‌یابد.

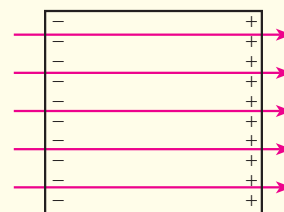
پرسش : با توجه به شکل (۵۶) علت افزایش ظرفیت خازن در اثر قراردادن، دی الکتریک بین صفحه‌های آن را توضیح دهید. توضیح مربوط به هر قسمت را کنار آن بنویسید.



(الف)



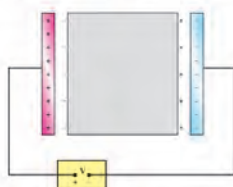
(ب)



(پ)

شکل (۵۶)

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



شکل ۴۳-۲

فناوری

انواع خازن‌ها: غالباً خازن‌ها را براساس دی الکتریک 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 ۴۴-۲

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



دی الکتریک ها

در این دانشتنی؛ قطبیده شدن دی الکتریک در میدان یکنواخت بین دو صفحه‌ی خازن بررسی می‌شود و مقدار ثابت دی الکتریک برخی از مواد آورده شده است.



یکی از کاربردهای خازن در اتومبیل

در این دانشتنی؛ به استفاده از خازن برای اندازه‌گیری سوخت در اتومبیل‌ها (عقربه‌ی بنزین) اشاره می‌شود.

فعالیت ۴۸



متنی مرتبط با نقشه‌ی مفهومی زیر بنویسید و سپس آن را با متن فناوری در صفحه‌های ۸۸ و ۸۹ کتاب درسی مقایسه کنید.

لوله می‌کنند و به‌صورت یک استوانه‌ی فشرده درمی‌آورند و آن را در محفظه‌ی پلاستیکی با پوشش مومی قرار می‌دهند. ظرفیت این نوع خازن‌ها از $1nF$ تا $1\mu F$ است.

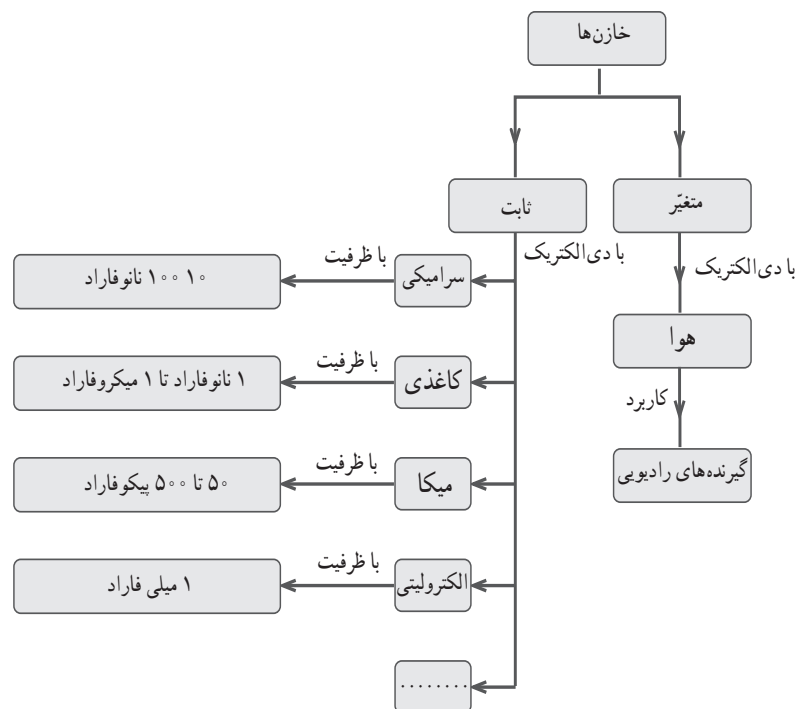
خازن‌های میکا؛ بین ورقه‌های فلزی نازک فلزی، ورقه‌های نازک میکا قرار می‌دهند و ورقه‌های فلز را یک در میان به یک‌دیگر وصل می‌کنند. همه‌ی ورقه‌ها در محفظه‌ی فایبر استخوانی قرار می‌گیرند. ظرفیت این خازن‌ها حدود 50 تا 500 پیکوفاراد است.

خازن‌های سرامیکی؛ دی الکتریک این خازن‌ها سرامیک است که با استفاده از انواع سلیکات‌ها در دمای بالا تهیه می‌شود. ثابت دی الکتریک این خازن‌ها بالا و در حدود 1000 است. خازن‌های سرامیکی به شکل عدس تهیه می‌شوند و حجم آن‌ها کم است. صفحه‌های رسانای آن‌ها نیز با توب 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 الکترولیت‌های از انواع مختلف فسفات با کرنات قرار می‌دهند. در بین صفحه‌های ماده‌ای اسفنجی است که الکترولیت را به خود جذب می‌کند. ظرفیت این خازن‌ها بالاست و حدود $100\mu F$ می‌رسد.

خازن‌های متغیّر؛ دی الکتریک این خازن‌ها معمولاً هوا است. در ساختمان آن‌ها دو نوع صفحه‌ی فلزی، یک دسته ثابت و دسته‌ی دیگر متغیر به‌کار رفته است که هر دو دسته، روی یک محور قرار گرفته‌اند. ولی صفحه‌های متغیر روی این محور می‌چرخند. صفحه‌ها به شکل تپه‌داره‌اند و با چرخیدن صفحه‌های متغیر، مساحت خازن کم و زیاد می‌شود. این نوع خازن در گیرنده‌های رادیویی به‌کار می‌رود.

شکل ۲۵-۳



آزمایش پیشنهادی

هدف: بررسی تأثیر فاصله‌ی بین دو صفحه در خازن

تخت بر ظرفیت خازن

وسایل مورد نیاز: صفحه‌ی فلزی متصل به یک دسته‌ی

عایق - الکتروسکوپ - سیم اتصال به زمین.

روش آزمایش:

(الف) صفحه‌ی فلزی متصل به یک دسته عایق را باردار کنید (در صورت لزوم می‌توانید از مولدواندوگراف استفاده کنید). صفحه‌ی فلزی را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنید و به روش القا، الکتروسکوپ را باردار کنید. (فعلاً صفحه‌ی فلزی را از کلاهک دور نکنید). در ورقه‌های الکتروسکوپ چه تغییری مشاهده می‌کنید؟ (بار القایی در الکتروسکوپ مخالف و هم‌اندازه با بار الکتریکی صفحه‌ی فلزی است. در این حالت مجموعه‌ی صفحه‌ی فلزی و کلاهک الکتروسکوپ، یک خازن است. برای فاصله‌ی معینی بین صفحه‌ی فلزی و کلاهک الکتروسکوپ، رابطه‌ی $C = \frac{q}{V}$ صدق می‌کند.)

(ب) به تدریج صفحه‌ی فلزی را از کلاهک الکتروسکوپ دور کنید، فاصله‌ی بین ورقه‌های الکتروسکوپ چه تغییری می‌کند؟

پاسخ: بیشتر می‌شود.

(پ) جای خالی را در عبارت‌های زیر پر کنید.

۱- با دور کردن صفحه‌ی فلزی از کلاهک الکتروسکوپ، مقدار بارهای ذخیره شده در این خازن، تغییر... .

پاسخ: (نمی‌کند)

۲- با دور کردن صفحه‌ی فلزی از کلاهک الکتروسکوپ، فاصله‌ی ورقه‌های الکتروسکوپ از یکدیگر ... و اختلاف پتانسیل بین ورقه‌ها ... یافته و این مسئله نشان دهنده‌ی این مطلب است که اختلاف پتانسیل بین صفحه‌ی فلزی و کلاهک الکتروسکوپ (مجموعاً یک خازن هستند) ... می‌یابد.

پاسخ: بیشتر - افزایش - افزایش

۳- با دور کردن صفحه‌ی فلزی از کلاهک الکتروسکوپ (به عنوان یک خازن)، طبق رابطه‌ی $C = \frac{q}{V}$ ، ظرفیت خازن می‌یابد.

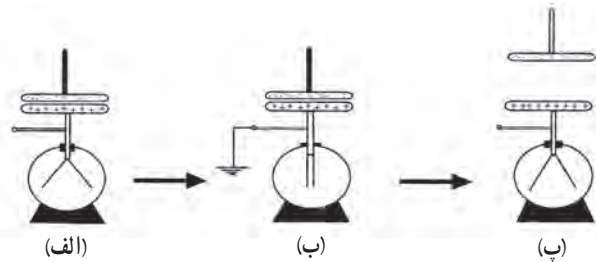
پاسخ: کاهش

(ت) نتیجه‌ای را که در این آزمایش در مورد فاصله‌ی بین

صفحه‌های خازن و ظرفیت آن می‌گیرید بیان کنید.

پاسخ: با زیاد شدن فاصله‌ی بین صفحه‌های خازن،

ظرفیت خازن کاهش می‌یابد. $C \propto \frac{1}{d}$



شکل (۵۷)

آزمایش

هدف: بررسی تأثیر سطح مشترک دو صفحه‌ی خازن

تخت بر ظرفیت خازن

وسایل مورد نیاز: صفحه‌ی فلزی متصل به یک دسته‌ی

عایق - الکتروسکوپ - سیم اتصال به زمین.

روش آزمایش:

(الف) مطابق قسمت (الف) آزمایش قبل عمل کنید.

(ب) به جای دور کردن صفحه‌های خازن (صفحه‌ی فلزی و کلاهک الکتروسکوپ) از یکدیگر، یکی از آن‌ها را مقداری کنار بکشید. به این صورت مساحت رو به روی صفحه‌ی فلزی و کلاهک الکتروسکوپ کاهش می‌یابد.

(پ) به کمک مشاهدات خود جای خالی را در عبارت‌های زیر پر کنید.

با کم شدن سطح مشترک دو صفحه‌ی خازن (صفحه‌ی فلزی و کلاهک الکتروسکوپ)، فاصله‌ی بین ورقه‌های الکتروسکوپ ... شده و به عبارت دیگر اختلاف پتانسیل الکتریکی در این خازن ... می‌یابد و طبق رابطه‌ی $C = \frac{q}{V}$ ، کم شدن سطح مشترک دو صفحه‌ی خازن، باعث ... ظرفیت خازن می‌شود.

پاسخ: بیشتر - افزایش - کاهش

(ت) نتیجه‌ای را که در این آزمایش در مورد تأثیر سطح

مشتک دو صفحه‌ای خازن بر ظرفیت خازن می‌گیرید، بیان کنید.
 پاسخ: با کم شدن سطح مشترک، ظرفیت خازن کاهش می‌یابد. $C \propto A$

توجه: اگر ورقه‌ای فلزی و کلاهی الکتروسکوپ خیلی از یکدیگر دور باشند، تغییر مکان‌های کوچک آن‌ها عملاً روی ظرفیت تأثیر نمی‌گذارد. در چنین حالتی این دستگاه را می‌توان منزوی به شمار آورد.

آزمایش

هدف: بررسی تأثیر دی‌الکتریک بر ظرفیت خازن تخت و وسایل مورد نیاز: وسایل آزمایش قبل به اضافه‌ی

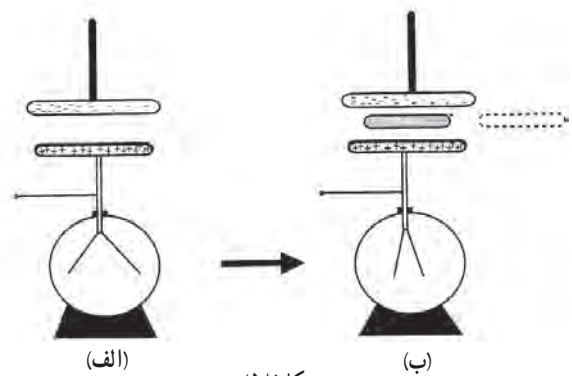
صفحه‌ی کائوچو

روش آزمایش:

الف) مطابق قسمت (الف) آزمایش قبل عمل کنید.

ب - مطابق شکل (۵۸) صفحه‌ی فلزی باردار را در فاصله‌ی معینی از کلاهی الکتروسکوپ باردار نگه دارید سپس یک صفحه‌ی کائوچوی بدون بار در فاصله‌ی بین صفحه‌ی فلزی و کلاهی الکتروسکوپ قرار دهید.

ت) با توجه به مشاهدات خود، در عبارت‌های زیر جای خالی را پر کنید.



در اثر وارد کردن صفحه‌ی کائوچو بین صفحه‌های خازن، زاویه‌ی بین ورقه‌های الکتروسکوپ ... شده، بنابراین اختلاف پتانسیل در خازن ... می‌یابد و طبق رابطه‌ی $C = \frac{q}{V}$ ، ... اختلاف پتانسیل در این آزمایش، به معنی ... ظرفیت خازن است.

پاسخ: کمتر - کاهش - برمی‌گردند - کاهش - افزایش
 ت) از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
 ج) اگر کائوچو را بردارید چه تغییری در ورقه‌های الکتروسکوپ مشاهده می‌کنید.

ج) آزمایش را برای دی‌الکتریک دیگری تکرار کنید مشاهدات خود را بیان کنید.

پاسخ: ظرفیت خازن به دی‌الکتریکی که فضای بین صفحه‌های خازن را پر می‌کند بستگی دارد. با قراردادن دی‌الکتریک (به جای هوا)، ظرفیت خازن افزایش می‌یابد.
 $C \propto k\epsilon$

۱۳-۲- انرژی خازن

ایجاد انگیزه: یک دوربین عکاسی را به کلاس می‌بریم از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا عکسی دسته جمعی بیندازند و خاطره‌ی درس امروز را که بحث بر روی خازن‌ها و ظرفیت آن‌ها و کاربرد آن‌هاست را جاودانه سازند، چون در فضای کلاس نیاز به زدن فلاش است، از دانش‌آموزان می‌خواهیم به این نکته توجه کنند که:

۱۳-۲- انرژی خازن
 در بخش ۸-۱ دیدیم که وقتی دو بار الکتریکی (هم‌نام یا غیرهم‌نام) 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 پر 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:

$$U = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{Q^2}{2C} \quad (۱۹-۲)$$

مثال ۱۷-۲
 خازنی به ظرفیت ۴۰۰ فاراد با ولتاژ ۷۰۰ ولت وصل می‌کنیم. بار الکتریکی و انرژی ذخیره شده در خازن را محاسبه کنید.
 حل: با استفاده از رابطه‌های ۱۶-۲ و ۱۹-۲ داریم:

$$q = CV$$

$$q = 6 \times 10^{-4} \times 700$$

$$q = 1/2 \times 10^{-4} \times 700^2 = 1/2 \times 10^{-4} \times 490000$$

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

$$U = \frac{1}{2} \times 1/2 \times 10^{-4} \times 700 \times 700 = 1/2 \times 10^{-4} \times 490000$$

۱۴-۲- به هم بستن خازن‌ها

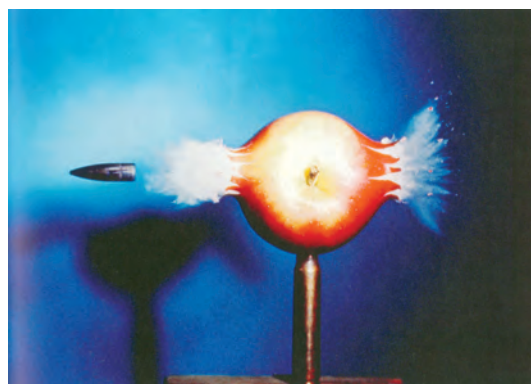
در مدارهای الکتریکی، گاهی لازم می‌شود که از ظرفیت معینی استفاده کنیم اما آن را در اختیار نداریم. در این گونه موارد می‌توانیم خازن‌ها را به یکدیگر بستیم و ظرفیت مورد نظر را به دست آوریم. همچنین می‌توان یک خازن را با یک یا چند خازن دیگر در یک مدار کرد. به این خازن، خازن معادل و به ظرفیت آن، ظرفیت معادل 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.

شکل (۵۹) مربوط به عبور گلوله از داخل یک سیب است که حین حرکت سریع، عکاسی استروبوسکپی (در فاصله‌های زمانی مساوی، عکس‌های متفاوتی می‌گیرد) می‌تواند در لحظه‌ی خاص برخورد گلوله با سیب عکس آن را بگیرد. در این عکاسی نیز از خازن استفاده می‌شود این خازن‌ها دارای انرژی بسیار و توان بالایی هستند که در زمان بسیار کوچک انرژی آزاد می‌شود و لامپ فلاش روشن می‌شود. گلوله با سرعت 900 m/s حرکت می‌کند و نور فلاش در بازه‌ی زمانی $3 \mu\text{s}$ نور می‌زند.

این مطلب نشان می‌دهد که گلوله طی زمان فلاش‌زدن 3 mm حرکت می‌کند. توان لازم برای عکس انداختن از سیب در مدت زمان $\frac{1}{3} \text{ s}$ که ۵ ژول انرژی برای روشنایی لامپ تولید کند 100 وات است، ولی توان لازم برای این که بتوان در مدت زمان $3 \mu\text{s}$ از حرکت گلوله عکس گرفت 15 MW است. به نظر شما این توان بالا چگونه تأمین می‌شود؟ ما در این بخش به قابلیت‌های خازن در این زمینه اشاره خواهیم کرد.

فلاش الکترونیکی دوربین عکاسی دارای یک خازن است که در آن انرژی لازم برای فلاش‌زدن ذخیره می‌شود. در چنین دستگاهی فلاش $\frac{1}{3} \text{ s}$ دوام می‌یابد و توان متوسط نور در مدت زمان کوتاه باید قابل توجه باشد. بنابراین مقدار ظرفیت خازن اهمیت زیادی پیدا می‌کند چرا که تخلیه خازن باعث می‌شود که نوری شدید در مدت زمان کوتاهی تولید شود.

نوع خاصی از دوربین‌های عکاسی هستند که قادرند حرکت‌های تند در زمان‌های کوتاهی را که حتی چشم قادر به تشخیص آن نیست، به عکس تبدیل کنند. به این نوع عکاسی، عکاسی استروبوسکپی گویند.



شکل (۵۹)

دانشتنی

در این دانشتنی؛ به یکی دیگر از کاربردهای خازن اشاره می‌شود. آزادشدن انرژی ذخیره شده در خازن در مدت زمان کوتاهی منجر به روشن شدن لامپ می‌شود که این روش اساس زدن فلاش در دوربین‌های عکاسی معمولی نیز هست.

فعالیت ۴۹

پاراگراف اول این بخش را مطالعه کنید و در مورد علت ذخیره شدن انرژی در یک خازن با یکدیگر بحث کنید و نتیجه را به کلاس ارائه کنید.

$$\text{الف) } U' = 600 \times \frac{1}{100} = 6$$

$$U = 6 \times \frac{100}{95} = \frac{600}{95} = 6/315 \text{ J}$$

$$\text{ب) } U = \frac{1}{2} CV^2$$

$$6/315 = \frac{1}{2} \times 0/8 \times 10^{-3} \times V^2$$

$$V^2 = \frac{6/315}{0/4 \times 10^{-3}} = 15/78 \times 10^3$$

$$\Rightarrow V \approx 12/6 \times 10^2 \text{ ولت}$$

مثال : فلاش الکترونیکی دوربین عکاسی تا $\frac{1}{100}$ s دوام

می‌یابد و توان متوسط نور آن در این مدت ۶۰۰ W است. (الف)

اگر ۹۵ درصد انرژی الکتریکی به نور تبدیل شود (بقیه انرژی به

گرما تبدیل می‌شود) چه مقدار انرژی باید در خازن ذخیره شود تا

یک فلاش بزند. (ب) اگر ظرفیت خازن ۸۰۰ mF باشد اختلاف

پتانسیل بین صفحه‌های خازن چقدر باشد تا انرژی محاسبه شده

در قسمت (الف) در آن ذخیره شود؟

پرسش : به نظر شما خازن پُر، چه شباهتی به باتری دارد؟

پاسخ : با تشکیل مدار الکتریکی بسته برای خازن یا باتری، جریان الکتریکی خواهیم داشت، البته جریان

الکتریکی ناشی از خازن بسیار کوتاه و متغیر است ولی در باتری زمان بیشتری ادامه می‌یابد.

پرسش : با توجه به پرسش بالا، آیا می‌توان گفت خازن پُر مانند باتری دارای انرژی الکتریکی است؟

پاسخ : بله – زیرا با اتصال دو صفحه‌ی خازن پُر در مدار، جریان الکتریکی ولو این که بسیار کم است خواهیم

داشت و این نشان می‌دهد که بارهای الکتریکی برای جریان پیدا کردن، انرژی خود را از خازن دریافت می‌کنند.

دانشتنی



انرژی ذخیره‌شده، در میدان الکتریکی خازن

در این دانستنی؛ رابطه‌ی ریاضی انرژی ذخیره شده در خازن محاسبه می‌شود.

دانشتنی

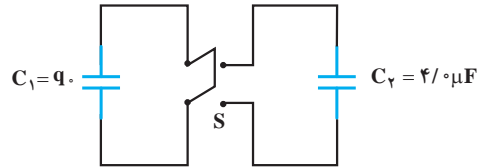


بررسی انرژی الکتریکی ذخیره شده در خازن با استفاده از الکتروسکوپ

در این دانستنی؛ آزمایشی با استفاده از نزدیک کردن یک صفحه‌ی باردار به کلاهک الکتروسکوپ طراحی

شده است با استفاده از این آزمایش، رابطه‌ی ریاضی انرژی ذخیره شده در خازن محاسبه می‌شود.

مثال : در شکل (۶۰) خازن C_1 را با وصل کردن آن به ولتاژ V_0 باردار می کنند. فرض کنید $C_1 = 8 \mu F$ و $V_0 = 120 V$ بار q_1 را حساب کنید (در ابتدا C_2 بی بار است).
- انرژی ذخیره شده در خازن را حساب کنید.



شکل (۶۰)

- بار هر خازن را پس از بسته شدن کلید S حساب کنید.
- انرژی کل دستگاه پس از بسته شدن کلید S چقدر است؟

$$q_0 = C_1 V_0 = 960 \mu C$$

پاسخ :

$$U = \frac{1}{2} q_0 V_0 = 0.58 J$$

بار مثبت q_1 روی صفحه های بالایی هر دو خازن و بار $-q_1$ روی صفحه های پایینی آن دو تقسیم شده اند. اگر q_1 و q_2 اندازه نهایی بار دو خازن باشند، بنابر پایستگی بار الکتریکی داریم

$$q_1 + q_2 = q_0$$

پس از بسته شدن کلید دو صفحه ی بالایی دو خازن پتانسیل یکسان دارند و همچنین دو صفحه زیرین نیز دارای پتانسیل یکسان هستند که البته با پتانسیل سطح های بالایی تفاوت دارد.

لذا اختلاف پتانسیل نهایی V بین صفحه ها برای هر دو خازن یکی است و

$$q_1 = C_1 V$$

$$q_2 = C_2 V$$

از ترکیب این رابطه با رابطه ی قبل خواهیم داشت :

$$V = \frac{q_0}{C_1 + C_2} = \frac{960}{12} = 80 V$$

$$q_2 = 320 \text{ و } q_1 = 640$$

- انرژی نهایی دستگاه برابر است با

$$\frac{1}{2} q_1 V + \frac{1}{2} q_2 V = \frac{1}{2} q_0 V$$

$$= \frac{1}{2} (960 \times 10^{-6}) \times (80) = 0.38 J$$

انرژی نهایی از مقدار انرژی کل اولیه ($0.58 J$)، کمتر است و تفاوت آن ها به صورت دیگری از انرژی تبدیل شده است. سیم های رسانا کمی گرمتر شده اند، زیرا دارای مقاومت هستند و بخشی از انرژی نیز به صورت امواج الکترومغناطیسی تابیده شده است.

مثال : یکی از کاربردهای انرژی ذخیره شده در خازن استفاده از این انرژی در لامپ های فلاش الکترونیکی است.

الف) خازنی با ظرفیت $100 \mu F$ با ولتاژ $300 V$ ولت باردار شده است. الف) انرژی ذخیره شده در آن را حساب کنید.

پاسخ : $0.45 J$

ب) اگر زمان لازم برای شارژ شدن خازن 30 ثانیه باشد توان لازم برای شارژ شدن را به دست آورید.

$$p = \frac{U}{t} = \frac{0.45}{30} = 15 \times 10^{-2} \text{ وات}$$

پ) اگر خازن در لامپ فلاش در مدت زمان 10×10^{-4} تخلیه شود. توان داده شده به لامپ را به دست آورید.

$$p = \frac{0.45}{10^{-4}} = 4500 \text{ وات}$$

ت) چگونه توان به این بزرگی امکان پذیر است؟

پاسخ : توان رابطه ی عکس با زمان دارد. زمان کوتاه تر برای تخلیه انرژی منجر به توان بالاتری می شود.

دانستنی



تغییر ظرفیت های خازن و اثر آن بر انرژی خازن

در این دانستنی؛ آزمایشی با استفاده از یک خازن تخت طراحی شده است که در دو بخش دور کردن صفحه های

خازن و ثابت ماندن بار و دیگری دور کردن صفحه های خازن و ثابت ماندن ولتاژ ارائه می شود.

۱۴-۲ به هم بستن خازن‌ها

ایجاد انگیزه: استفاده از لیزر یکی از روش‌های انجام واکنش‌های هسته‌ای کنترل شده در رآکتور همجوشی است. لیزری که در این واکنش‌ها استفاده می‌شود، دارای توان زیادی است. این لیزرها پالس‌هایی از انرژی را به وجود می‌آورند که عامل آن‌ها انرژی ذخیره شده توسط خازن‌هایی است که در اتاق‌هایی قرار دارند. در یکی از این اتاق‌ها خازنی با ظرفیت $1 \times 10^{-3} \text{ F}$ قرار دارد که به وسیله اختلاف پتانسیل 10 kV شارژ شده است.

به نظر شما چرا در اتاق‌هایی که انرژی لیزر از آن‌ها تأمین می‌شود از تعداد زیادی خازن استفاده می‌شود؟

پاسخ: در بخش قبل دیدیم برای داشتن خازنی با ظرفیت 1 F به مربعی با ضلع حدوداً 10 km احتیاج است که این امر امکان‌پذیر نیست بنابراین باید از تعداد زیادی خازن با روش اتصال به خصوصی استفاده کرد.

راهنمای تدریس: با طرح پرسش بالا به روش پرسش و پاسخ درس را شروع می‌کنیم و دانش‌آموزان با توجه به شرایط مسئله حدس خواهند زد که به دلیل ذخیره‌ی انرژی بیشتر و ضرورت استفاده از آن در واکنش‌های هسته‌ای تعداد زیادی خازن را به همدیگر می‌بندند و در مدار قرار می‌دهند.

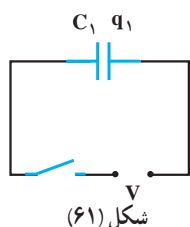
در این مرحله از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا بند شروع بخش ۱۴-۲ را مطالعه و توضیح دهند. با طرح توضیحات دانش‌آموزان در کلاس، دقیق‌ترین بیان و مفهوم را انتخاب کرده و آن را تکمیل می‌کنیم. و برای تفهیم بهتر همین بند، از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا به شکل‌های صفحه‌ی ۹۱ کتاب (به هم بستن موازی و متوالی خازن‌ها) توجه کنند.

بلافاصله این پرسش را مطرح می‌کنیم؛ که به نظر شما بین این دو نوع بستن تفاوتی هست و آیا در نتیجه‌ی کاربردی کار که ذخیره‌ی انرژی و بالطبع ظرفیت خازن معادل است تأثیری می‌گذارد؟

با توجه به این که این دو نوع بستن در کتاب از یکدیگر جدا شده، دانش‌آموزان پاسخ پرسش بالا را مثبت خواهند داد.

سپس به هم بستن موازی و متوالی خازن‌ها را معرفی می‌کنیم. برای بررسی تفاوت این دو نوع بستن خازن‌ها (موازی - متوالی) طبق مراحل زیر عمل می‌کنیم.

الف) به هم بستن موازی: مطابق شکل (۶۱) خازن C_1 را به دو سر یک باتری وصل می‌کنیم با بستن کلید خازن شارژ می‌شود و بار q_1 که متناسب با ظرفیت C_1 است روی آن جامی‌گیرد.

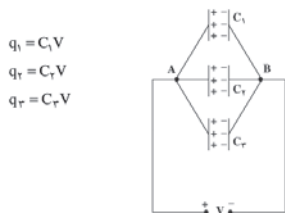


شکل (۶۱)

— چه رابطه‌ای بین بار q_1 و ظرفیت C_1 وجود دارد؟
— چه رابطه‌ای بین بار q_1 و بار کل گرفته شده از باتری وجود دارد؟

پاسخ: $q_1 = C_1 V$ و می‌توان گفت $q_1 = q_T$

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:



شکل ۴۶-۲

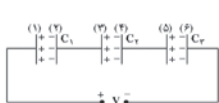
بار الکتریکی ذخیره شده در مجموعه‌ی خازن‌ها برابر $q = q_1 + q_2 + q_3$ است. اگر خازن معادل به ظرفیت C_T را به همین ولتاژ وصل کنیم، بار ذخیره شده در آن $q = C_T V$ می‌شود. در نتیجه، داریم:

$$\begin{aligned} q &= C_T V \\ q_1 + q_2 + q_3 &= C_T V \\ (C_1 + C_2 + C_3) V &= C_T V \\ C_T &= C_1 + C_2 + C_3 \end{aligned}$$

(۲-۴)

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 پیش‌تر است.

ب — به هم بستن متوالی خازن‌ها: در شکل

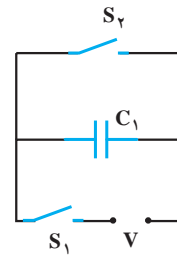


شکل ۴۷-۲

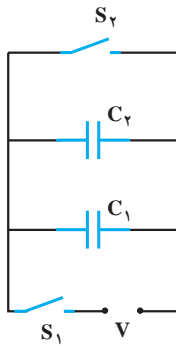
۴۷-۲ سه خازن به‌طور متوالی به یکدیگر وصل شده‌اند. وقتی خازن‌ها به‌طور متوالی به یک ولتاژ وصل می‌شوند، هیچ کدام از آن‌ها به‌طور مستقل به ولتاژ V وصل نیستند. اگر روی صفحه‌ی ۱ بار $+q$

– همین مدار را طوری طراحی کنید که خازن C_1 تخلیه

شود.



شکل (۶۲)



شکل (۶۳)

پاسخ: با باز کردن کلید S_1 و بستن کلید S_2 خازن C_1

تخلیه می‌شود.

– به باتری V که در مدار قبل از آن استفاده کرده بودیم

خازن دیگری با ظرفیت C_2 اضافه کنید به گونه‌ای که به طور موازی با خازن C_1 قرار گیرد. این بار به چه روشی می‌توان هر دو خازن را باردار کرد؟ و بار روی هر خازن چقدر خواهد بود و چه رابطه‌ای با بار کل گرفته شده از باتری دارد؟

پاسخ: کلید S_2 را باز می‌کنیم و خازن C_2 را موازی با

C_1 در مدار قرار می‌دهیم با بستن کلید S_1 مدار وصل می‌شود و بار q_1 متناسب با ظرفیت C_1 ($q_1 = C_1 V$) متناسب با ظرفیت C_2

($q_2 = C_2 V$) روی دو خازن جا می‌گیرد چون برای هر دو خازن V یکسان است و تغییری نکرده بنابراین بار قرار گرفته روی هر کدام از آن‌ها متناسب با ظرفیت هر خازن است. در این حالت

باتری بار بیشتری را به مدار می‌دهد و داریم $q_T = q_1 + q_2$

– به روش بالا دو خازن C_1 و C_2 را با بستن کلید S_2 تخلیه می‌کنیم و خازن C_2 را موازی با آن‌ها بسته و پرسش‌ها را تکرار می‌کنیم و از دانش‌آموزان می‌خواهیم نتیجه را بنویسید ($q_T = q_1 + q_2 + q_3$) و V برای هر سه خازن یکسان است.

فعالیت ۵۰



در گروه خود؛ در به هم بستن خازن‌ها به طور موازی، جدول زیر را کامل کنید.

خازن معادل	خازن (۳)	خازن (۲)	خازن (۱)	
C_T	C_2	C_2	C_1	ظرفیت
.....	V	V	اختلاف پتانسیل دو سر
.....	$q_1 = C_1 V$	بار

فعالیت ۵۱



در گروه خود، روابط $q_1 = C_1 V$ و $q_2 = C_2 V$ و $q_3 = C_3 V$ در جدول بالا را در رابطه‌ی $q_T = C_T V$

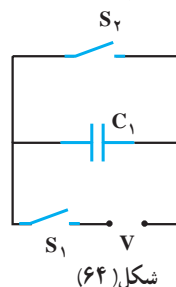
قرار دهید و رابطه‌ای برای ظرفیت خازن معادل به دست آورید. نتیجه را در قالب یک جمله بیان کنید.

پاسخ: بستن S_1 به شارژ C_1 و باز کردن S_2 و سپس بستن S_2 به شارژ خازن C_1 می‌انجامد.

(ب) به هم بستن متوالی خازن‌ها: درس را طبق مراحل زیر ادامه می‌دهیم.

مداری را برای پر و خالی کردن خازن با ظرفیت C_1 و باتری با ولتاژ V و دو کلید رسم کنید و جدول زیر را کامل کنید.

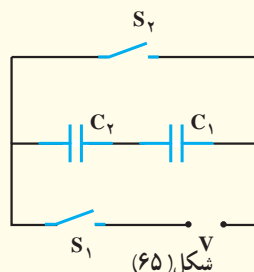
خازن (۱)	
C_1	ظرفیت
V	اختلاف پتانسیل دوسر
q_1	بار



شکل (۶۴)

* خازن C_1 و C_2 را به طور متوالی در مدار قرار دهید و جدول را کامل کنید (با روش پرسش و پاسخ و با توجه به بحث القای بار الکتریکی یکسان به خازن‌ها در به هم بستن متوالی جدول را کامل می‌کنیم).

	خازن (۱)	خازن (۲)
ظرفیت	C_1	C_2
اختلاف پتانسیل	V_1	V_2
بار	$q_1 = q_2$	$q_2 = q_1$



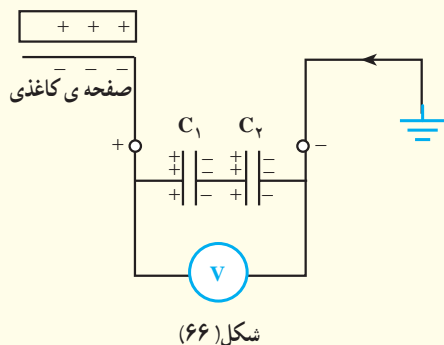
شکل (۶۵)

پرسش: در شکل (۶۶) چگونگی باردار شدن دو خازن را

توضیح دهید. آیا مقدار بار آن‌ها مساوی است؟

پاسخ: در اثر نزدیک کردن میله‌ی شیشه‌ای باردار (بار مثبت) به صفحه‌ی فلزی، بار منفی در صفحه القا می‌شود، زیرا بارهای منفی صفحه‌ی سمت چپ خازن C_1 به سوی صفحه‌ی فلزی مجاور میله می‌روند، در اثر این جابه‌جایی صفحه‌ی فلزی چپ خازن C_1 دارای بار مثبت و مساوی با بار میله‌ی شیشه‌ای خواهد شد. این بارهای مثبت در صفحه‌ی مجاور (سمت راست) خازن C_1 در اثر خاصیت القای الکتریکی بار منفی القا کرده و با جذب کردن الکترون‌های آزاد صفحه‌ی مجاور (سمت چپ) خازن C_2 ، این صفحه (سمت

میله‌ی شیشه‌ای باردار



شکل (۶۶)

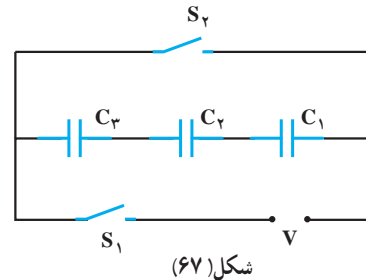
چپ خازن C_2) دارای بار مثبت می‌شود به همین ترتیب در مورد صفحه‌ی سمت راست خازن C_2 القای بار الکتریکی باعث جذب الکترون‌ها از زمین می‌شود. در این مثال بار الکتریکی القا شده در خازن‌ها با یکدیگر برابر است.

– تکرار مفاهیم جدول توسط دانش‌آموزان : در جدول بالا کدام کمیت ثابت می‌ماند؟ علت را بیان کنید.

در جدول بالا کدام کمیت متناسب با ظرفیت هر خازن تغییر می‌کند؟

– هر دو خازن در مدار بالا را دشارژ می‌کنیم. خازن C_p را متوالی با C_p و C_1 در مدار قرار داده و جدول زیر را کامل کنید.

(روش شارژ خازن‌ها را مرور کنید)



پاسخ :

خازن معادل	خازن (۳)	خازن (۲)	خازن (۱)	
C_T	C_p	C_p	C_1	ظرفیت
$V_T = V = V_1 + V_p + V_p$	V_p	V_p	V_1	اختلاف پتانسیل دو سر
$q_T = q$	$q_p = q$	$q_p = q$	$q_1 = q$	بار

* مفاهیم جدول را با بیان دانش‌آموزان تکرار می‌کنیم.

* با توجه به ثابت بودن بار برای خازن‌های مختلف در به

هم بستن متوالی رابطه‌های مربوط به هر خازن در مورد ظرفیت آن‌ها را بنویسید.

آبشارته شود. بار q روی صفحه‌ی ۲ القا می‌گردد. مجموع بار صفحه‌های ۲ و ۳ برابر صفر است (جرا:). بنابراین، بار q روی صفحه‌ی ۳ آبشارته 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_p باشد، ولتاژ دو سر مدار برابر مجموع ولتاژ دو سر خازن‌هاست.

$$V = V_1 + V_p + V_p$$

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

$$V = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_p} + \frac{q}{C_p}$$

اگر C_p 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 $\frac{q}{C_T}$ به جای V نتیجه می‌شود:

$$\frac{q}{C_T} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_p} + \frac{q}{C_p}$$

و یا:

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

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

مثال ۱۸-۲

به دو سر مجموعه‌ی سه خازن به ظرفیت‌های $3\mu F$ ، $6\mu F$ و $2\mu F$ که به‌طور متوالی به یکدیگر وصل اند، اختلاف پتانسیل $15V$ را وصل می‌کنیم. الف – ظرفیت خازن معادل، ب – بار الکتریکی هر خازن و ج – ولتاژ دو سر هر خازن را حساب کنید. حل: الف – با استفاده از رابطه‌ی ۲۱-۲ داریم:

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

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

پاسخ: $C_1 = \frac{q}{V_1}$ و $C_2 = \frac{q}{V_p}$ و $C_3 = \frac{q}{V_p}$

– مقادیر V_1 و V_p و V_p را از رابطه‌های بالا به دست آورده

و در رابطه‌ی ولتاژ کل مدار $V_T = V_1 + V_p + V_p$ قرار دهید.

پرسش : جاهای خالی را پر کنید.

الف) مقدار ظرفیت خازن معادل در به هم بستن موازی از مقدار ظرفیت تک تک خازن‌ها است.

ب) مقدار ظرفیت خازن معادل در به هم بستن متوالی، از مقدار ظرفیت تک تک خازن‌ها است.

پ) مقدار ظرفیت n خازن یکسان (C) در به هم بستن متوالی است. $C_T = \dots\dots\dots$

پاسخ: الف) بزرگ‌تر ب) کوچک‌تر پ) $C_T = \frac{C}{n}$

مثال ۲-۱۸ را در کلاس مطرح و از دانش‌آموزان می‌خواهیم در گروه‌های خود حل کنند و نتیجه را اعلام کنند.

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

$$C_T = 1 \mu F$$

ب- بار الکتریکی هر خازن، برابر با بار خازن معادل آن‌هاست.

$$q = CV$$

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

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

ب- با استفاده از رابطه $q = CV$ داریم:

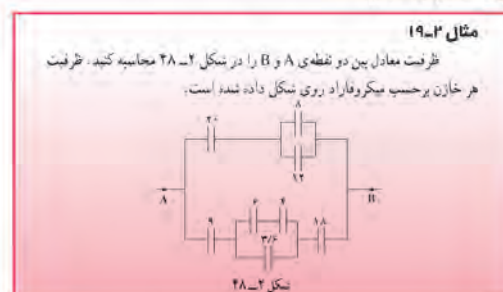
$$V = \frac{q}{C}$$

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

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

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

ممکن است در یک مدار، خازن‌ها به صورت پیچیده‌تری به یک‌دیگر وصل شده باشند. یا استفاده از محاسبه ظرفیت خازن‌های موازی و متوالی، می‌توان مدار را ساده کرد و در نهایت، ظرفیت معادل را به دست آورد.

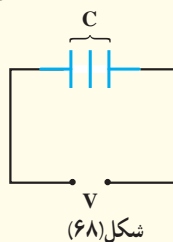


۹۳

پرسش: اگر بین دو صفحه‌ی یک خازن که به باتری وصل هستند، یک صفحه‌ی فلزی نازک بدون اتصال به صفحه‌های خازن وارد کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟

پاسخ: دو خازن خواهیم داشت که به طور متوالی بسته شده‌اند اگر فاصله‌ی بین دو صفحه خازن اصلی را d در نظر بگیریم چون فاصله بین دو صفحه دو خازن حاصل $\frac{d}{2}$ خواهد بود از این رو ظرفیت هر خازن دو برابر خازن اصلی خواهد شد در به هم بستن متوالی خازن‌ها داریم:

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2C \times 2C}{2C + 2C} = \frac{4C^2}{4C} = C$$



یعنی ظرفیت خازن معادلی که با وارد کردن یک صفحه‌ی فلزی بین صفحه‌های خازن اصلی به وجود می‌آید برابر با ظرفیت خازن اصلی است و تغییری در مدار به وجود نمی‌آید.

از یکی از دانش‌آموزان داوطلب می‌خواهیم تا شکل مثال ۲-۱۹ کتاب را روی تخته سیاه رسم کند. سپس با خواندن صورت مسئله دانش‌آموزان را به پاسخگویی ترغیب می‌کنیم. برای سهولت در بررسی دیدگاه‌های گروه‌ها می‌توانیم خازن‌ها را شماره‌گذاری کنیم. به طور مرحله‌ای وارد بررسی حل گروه‌ها می‌شویم، مثلاً در مورد ظرفیت معادل خازن‌های ۸ و ۱۲ میکروفارادی شاخه‌ی بالایی پرسش‌هایی را مطرح می‌کنیم. نتیجه‌گیری را به عهده‌ی دانش‌آموزان می‌گذاریم و برای واضح‌شدن بیش‌تر از مثال‌های دیگری در این زمینه می‌توان استفاده کرد.

از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا پرسش مثال ۲-۲۰ را روی یک ورق کاغذ بنویسند و سپس کتاب درسی را ببندند و در گروه‌های خود آن را حل کنند.

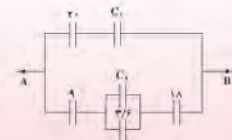
قبل از حل عددی از آن‌ها می‌خواهیم تا پس از چند دقیقه بررسی در گروه، روش حل موردنظر خود را بیان کنند. در صورتی که گروهی نتوانسته بود راهی برای حل این مثال ارائه دهد، گروه‌های دیگر با بیان کردن روش‌های حل این مثال (و انتخاب صحیح‌ترین روش توسط ما) می‌توانند یاری‌دهنده باشند. به گونه‌ای که قبل از حل عددی، دانش‌آموزان در مورد کیفیت و مفهوم مثال اشکالی نداشته باشند.

تأکید در این مثال بیش‌تر بر روی استفاده از رابطه‌ی انرژی خازن برای محاسبه‌ی مجهول مسئله، که خازن معادل است می‌باشد. و هم‌چنین بر روی علت انتخاب این رابطه $(U = \frac{1}{2} C_T V^2)$ تأکید می‌کنیم. سپس نکته‌ی بسیار مهم دیگر در این مثال تشخیص متوالی بسته‌شدن دو خازن است.

حل: دو خازن ۸μF و ۱۲μF یا یک‌دیگر موازی و خازن ۶μF به‌طور متوالی به یک‌دیگر وصل شده‌اند. اگر به‌جای آن‌ها خازن معادل آن‌ها را قرار دهیم، مدار به‌صورت شکل ۲-۲۹ ساده می‌شود.

$$C_T = 12 + 8 = 20 \mu F$$

$$C_T = \frac{6 \times 2}{6 + 2} = 1.5 \mu F$$



شکل ۲-۲۹

اکنون خازن‌های ۲ میکروفارادی با یک‌دیگر متوالی‌اند و خازن ۶ یا خازن ۳/۶ میکروفارادی موازی است. مدار به‌صورت شکل ۲-۳۰ ساده می‌شود.

$$C_T = \frac{2 \times 2}{2 + 2} = 1 \mu F$$

$$C_T = 2 / (2 + 3/6) = 6 \mu F$$



شکل ۲-۳۰

اگر خازن معادل سه خازن ۱۸μF، ۱۸μF و ۹μF را که متوالی‌اند را با C_3 نشان دهیم، مدار به‌صورت شکل ۲-۳۱ ساده می‌شود.

$$\frac{1}{C_3} = \frac{1}{9} + \frac{1}{6} + \frac{1}{18}$$

$$\frac{1}{C_3} = \frac{2 + 3 + 1}{18}$$

$$C_3 = \frac{18}{6} = 3 \mu F$$

$$C_T = 1 + 3 = 4 \mu F$$



شکل ۲-۳۱

مثال ۳-۲۰

دو خازن به ظرفیت $C_1 = 2 \mu F$ و C_2 را به یک‌دیگر وصل می‌کنیم و ولتاژ ۱۰۰ V را به دو سر مجموعه‌ی آن‌ها می‌بندیم. اگر انرژی ذخیره شده در مجموعه‌ی خازن‌ها برابر ۲۵ میلی‌ژول 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:

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

$$25 \times 10^{-3} = \frac{1}{2} C_T \times 100^2$$

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

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

$$C_T = C_1 + C_2$$

$$5 = 2 + C_2$$

$$C_2 = 3 \mu F$$

فعالیت ۵۲



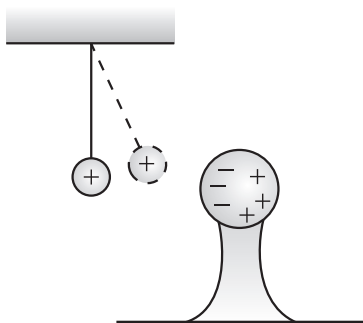
به گروه‌های داوطلب دانش‌آموزان، تحقیقی در مورد وسایل مطرح‌شده در صفحه‌ی ۸۱ کتاب درسی می‌دهیم تا در مورد ضرورت استفاده از خازن در بلندگو، دلقوی ماشین، رادیو، تلویزیون، رایانه و از اینترنت و یا کتاب‌ها و مجلات، مقاله کوتاهی تهیه و برای جلسه‌ی بعد به کلاس ارائه دهند.

فعالیت ۵۳



در ابتدای بخش‌های مربوط به بحث خازن از صفحه کلید رایانه و میکروفون خازنی، لیزرها در رآکتور، لامپ استروبوسکپی و به عنوان ایجاد انگیزه استفاده کردیم. با توجه به تمام‌شدن بحث خازن شکل مربوط به هر ایجاد انگیزه را به تعداد گروه‌های دانش‌آموزان کپی می‌کنیم (یا روی تخته سیاه رسم می‌کنیم) و به روش پرسش و پاسخ، آموخته‌های دانش‌آموزان در این فصل را مرور می‌کنیم و به بررسی طرز کار آنان می‌پردازیم.

پاسخ تمرین‌های فصل دوم

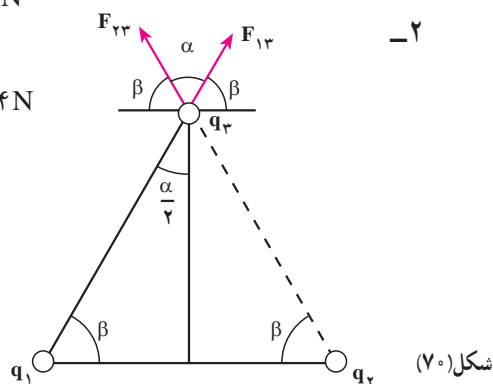


شکل (۶۹)

۱- با نزدیک شدن کره به آونگ چون آونگ باردار و کره رساناست در کره بار القا می‌شود (و به عبارتی بارهای کره تفکیک می‌شوند). چون بارهای منفی کره به آونگ نزدیک‌ترند پس نیروی ربایش بیش از رانش است و کره و آونگ یکدیگر را می‌ربایند و اگر فاصله‌ی آن‌ها از هم به گونه‌ای باشد که به هم تماس پیدا کنند آن‌گاه مقداری از بارهای آونگ به کره داده می‌شود و سپس یکدیگر را می‌رانند.

$$F_{13} = k \frac{q_1 q_3}{r_1} = 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-4}} = 72 \text{ N}$$

$$F_{23} = k \frac{q_2 q_3}{r_2} = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-4}} = 54 \text{ N}$$



شکل (۷۰)

برای تعیین نیروی برابند دو روش وجود دارد. اول این که زاویه‌ی α را بدانیم. در مثلث قائم‌الزاویه‌ای که وتر آن ۵ cm و یک قاعده ۴ cm باشد ضلع دیگر ۳ cm است.

$$\sin\left(\frac{\alpha}{\gamma}\right) = \frac{4}{5} = 0.8 \Rightarrow \frac{\alpha}{\gamma} = 53^\circ \Rightarrow \alpha = 10.6^\circ$$

$$F_R = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2 + 2F_{13}F_{23}\cos\alpha} = \sqrt{72^2 + 54^2 + 2 \times 72 \times 54 \times \cos 10.6^\circ}, \cos 10.6^\circ = 0.98$$

$$F_R = 77.5 \text{ N}$$

در روش دوم با تعیین زاویه‌ی β می‌توانیم F_{13} و F_{23} را با استفاده از مؤلفه‌هایشان بنویسیم و با هم جمع کنیم.

$$\sin\beta = \frac{3}{5} = 0.6 \Rightarrow \beta = 37^\circ$$

$$\vec{F}_{13} = 72 \cos 37^\circ \vec{i} + 72 \sin 37^\circ \vec{j} = 57.6 \vec{i} + 43.2 \vec{j}$$

$$\vec{F}_{23} = -54 \cos 37^\circ \vec{i} + 54 \sin 37^\circ \vec{j} = -43.2 \vec{i} + 32.4 \vec{j}$$

$$\vec{F}_R = \vec{F}_{1r} + \vec{F}_{2r} = (57/6 - 43/2) \vec{i} + (43/2 + 32/4) \vec{j}$$

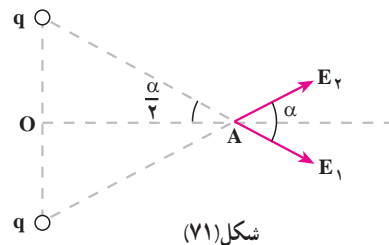
$$\vec{F}_R = 14/4 \vec{i} + 75/6 \vec{j}$$

$$|\vec{F}_R| = \sqrt{14/4^2 + 75/6^2} \approx 77N$$

۳- با توجه به ویژگی‌های خط‌های میدان و نیز ویژگی‌های میدان الکتریکی یکنواخت پس باید در همه جا تراکم خطوط و نیز جهت آن‌ها یکسان باشد بنابراین لازم است خط‌های میدان یکنواخت همگی موازی و با فاصله‌های یکسان از هم باشند تا بزرگی میدان در همه جا یکسان باشد.

۴- ابتدا فاصله‌ی نقطه‌ی A تا هر یک از بارها را حساب می‌کنیم:

$$r = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5cm$$



شکل (۷۱)

چون بارها هم اندازه و به یک فاصله از A هستند $E_1 = E_2$ می‌شود.

$$E_1 = E_2 = \frac{kq}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-4}} = 1/8 \times 10^9 N/C$$

$$E_R = 2E_1 \cos \frac{\alpha}{2}$$

$\cos \frac{\alpha}{2}$ با توجه به مثلث قائم‌الزاویه‌ای که اضلاع آن معلوم است به دست می‌آید:

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{OA}{r} = \frac{4}{5} = 0.8$$

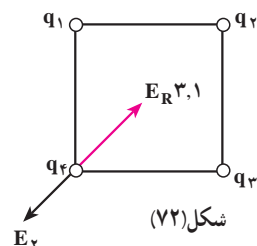
$$E_R = 2 \times 1/8 \times 10^9 \times 0.8 = 2/88 \times 10^9 N/C$$

بردار میدان برآیند از نقطه‌ی A به سمت راست است.

۵- برای آن که بار q_4 در حال تعادل باشد یعنی برآیند نیروی وارد بر آن صفر باشد باید میدان برآیند در محل قرار گرفتن q_4 صفر باشد یعنی باید میدان حاصل از q_4 قرینه‌ی میدان برآیند حاصل از q_1 و q_3 باشد. پس حتماً نوع بار q_4 مخالف q_1 و q_3 است و برای تعیین اندازه‌ی q_4 اگر ضلع مربع را a فرض کنیم داریم:

$$E_1 = E_3 = 9 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6}}{a^2} = \frac{45 \times 10^3}{a^2}$$

$$E_{R_{1,3}} = 2E_1 \cos \frac{90^\circ}{2} = 2 \left(\frac{45 \times 10^3}{a^2} \right) \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) = \frac{45\sqrt{2} \times 10^3}{a^2}$$



شکل (۷۲)

$$E_r = E_{R_{r,1}} = \frac{45\sqrt{2} \times 10^{-3}}{a^2}$$

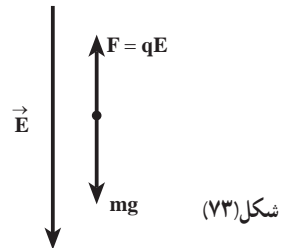
فاصله ی q_1 تا q_2 برابر $r\sqrt{2}$ است :

$$9 \times 10^{-9} \frac{q_r}{2a^2} = \frac{45\sqrt{2} \times 10^{-3}}{a^2} \Rightarrow q_r = 10\sqrt{2} \times 10^{-6} \text{ C} = 10\sqrt{2} \mu\text{C}$$

۶- باید نیرو در خلاف جهت میدان بر ذره وارد شود پس حتماً نوع بار ذره منفی است.

$$qE = mg$$

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{2 \times 10^{-3} \times 10}{5 \times 10^4} = 4 \times 10^{-7} \text{ C} = 0.4 \mu\text{C}$$



$$E = 8 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$F = qE$$

۷- الف)

$$q = 5 \mu\text{C}$$

$$F = 5 \times 10^{-6} \times 8 \times 10^5 = 4 \text{ N}$$

$$F = ?$$

$$d = 2 \text{ m}$$

$$W = Fd \cos \alpha$$

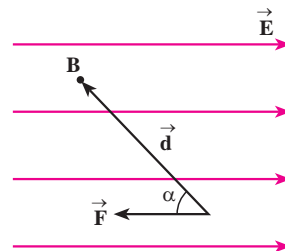
ب)

$$\alpha = 30^\circ$$

$$W = 4 \times 2 \times \cos 30^\circ$$

$$W = ?$$

$$W = 6.928 \text{ J}$$



شکل (۷۴)

$$|\Delta U| = ?$$

$$|\Delta U| = W = 6.928 \text{ J}$$

ب)

$$d = 2 \text{ cm}$$

$$|E| = \frac{\Delta V}{d} = \frac{100}{2 \times 10^{-2}} = 5000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

۸-

$$\Delta V = 100 \text{ V}$$

$$E = ?$$

می دانیم خطوط میدان از بارهای مثبت به منفی رسم می شوند و اگر در جهت میدان پیش برویم به سمت نقاط با پتانسیل کمتر حرکت می کنیم پس صفحه ی با بار مثبت پتانسیل الکتریکی بیشتری دارد.

$$q = 2 \mu\text{C}$$

$$V_B - V_A = \frac{U_B - U_A}{q}$$

۹-

$$U_A = -4 \times 10^{-5} \text{ J}$$

$$U_B = 5 \times 10^{-5} \text{ J}$$

$$V_B - V_A = ?$$

$$V_B - V_A = \frac{5 \times 10^{-5} - (-4 \times 10^{-5})}{2 \times 10^{-6}} = 45 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 q &= -4\mu\text{C} & \Delta U &= q(V_f - V_i) & \text{الف)} \\
 V_i &= -40\text{V} & \Delta U &= -4 \times 10^{-6} [-10 - (-40)] \\
 V_f &= -10\text{V} & \Delta U &= -120 \times 10^{-6} \text{J} = -120\mu\text{J} \\
 \Delta U &= ?
 \end{aligned}$$

چون $\Delta U < 0$ است پس انرژی پتانسیل الکتریکی بار q کاهش یافته است.
 ب) اگر ذره آزادانه جابه‌جا شود لحظه به لحظه بر سرعتش افزوده می‌شود یعنی انرژی پتانسیل الکتریکی آن تبدیل به انرژی جنبشی می‌شود.

۱۱- چون ذره بار مثبت دارد و از مجاور صفحه‌ی مثبت رها می‌شود و خود به خود به سوی صفحه‌ی منفی می‌رود (یعنی در جهت میدان پیش می‌رود) پس انرژی پتانسیل الکتریکی آن کم می‌شود.

$$\begin{aligned}
 d &= 1\text{cm} \\
 \Delta V &= 1000\text{V} & \Delta U &= q\Delta V = 1/6 \times 10^{-19} \times 1000 = 1/6 \times 10^{-16} \text{J} \\
 q &= 1/6 \times 10^{-19} \text{C} \\
 m &= 1/6 \times 10^{-28} \text{kg} \\
 \Delta U &= ? \\
 V &= ?
 \end{aligned}$$

با استفاده از پایستگی انرژی می‌توان نوشت :

$$\begin{aligned}
 \Delta U &= \Delta K = k - 0 = \frac{1}{2} mV^2 \\
 1/6 \times 10^{-16} &= \frac{1}{2} \times 1/6 \times 10^{-28} V^2 \\
 V &= \sqrt{2 \times 10^{12}} = \sqrt{2} \times 10^6 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

۱۲-

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 28\text{V} & q_1 &= CV_1 = 28\text{C} (\mu\text{C}) \\
 V_2 &= 40\text{V} & q_2 &= CV_2 = 40\text{C} (\mu\text{C}) \\
 \Delta q &= 15\mu\text{C} & q_2 &= q_1 + \Delta q \\
 C &= ? & 40\text{C} &= 28\text{C} + 15 \\
 & & C &= \frac{15}{12} = 1/25 \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

۱۳-

$$\begin{aligned}
 a &= 16\text{cm} & C &= k\epsilon_0 \frac{A}{d} = k\epsilon_0 \frac{a^2}{d} \\
 d &= 2\text{mm} & C &= \frac{2/5 \times 9 \times 10^{-12} (16 \times 10^{-2})^2}{2 \times 10^{-3}}
 \end{aligned}$$

$$k = 2/5$$

$$C = 288 \times 10^{-12} \text{ F} = 288 \text{ pF}$$

$$C = ?$$

$$C_1 = 5 \mu\text{F}$$

$$q_1 = C_1 V_1 = 5 \times 1200 = 6000 \mu\text{C}$$

۱۴- الف)

$$V_1 = 1200 \text{ V}$$

$$q_2 = C_2 V_2 = 10 \times 750 = 7500 \mu\text{C}$$

$$C_2 = 10 \mu\text{C}$$

$$\text{بار کل خازن های موازی } q' = q_1 + q_2 = 6000 + 7500 = 13500 \mu\text{C}$$

$$V_2 = 750 \text{ V}$$

$$C' = C_1 + C_2 = 5 + 10 = 15 \mu\text{F}$$

$$V' = ?$$

$$V' = \frac{q'}{C'} = \frac{13500}{15} = 900 \text{ V}$$

$$q'_1 = ?$$

$$q'_1 = C_1 V' = 5 \times 900 = 4500 \mu\text{C}$$

$$q'_2 = ?$$

$$q'_2 = C_2 V' = 10 \times 900 = 9000 \mu\text{C}$$

$$\text{و یا } q'_2 = q' - q'_1 = 13500 - 4500 = 9000 \mu\text{C}$$

$$W = W_1 + W_2 = q_1 V_1 + q_2 V_2 \quad (\text{ب})$$

$$W = 6000 \times 1200 + 7500 \times 750 = 12825000 \text{ J} = 12/825 \text{ J}$$

$$W' = \frac{1}{2} C' V'^2 = \frac{1}{2} \times 15 \times (900)^2 = 6075000 \text{ J} = 6/075 \text{ J}$$

وقتی خازن ها را پس از شارژ به هم وصل می کنیم مقداری بار بین آن ها جابه جا می شود که حرکت آن ها شتاب دار است و می دانیم وقتی بارهای الکتریکی با شتاب حرکت کنند موج الکترومغناطیس تابش می کنند به همین دلیل خازن ها بخشی از انرژی خود را به شکل تابش الکترومغناطیس از دست می دهند.
اگر برای اتصال خازن ها به هم از سیم های رابط با مقاومت استفاده کنیم بخشی از انرژی هم به صورت گرما به محیط داده می شود.

$$C = 12 \mu\text{F} \quad U = \frac{q^2}{2C}$$

۱۵-

$$\Delta U = 8 \text{ J}$$

$$\Delta U = \frac{(q + \Delta q)^2}{2C} - \frac{q^2}{2C}$$

$$\Delta q = +3 \text{ mC} = 3 \times 10^{-3} \text{ C}$$

$$8 \text{ J} = \frac{(q + 3 \times 10^{-3})^2 - q^2}{2 \times 12 \times 10^{-6}}$$

$$q = 32 \times 10^{-3} \text{ C} = 32 \text{ mC}$$

۱۶- الف) خازن های $1 \mu\text{F}$ و $3 \mu\text{F}$ با هم موازی اند که ظرفیت معادل آن ها $4 \mu\text{F}$ است. که با دو خازن

۸ میکرو فارادی متوالی اند :

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \Rightarrow C_T = 2 \mu\text{F}$$

(ب)

$$q_T = C_T V_T = 2 \times 10 = 20 \mu\text{C}$$

می‌دانیم بار الکتریکی خازن‌های متوالی یکسان است پس بار خازن‌های ۸ میکروفارادی هر کدام $20 \mu C$ و اختلاف پتانسیل دو سر هر کدام $V = \frac{20}{8} = 2.5 \text{ V}$ است. مجموع بار در خازن‌های $1 \mu F$ و $3 \mu F$ (که معادل آن‌ها $4 \mu F$ است) نیز $20 \mu C$ است. می‌دانیم اختلاف پتانسیل دو سر خازن‌های موازی یکسان است که با معلوم بودن ظرفیت معادل و بار کل آن‌ها قابل محاسبه است.

$$V = \frac{q}{C} = \frac{20}{4} = 5 \text{ V}$$

$$V_1 = V_2 \Rightarrow \left. \begin{aligned} \frac{q_1}{C_1} &= \frac{q_2}{C_2} \Rightarrow \frac{q_1}{1} = \frac{q_2}{3} \\ q_1 + q_2 &= 20 \end{aligned} \right\} \rightarrow q_1 = 5 \mu C, q_2 = 15 \mu C$$

۱۷- الف) وقتی کلید S باز باشد خازن $9 \mu F$ روی شاخه‌ی اصلی است و با مجموعه‌ی خازن‌های دیگر به طور متوالی.

مجموعه‌ی خازن‌های دیگر روی دو شاخه‌ی موازی قرار دارند. یک شاخه شامل دو خازن متوالی $12 \mu F$ و $6 \mu F$ ، و در شاخه‌ی دیگر خازن $3 \mu F$ به طور متوالی با مجموعه‌ی دو شاخه‌ی $2 \mu F$ و $4 \mu F$ (که با هم موازی‌اند) قرار دارد. ابتدا از دو شاخه‌ی $2 \mu F$ و $4 \mu F$ شروع می‌کنیم.

$$2 + 4 = 6$$

$$\frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} \rightarrow C_1 = 2 \mu F$$

اگر معادل خازن‌های $12 \mu F$ و $6 \mu F$ را نیز با C_1 نشان دهیم داریم:

$$C_2 = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4 \mu F$$

$$C_1 + C_2 = 2 + 4 = 6 \mu F$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{6} + \frac{1}{9} = \frac{3+2}{18} = \frac{5}{18} \rightarrow C_T = \frac{18}{5} = 3.6 \mu F$$

$$U_1 = \frac{1}{2} C_T V^2 = \frac{1}{2} \times 3.6 \times (100)^2 = 1.8 \times 10^4 \text{ J}$$

ب) اگر کلید S بسته شود خازن $9 \mu F$ از مدار حذف می‌شود و در این حالت ظرفیت معادل مدار $6 \mu F$ است.

$$C_T = 6 \mu F$$

$$U_2 = \frac{1}{2} \times 6 \times (100)^2 = 3 \times 10^4 \text{ J}$$