بسمه تعالی

جزوه کمک آموزشی

فیزیک ۲

مناسب دانش آموزان یازدهم رشته ریاضی و تجربی

فصل اول – الکتریسیته ساکن

محتوای جزوه:

ارائه و آموزش مطالب کتاب به زبان ساده و پاسخگویی تمامی مسائل و سوالات درسی

تهیه شده توسط :

امین گرمرودی – دبیر فیزیک (کارشناس ارشد فیزیک ذرات بنیادی)

(نسخه ۱)

Garmroudi.ir

الکتریسیته: واژه ای یونانی است و از کلمه الکترون گرفته شده است که به معنای کهربا می باشد.

الکتریسیته ساکن: مباحثی از قبیل مطالعه بارهای ساکن ، چگونگی ایجاد بار الکتریکی در یک جسم ، نیروی بین دو بار الکتریکی ، میدان الکتریکی ، انرژی پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی ، توزیع بار در اجسام رسانا و کاربردهای خازن در حیطه الکتریسیته ساکن بررسی می شود.

بار الکتریکی : دو نوع بار الکتریکی در طبیعت وجود دارد ، بار الکتریکی مثبت و بار الکتریکی منفی .

توجه! هنگامی که دو جسم را به هم مالش دهیم یکی از آن ها بار منفی و دیگری بار مثبت به خود می گیرد.

ساختار اتم: اتم دارای یک هسته در مرکز بوده و الکترون ها در اطراف هسته می چرخند، داخل هسته ذرات پروتون و نوترون وجود دارد. بار الکترون منفی و بار پروتون مثبت است اما نوترون از لحاظ الکتریکی خنثی می باشد.

نکته: وقتی میله ای شیشه ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم ، میله شیشه ای بار مثبت به خود می گیرد.

وقتی میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم ، میله پلاستیکی بار منفی به خود می گیرد.

الکتروسکوپ : وسیله ای است که به کمک آن می توانیم مقدار و نوع بار الکتریکی اجسام را اندازه بگیریم.

الف) تصویری از یک الکتروسکوپ درجه‌بندی‌شدهٔ بدون بار

ب) جسمی باردار را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک کرده یا تماس داده‌ایم.

توجه! اگر یک جسم را نزدیک کلاهک الکتروسکوپ بدون بار بگیریم ، ورقه های الکتروسکوپ از هم باز می شوند.

تعیین نوع بار یک جسم به کمک الکتروسکوپ: اگر به یک الکتروسکوپ بار مشخصی بدهیم ورقه هایش باز می شود. حال اگر جسم بارداری را به الکتروسکوپ نزدیک کنیم اگر ورقه ها بیشتر باز شوند آنگاه بار الکتروسکوپ با بار جسم همسان است و اگر ورقه ها به هم نزدیک شوند بار الکتروسکوپ با بار جسم مخالف است.

به عنوان مثال : اگر به الکتروسکوپ بار مثبت بدهیم ورقه ها باز می شوند حال اگر جسمی را نزدیک الکتروسکوپ بگیریم و ورقه ها به هم نزدیک شوند بار آن جسم مخالف بار الکتروسکوپ است.(یعنی منفی است)

یکای بار الکتریکی : یکای بار الکتریکی در SI (سیستم بین المللی) کولن است و با نماد C نشان می دهند.

توجه ! یکای کولن یکای بسیار بزرگی است برای همین در بیشتر مواقع از یکاهای کوچکتر میکرو کولن (μC) و نانو کولن(nC) استفاده می شود..

نکته: بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می کنند و بارهای همنام یکدیگر را دفع می کنند.. یعنی دو بار منفی یکدیگر را دفع می کنند ، دو بار مثبت یکدیگر را دفع می کنند اما یک بار منفی بار مثبت را جذب می کند.

پرسش ۱ـ۱

چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می‌ماند؟

پاسخ پرسش ۱-۱ : زیرا در اثر این کار روکش پلاستیکی بار منفی به خود می گیرد و ظرف مقداری بار مثبت و می دانیم بارهای مثبت و منفی یکدیگر را جذب می کنند..

چگونه یک جسم باردار می شود: در حالت عادی تعداد بارهای مثبت و منفی در اجسام یکسان است ، اما اگر جسم الکترون از دست بدهد یا الکترون دریافت کند آنگاه جسم باردار خواهد بود.

نکته : هنگام باردار شدن اجسام فقط الکترون ها جابجا می شوند و پروتون ها در هسته ثابت می مانند و جابجا شدن پروتون ها (بارهای مثبت) ممکن نیست.

توجه! اندازه بار الکترون و پروتون یکسان است (البته یکی منفی و یکی مثبت) و مقدار آن برابر است با :

$$e = ۱/۶۰۲۱۷۶۵۳ \times ۱۰^{-۱۹} C \approx ۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

این مقدار را بار بنیادی e می گویند.

سری تریبوالکتریک: اگر دو جسم به یکدیگر مالش داده شوند جسمی که الکترون بگیرد بار منفی و جسمی که الکترون از دست بدهد دارای بار مثبت می شود. اما از کجا بدانیم که کدام جسم الکترون می گیرد و کدام الکترون از دست می دهد؟ به دست آوردن یا از دست دادن الکترون توسط دو جسم هنگام مالش با جدولی موسوم به سری تریبوالکتریک مشخص می شود:

جدول ۱-۱ سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک)[1]

انتهای مثبت سری	انتهای منفی سری
موی انسان	تفلون
شیشه	لاستیک
نایلون	پلاستیک، پلی اتیلن
پشم	برنج، نقره
موی گربه	کهربا
سرب	پارچهٔ کتان
ابریشم	چوب
آلومینیم	کاغذ
پوست انسان	

در این جدول هرچه به انتهای منفی سری نزدیک شویم الکترون خواهی بیشتر می شود. به طور مثال اگر پشم با آلومینیوم مالش داده شود ، پشم بار مثبت و آلومینیوم بار منفی به خود می گیرد. یا اگر کاغذ با ابریشم مالش داده شود کاغذ منفی و ابریشم مثبت می شود.

دو اصل بار الکتریکی :

اصل ۱ : پایستگی بار: در یک سامانه منزوی (سامانه ای که با محیط بیرون از خودش ارتباط ندارد) جمع جبری بارهای الکتریکی ثابت می ماند ، یعنی اگر جسمی مقداری الکترون از دست بدهد جسم دیگری در آن سامانه همانقدر الکترون به دست می آورند.

اصل ۲ : کوانتیده بودن بار : به این معناست که اجسام هر مقدار بار (هر عددی) را نمی توانند داشته باشند و همواره مقدار بار الکتریکی ایجاد در اجسام مضرب صحیحی از بار بنیادی خواهد بود یعنی:

$$q = \pm ne \ ، \ n = ۰,۱,۲,...$$

q : بار الکتریکی ایجاد شده -- n : تعداد الکترون دریافتی یا از دست داده (اگر الکترون بگیرد منفی و اگر الکترون از دست بدهد مثبت)

قانون کولن : نیرویی که بین دوبار الکتریکی ثابت ایجاد می شود را نیروی الکتروستاتیکی می نامند اندازه این نیرو توسط قانون کولن به صورت زیر بیان می شود:

اندازه نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه ای که در راستای خط واصل آن ها اثر می کند ، با حاصل ضرب بزرگی (اندازه) آن ها متناسب است و با مربع فاصله بین آن ها نسبت وارون دارد ، بنابراین ، اندازه این نیرو برابر است با :

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

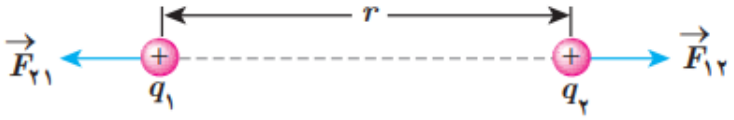
در این رابطه q_1 و q_2 بارهای الکتریکی دو بار نقطه ای است و بر حسب کولن (C) می باشند ، r فاصله دو بار از همدیگر بوده و بر حسب متر (m) بوده و F بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر بار بر حسب نیوتون (N) است.

در این رابطه k ثابت الکترواستاتیکی (ثابت کولن) می باشد، عددی ثابت بوده که مقدار آن به صورت زیر است :

$$k = ۸/۹۸۷۵۵۱۷۹ \times ۱۰^۹ \text{N.m}^2/\text{C}^2 \approx ۹/۰ \times ۱۰^۹ \text{N.m}^2/\text{C}^2$$

به شکل زیر توجه کنید :

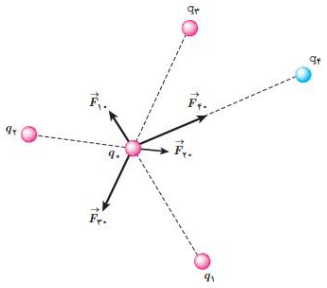
الف) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی همنام، دافعه است.



دو بار همنام هستند که به هم نیروی دافعه وارد می کنند ، نیرویی که بار q_1 به بار q_2 وارد می کند را با نماد $\vec{F}_{12}$ و ، نیرویی که بار q_2 به بار q_1 وارد می کند را با نماد $\vec{F}_{21}$ نمایش می دهیم.

نکته : مقادیر $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{21}$ از نظر جهت همواره مخالف هم هستند اما از نظر اندازه یکسان می باشند ، به عبارتی مقداری که بار q_1 به بار q_2 نیرو وارد می کند ، به همان اندازه هم بار q_2 به بار q_1 نیرو وارد می کند و فرقی ندارد که یک بار بزرگتر باشد یا کوچکتر.

برایند نیروهای الکتریکی : اگر بیش از یک بار اطراف یک ذره باردار q قرار بگیرد نیروی خالص وارد بر آن بار برابر با جمع برداری (برایند) تمام نیروهایی است که از طرف بارهای اطراف به آن بار q وارد می شود.



نیروی برایند وارد بر بار q_0 در اینجا برابر است با

$$\vec{F}_{T0} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \vec{F}_{30} + \vec{F}_{40}$$

میدان الکتریکی : خاصیتی از فضا است که توسط بارهای الکتریکی ایجاد می شود و اگر بار دیگری در آن فضا قرار گیرد به آن نیرو وارد می شود.

توجه! پس به دلیل ایجاد میدان الکتریکی است که بارهای الکتریکی به یکدیگر نیرو وارد می کنند.

توجه! میدان الکتریکی کمیتی برداری بوده و آن را با نماد $\vec{E}$ نشان می دهند و یکای آن "نیوتون بر کولن" N/C است.

تعیین جهت میدان الکتریکی: بار مثبت کوچک موسوم به بار آزمون (q_0) را در نقطه مورد نظر قرار می دهیم جهت نیروی وارد بر بار آزمون جهت میدان الکتریکی را در آن نقطه نشان می دهد.

فرمول میدان الکتریکی: برابر است با

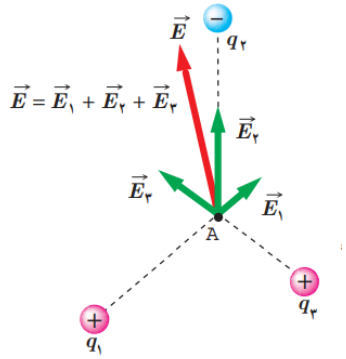
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

میدان الکتریکی ناشی از یک بار ذره ای: میدان الکتریکی که در اطراف یک بار نقطه ای کوچک ایجاد می شود از رابطه زیر بدست می آید :

$$\vec{E} = k\frac{|q|}{r^2}$$

که در آن q اندازه بار الکتریکی نقطه ای است.

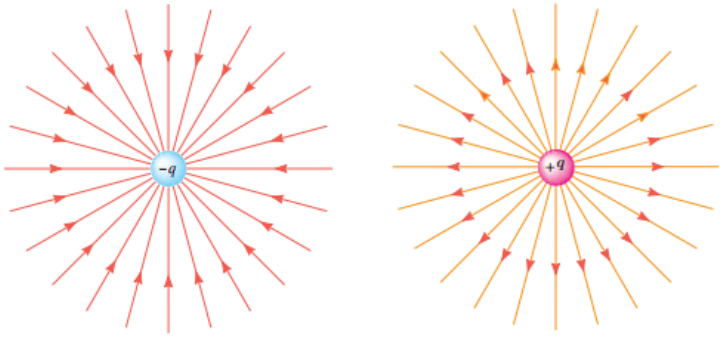
برایند میدان های الکتریکی : اگر بخواهیم میدان الکتریکی ناشی از چندین ذره باردار را در یک نقطه بدست آوریم، باید مقدار میدان الکتریکی ناشی از تمام بارها را بدست آورده و به صورت برداری با هم جمع کنیم:



میدان الکتریکی $\vec{E}$ در نقطهٔ A، جمع برداری میدان‌های $\vec{E}_1$، $\vec{E}_2$ و $\vec{E}_3$ در این نقطه است.

خطوط میدان الکتریکی : برای مجسم کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار از خط های جهت داری موسوم به خطوط میدان الکتریکی استفاده می کنیم.

خطوط میدان الکتریکی در اطراف بار نقطه ای به شکل زیر است :

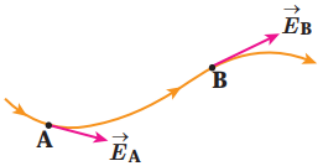


الف) خطوط میدان الکتریکی در جهتِ دور شدن از ذرهٔ باردار $+q$ است.

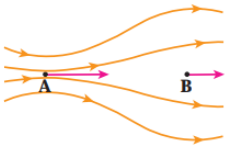
ب) خطوط میدان الکتریکی به سمت ذرهٔ باردار $-q$ است.

قواعد رسم خطوط میدان الکتریکی :

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

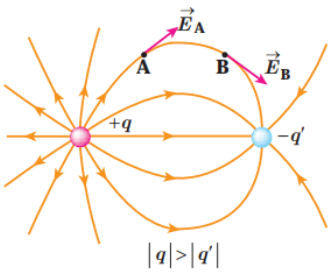


- میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان دهنده اندازه میدان در آن ناحیه است؛ هرجا خطوط میدان متراکم تر باشد، اندازه میدان بیشتر است.



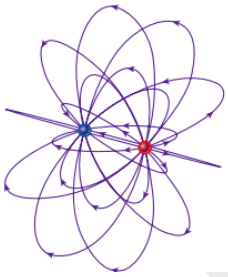
اطراف نقطهٔ A خطوط میدان متراکم‌تر از اطراف نقطهٔ B است. بنابراین، بزرگی میدان در نقطهٔ A بیشتر از نقطهٔ B است.

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

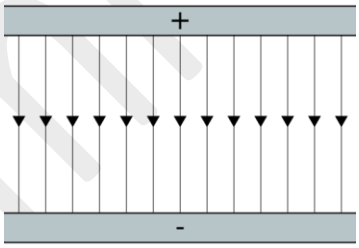


- خطوط میدان برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی کنند ، یعنی یعنی از هر نقطه فضا فقط یک خط میدان الکتریکی میگذرد.

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



میدان الکتریکی یکنواخت : به میدان الکتریکی که در آن بردار میدان در تمام نقاط بین دو صفحه هم اندازه و هم جهت باشد میدان الکتریکی یکنواخت می گویند.



نیروی الکتریکی وارد بر بار الکتریکی در یک میدان الکتریکی: اگر یک ذره باردار q داخل میدان الکتریکی $\vec{E}$ قرار گیرد نیرویی به آن وارد می شود که از رابطه زیر بدست می آید :

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

نکته: نیروی وارد بر بار مثبت (+q) هم جهت با خطوط میدان الکتریکی می باشد ، و نیروی وارد بر بار منفی (-q) خلاف جهت خطوط میدان الکتریکی است.

انرژی پتانسیل الکتریکی : اگر جسم بارداری داخل یک میدان الکتریکی قرار گیرد انرژی ای در آن ذخیره می گردد که به آن انرژی پتانسیل الکتریکی می گویند.

تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی : اگر بار الکتریکی q در داخل میدان $\vec{E}$ به اندازه d جابجا شود ، انرژی پتانسیل الکتریکی اش تغییر می کند که مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید :

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

که در آن θ زاویه بین نیروی وارد شده از طرف میدان الکتریکی و d جابجایی است .

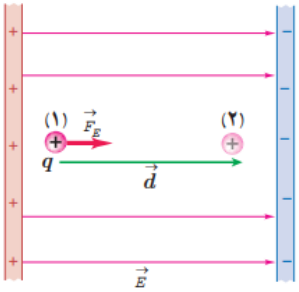
توجه! یکای تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی J ژول است.

پتانسیل الکتریکی : نسبت انرژی پتانسیل الکتریکی U_E به بار الکتریکی ذره مورد نظر q را پتانسیل الکتریکی آن بار می گویند و از رابطه زیر بدست می آید:

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

اختلاف پتانسیل الکتریکی : اگر بار الکتریکی در میدان الکتریکی حرکت کند آنگاه ، نسبت تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی ΔU_E به بار ذره q را اختلافت پتانسیل الکتریکی آن ذره می گویند که از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta V = V_۲ - V_۱ = \frac{\Delta U_E}{q} \quad \rightarrow \quad \Delta V = -Ed\cos\theta$$



توجه! نسبت اختلاف پتانسیل الکتریکی مستقل از اندازه و نوع بار q است.

توجه! پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی کمیت هایی نرده ای هستند و یکای آن ها "ژول بر کولن" $\left(J/C\right)$ می باشد که به اختصار آن را "ولت" (V) می نامند.

نکته : اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر با پتانسیل پایانه مثبت منهای پتانسیل پایانه منفی است:

$$\Delta V_{\text{باتری}} = V_+ - V_-$$

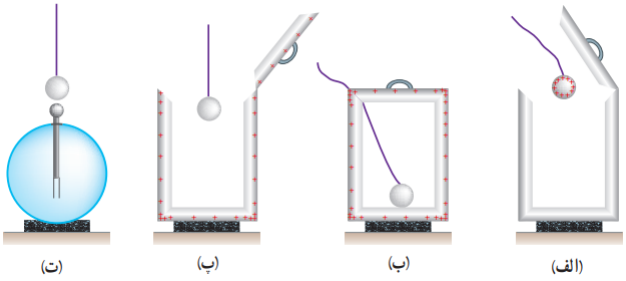
مثلا وقتی می گوییم اختلاف پتانسیل یک باتری ۱۲ ولت است یعنی پتانسیل پایانه مثبت آن ۱۲ ولت بیشتر از پتانسیل پایانه منفی آن است.

نقطه زمین: معمولا در محاسبات مهندسی پتانسیل قسمتی از مدار یا پتانسیل سطح زمین را صفر در نظر می گیرند و به آن نقطه اصلاحا نقطه زمین میگویند و پتانسیل نقطه های دیگر را نسبت به آن می سنجند. نماد پتانسیل زمین را در مدارهای الکتریکی به صورت ⏚ نمایش می دهند.

رابطه اختلاف پتانسیل دو نقطه و اندازه میدان الکتریکی یکنواخت: اندازه اختلاف پتانسیل الکتریکی در یک جابجایی داخل میدان الکتریکی یکنواخت از طریق رابطه $|\Delta V| = Ed$ بدست می آید.

توزیع بار الکتریکی در اجسام رسانا:

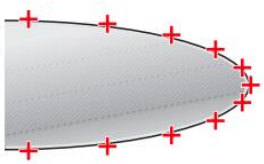
آزمایش فاراده: ظرف رسانایی با درپوش فلزی که روی پایه عایق قرار دارد را در نظر بگیرید. در ابتدا ظرف بدون بار است ، گلوله بارداری را به وسیله نخ عایق درونش می اندازیم ، سپس درب ظرف را می بندیم و دوباره باز کرده و گوی را خارج می کنیم، هنگامی که گوی را به الکتروسکوپ نزدیک می کنیم ورقه های الکتروسکوپ از هم باز نمی شوند. در این آزمایش مشاهده کردیم هنگامی که درب ظرف را ببندیم بار گلوله صفر می شود پس نتیجه می گیریم داخل ظرف بدون بار می شود.



نتیجه آزمایش فاراده: بار اضافی داده شده به یک رسانا روی سطح خارجی آن توزیع میشود.

نکته: بار الکتریکی همواره در سطح خارجی رسانا توزیع می شود و به گونه ای توزیع و پخش می شود که میدان الکتریکی داخل رسانا صفر گردد.

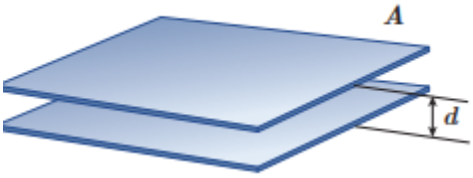
نکته: تراکم بار روی اجسام رسانا در نقاط تیز بیشتر می شود (شکل زیر)



تراکم بار در نقاط تیزتر سطح یک جسم رسانای باردار بیشتر است.

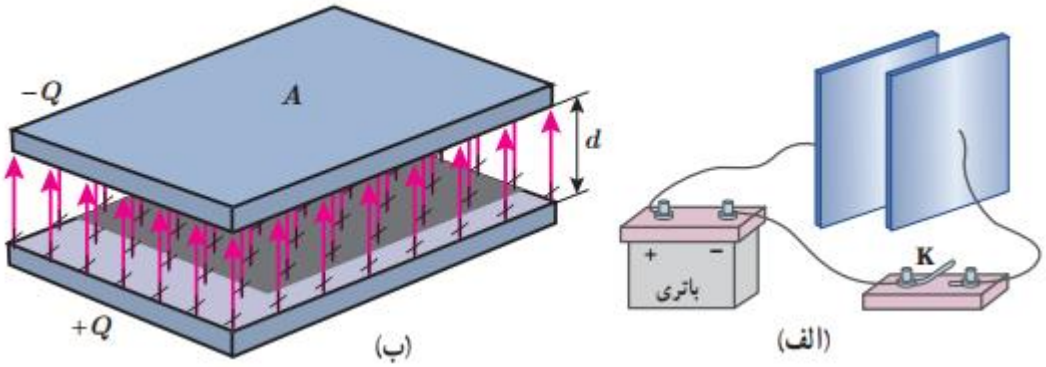
خازن: خازن وسیلهای الکتریکی است که می توانند بار و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند. از انواع خازن می توان به خازن های ثابت ، متغیر ، سرامیکی ، ورقه ای ، کاغذی ، پلاستیکی ، تخت ، استوانه ای و .... نام برد.

خازن تخت: این نوع خازن شامل دو صفحه رسانای موازی با مساحت A است که به فاصله d از هم قرار گرفته اند.



توجه! برای نشان دادن خازن در مدار از نماد استفاده می کنیم.

باردار (شارژ) کردن خازن: اگر دو صفحه خازن را به دو سر باتری وصل کنیم صفحات خازن دارای بارهای مخالف هم می شوند . به صورت شکل زیر :



ظرفیت خازن: هر خازن متناسب با اختلاف پتانسیلی که به آن وصل می شود بار الکتریکی در خود ذخیره می کند ، نسب بار الکتریکی ذخیره شده به اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن را ظرفیت خازن می گویند و از رابطه زیر بدست می آید:

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

توجه! ظرفیت خازن را با نماد C نشان می دهند ، با توجه به این اینکه یکای بار کولن و یکای اختلاف پتانسیل ولت است ، یکای ظرفیت خازن C/V (کولن بر ولت) می شود که به اختصار آن را F فاراد می نامیم.

نکته: فاراد F یکای بسیار بزرگی است بنابراین اکثرا از یکاهای کوچکتر میکروفاراد $۱۰^{-۶}F$، پیکوفاراد $۱۰^{-۱۲}F$ و .... استفاده می شود.

نکته: ظرفیت خازن فقط به ساختمان خازن و جنس صفحه های آن بستگی دارد .

ظرفیت خازن با توجه به ساختار آن : اگر خازنی با صفحه هایی به مساحت A داشته باشیم که به فاصله d از هم قرار داشته باشند ، ظرفیت خازن از رابطه زیر بدست می آید:

$$C_{\circ}=\varepsilon_{\circ}\frac{A}{d}$$

در این رابطه $\varepsilon_{\circ}$ ضریب گذردهی خلا بوده و مقدار آن برابر است با :

$\varepsilon_{\circ}=۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\ F/m$

نکته: اگر میان صفحات خازن را با ماده عایقی (که به آن دی الکتریک می گویند) پر کنیم آنگاه ظرفیت خازن به صورت رابطه زیر افزایش می یابد.

$$C=\kappa C_{\circ}$$

κ : ثابت دی الکتریک ماده ای است که میان خازن قرار می گیرد.

در جدول زیر ثابت دی الکتریک برخی از مواد ذکر شده است :

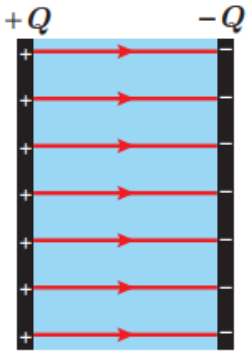
ماده دی الکتریک	ثابت دی الکتریک
هوای ۱atm	۱/۰۰۰۶
تفلون	۲/۱
پارافین	۲/۲
پلی استیرن	۲/۶
میلار	۳/۱
بی وی سی	۳/۴
کاغذ	۳/۵
کوارتز	۴/۳
شیشهٔ پیرکس	۵
میکا	۷
آب خالص	۸۰
تیتانید استرانسیوم	۳۱۰

فروریزش الکتریکی: اگر اختلاف پتانسیل دو صفحه یک خازن را به اندازه کافی زیاد کنیم تعدادی از الکترون های اتم های ماده دی الکتریک ، توسط میدان الکتریکی ایجاد شده بین دو صفحه، کنده میشوند و مسیرهایی رسانا درون دی الکتریک ایجاد میشود که سبب تخلیه خازن میگردد. به این پدیده فروریزش الکتریکی ماده دی الکتریک می گویند.

انرژی خازن: انرژی ذخیره شده در خازن از رابطه زیر بدست می آید :

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

Q : بار ذخیره شده در خازن ، C: ظرفیت خازن ، V : اختلاف پتانسیل خازن



انرژی در میدان الکتریکی بین صفحات خازن ذخیره می‌شود.