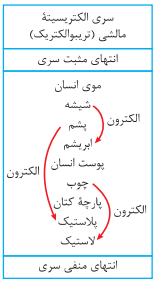
فصل یک: الکتریسیته ساکن

روش‌های باردارکردن اجسام

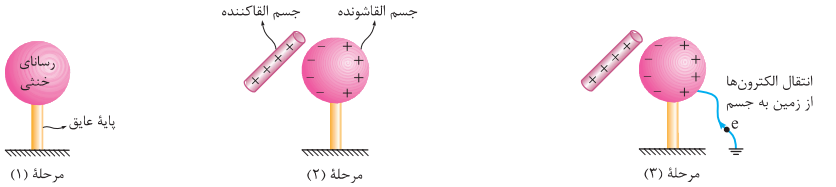
۱ مالش

- به دلیل انتقال الکترون (نه پروتون) از یک جسم به جسم دیگر
- مناسب نارساناها
- مواد نزدیک به انتهای مثبت ← (انتقال الکترون) مواد نزدیک به انتهای منفی



۲ القای الکتریکی

- ایجاد بار خالص در یک رسانای خنثی بدون تماس

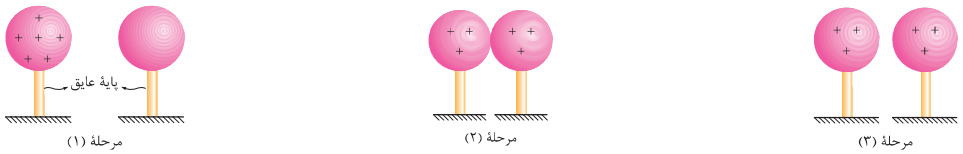


ایجاد بار خالص در جسم القاشونده — اتصال به زمین جسم القاشونده در حضور جسم القاکننده — نزدیک کردن جسم القاکننده به جسم القاشونده (رسانا)

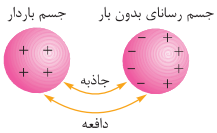
تذکر ابتدا باید اتصال به زمین قطع شود، سپس جسم القاکننده دور شود.

۳ تماس

- ایجاد بار خالص در یک رسانای خنثی به کمک تماس با یک رسانای باردار



- جسم باردار، جسم رسانای بدون بار را جذب می‌کند.

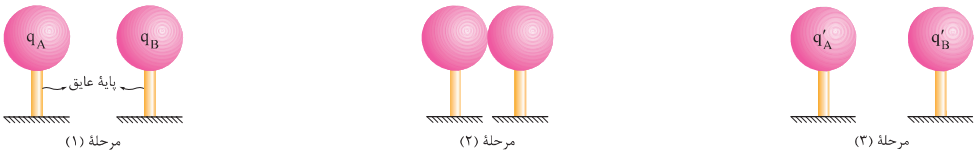


دو جسم یکدیگر را جذب می‌کنند ← دافعه < جاذبه

دو اصل مهم برای بار الکتریکی

اصل پایستگی بار

جمع جبری بارهای خالص دو (یا چند) جسم قبل از تماس با یکدیگر برابر با جمع جبری بارهای خالص آن‌ها بعد از تماس است.



$$q_A + q_B = q'_A + q'_B$$

تذکر اگر دو کره هم‌اندازه باشند بعد از تماس بارشان یکسان می‌شود.

اصل کوانتیده‌بودن بار

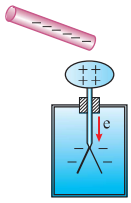
همواره بار الکتریکی یک جسم، مضرب صحیحی از بار الکتریکی پایه (e) است:

$$q = \pm ne, n = 0,1,2,\dots$$

@DaneshSad

الکتروسکوپ و کاربردهای آن

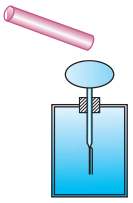
۱ تشخیص باردار بودن یک جسم



نزدیک‌کردن جسم باردار به کلاهک الکتروسکوپ خنثی

↓

فاصله‌گرفتن تیغه‌ها از یکدیگر

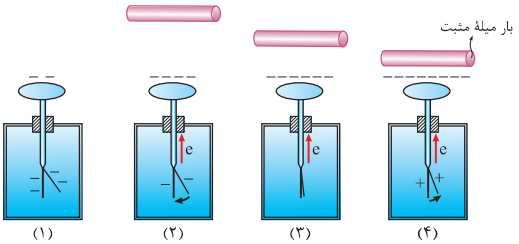


نزدیک‌کردن جسم بدون بار به کلاهک الکتروسکوپ خنثی

↓

تیغه‌ها به صورت چسبیده به هم

۲ تشخیص نوع بار جسم

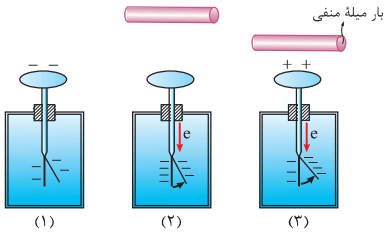


جسمی با بار نامعلوم را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ بارداری (که نوع بار آن را می‌دانیم) نزدیک می‌کنیم. فاصلهٔ تیغه‌ها ابتدا به تدریج کاهش یافت.

↓

بار جسم با بار الکتروسکوپ ناهمنام

در این حالت ممکن است با نزدیک‌ترکردن جسم به کلاهک، تیغه‌ها به هم بچسبند و سپس از هم فاصله بگیرند.

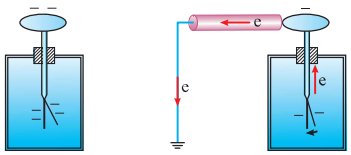


جسمی با بار نامعلوم را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ بارداری (که نوع بار آن را می‌دانیم) نزدیک می‌کنیم. فاصلهٔ تیغه‌ها از همان ابتدا به تدریج افزایش یافت.

↓

بار جسم با بار الکتروسکوپ همنام

۳ تشخیص رسانا و نارسانا بودن جسم



جسم خنثایی را از یک طرف به کلاهک الکتروسکوپ باردار تماس داده و از طرف دیگر به زمین متصل می‌کنیم.

فاصلهٔ بین تیغه‌ها
- کاهش ← جسم: رسانا
- تغییر محسوسی نکرد ← جسم: نارسانا

نیروی الکتریکی

قانون کولن

فرمول:

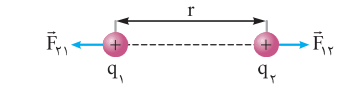
$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

- F: نیروی الکتریکی وارد بر هر بار از طرف بار دیگر برحسب نیوتون (N)
- q_1: اندازهٔ بار q_1 برحسب کولن (C)
- q_2: اندازهٔ بار q_2 برحسب کولن (C)
- r: فاصلهٔ بین دو بار برحسب متر (m)

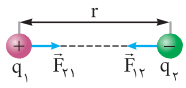
$$(k = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{c^2})$$

↓

ثابت کولن



الف) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی همنام: دافعه



ب) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ناهمنام: جاذبه

$$\begin{cases} F_{12} = F_{21} \\ \vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \end{cases}$$

@DaneshSad

- تکنیک محاسباتی ۹۰

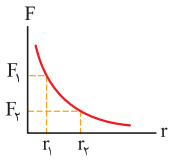
$$F = 9\circ \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

(F: برحسب نیوتون (N)، q_1 و q_2: برحسب میکروکولن (μC)، r: برحسب سانتی‌متر (cm))

- شکل نسبتی قانون کولن

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q_1'||q_2'|}{|q_1||q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2$$

- نمودار بزرگی نیروی الکتریکی بین دو بار معین برحسب فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر



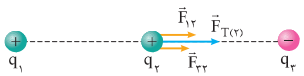
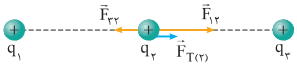
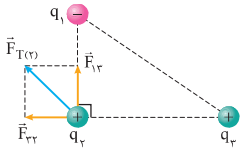
$$\frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

- ثابت کولن برحسب ضریب گذردهی الکتریکی خلأ $(\varepsilon_\circ)$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ} \qquad \varepsilon_\circ = 8/85 \times 10^{-12}\ \frac{C^2}{N.m^2}$$

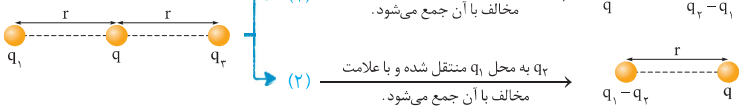
- اگر مجموع دو بار هم‌نام ثابت باشد، اندازه نیرویی که به هم وارد می‌کنند وقتی بیشینه است که دو بار هم‌اندازه باشند.

برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی

وضعیت نیروها نسبت به یکدیگر	شکل	بردار نیروی برایند	اندازهٔ نیروی برایند
هم‌جهت		$\vec{F}_{T(2)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32}$	$F_{T(2)} = F_{12} + F_{32}$
در خلاف جهت		$\vec{F}_{T(2)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32}$	$F_{T(2)} = \lvert F_{12} - F_{32} \rvert$
عمود		$\vec{F}_{T(2)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32}$	$F_{T12} = \sqrt{F_{12}^2 + F_{32}^2}$

تکنیک تقارن:

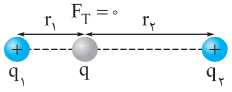
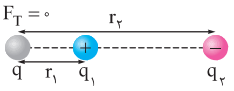
برای محاسبهٔ نیروی برایند وارد بر q که در فاصلهٔ یکسانی از q_1 و q_2 قرار دارد.



محاسبهٔ نیروی برایند وارد بر q از طرف $q_2 - q_1$:

محاسبهٔ نیروی برایند وارد بر q از طرف $q_1 - q_2$:

نقطهٔ صفرشدن نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q:

علامت و اندازهٔ بارهای q_1 و q_2	محل قرارگیری بار q	شکل	رابطه
q_1 و q_2 هم‌نام و $\lvert q_1 \rvert < \lvert q_2 \rvert$	روی خط واصل و بین دو بار و نزدیک بار با اندازهٔ کم‌تر		$\frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$
q_1 و q_2 ناهم‌نام و $\lvert q_1 \rvert < \lvert q_2 \rvert$	روی خط واصل و خارج فاصلهٔ بین دو بار و نزدیک بار با اندازهٔ کم‌تر		$\frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$

@DaneshSad

میدان الکتریکی

میدان الکتریکی در محل بار q

فرمول:

$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ ← میدان الکتریکی در محل بار q ← نیروی الکتریکی خالص وارد بر q / بار q (همراه با علامت)

$q > 0$	$\vec{F}$ و $\vec{E}$ هم‌جهت
$q < 0$	$\vec{F}$ و $\vec{E}$ در خلاف جهت

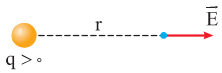
میدان الکتریکی حاصل از ذرهٔ باردار q

اندازه:

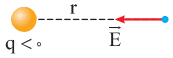
$E = k\frac{|q|}{r^2}$ ← اندازهٔ میدان حاصل از بار q برحسب نیوتون بر کولن (N / C) ← اندازهٔ بار تولیدکنندهٔ میدان برحسب کولن (C) / فاصله از بار q برحسب متر (m)

جهت:

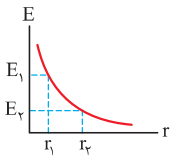
۱) اگر بار تولیدکنندهٔ میدان (q) مثبت باشد ← میدان در جهت دورشدن از بار q



۲) اگر بار تولیدکنندهٔ میدان (q) منفی باشد ← میدان به سوی بار q

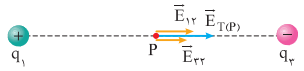
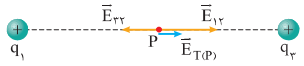
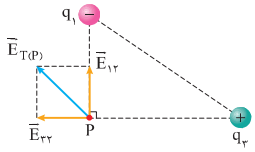


- نسبت اندازهٔ میدان الکتریکی در فاصله‌های r_1 و r_2 (شکل نسبتی رابطهٔ میدان): $\frac{E_2}{E_1} = (\frac{r_1}{r_2})^2$
- نمودار اندازهٔ میدان الکتریکی حاصل از یک بار معین برحسب فاصله از آن:



- شعلهٔ شمع بار الکتریکی مثبت دارد.

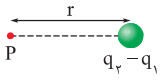
برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی q

وضعیت میدان‌ها نسبت به یکدیگر	شکل	بردار نیروی برایند	اندازهٔ نیروی برایند
هم‌جهت		$\vec{E}_{T(P)} = \vec{E}_{1۲} + \vec{E}_{۳۲}$	$E_{T(P)} = E_{1۲} + E_{۳۲}$
در خلاف جهت		$\vec{E}_{T(P)} = \vec{E}_{1۲} + \vec{E}_{۳۲}$	$E_{T(P)} = \lvert E_{1۲} - E_{۳۲} \rvert$
عمود		$\vec{E}_{T(P)} = \vec{E}_{1۲} + \vec{E}_{۳۲}$	$E_{T(P)} = \sqrt{E_{1۲}^2 + E_{۳۲}^2}$

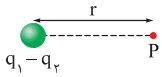
تکنیک تقارن:

برای محاسبهٔ نیروی برایند وارد بر q که در فاصلهٔ یکسانی از q_1 و q_2 قرار دارد.

محاسبهٔ میدان برایند حاصل از $q_2 - q_1$ در نقطهٔ p

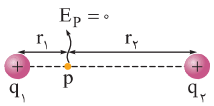


محاسبهٔ میدان برایند حاصل از $q_1 - q_2$ در نقطهٔ p

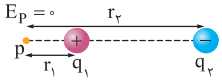




نقطهٔ صفرشدن میدان الکتریکی

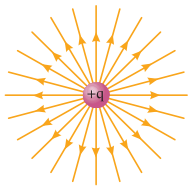
علامت و اندازهٔ بارهای q_1 و q_2	نقطهٔ صفرشدن میدان	شکل	رابطه
q_1 و q_2 همنام و $\lvert q_1 \rvert < \lvert q_2 \rvert$	روی خط واصل و بین دو بار و نزدیک بار با اندازهٔ کم‌تر		$\frac{q_1}{q_2} = (\frac{r_1}{r_2})^2$

@DaneshSad

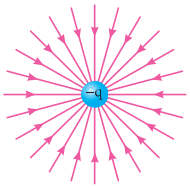
علامت و اندازهٔ بارهای q_1 و q_2	نقطهٔ صفرشدن میدان	شکل	رابطه
q_1 و q_2 ناهمنام و $\lvert q_1\rvert < \lvert q_2\rvert$	روی خط واصل و خارج فاصلهٔ بین دو بار و نزدیک بار با اندازهٔ کم‌تر	$E_P = 0$ 	$\frac{q_1}{q_2} = (\frac{r_2}{r_1})^2$

ویژگی‌های خطوط میدان الکتریکی

۱ در جهت دورشدن از بار مثبت (شکل الف) به سمت بار منفی (شکل ب)

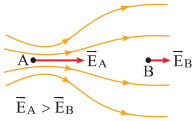


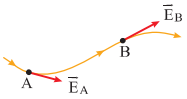
(الف)



(ب)

۲ هر چه تراکم (میزان فشردگی) خطوط میدان بیشتر ← میدان بزرگ‌تر

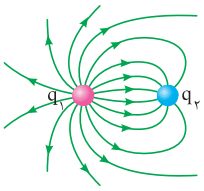




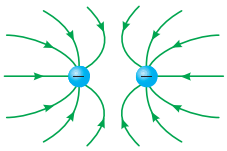
۳ بردار میدان الکتریکی در هر نقطه، مماس بر خط میدان عبوری از آن نقطه و هم‌جهت با آن

۴ خطوط میدان برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند؛ یعنی از هر نقطه از فضا، فقط یک خط میدان می‌گذرد.

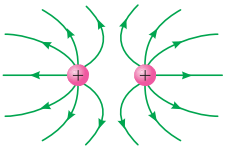
چند شکل مهم دربارهٔ خطوط میدان:



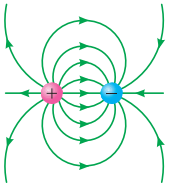
خطوط میدان اطراف دو بار q_1 و q_2 که $\lvert q_1\rvert > \lvert q_2\rvert$



خطوط میدان اطراف دو ذرهٔ با بار هم‌اندازهٔ منفی

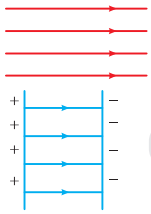


خطوط میدان اطراف دو ذرهٔ با بار هم‌اندازهٔ مثبت



خطوط میدان اطراف دو ذرهٔ با بار هم‌اندازه و ناهم‌نام

میدان الکتریکی یکنواخت



$F = E\lvert q\rvert$

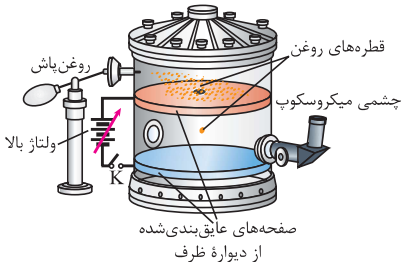
- در تمام نقاط هم‌اندازه و هم‌جهت
- خطوط میدان الکتریکی یکنواخت: راست، موازی، هم‌جهت، هم‌فاصله
- چگونگی ایجاد: دو صفحهٔ بزرگ با بارهای $+q$ و $-q$ در فاصلهٔ کمی از هم
- نیروی وارد بر بار در میدان الکتریکی یکنواخت

آزمایش قطره ـ روغن میلیکان

شرح: با بررسی حرکت قطرهٔ روغن باردارشده، اندازهٔ بار آن محاسبه می‌شود.

نتیجه: بار الکتریکی همواره مضرب صحیحی از بار بنیادی ($e = ۱۰۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$) است.

طرحی از اسباب آزمایش میلیکان:



@DaneshSad

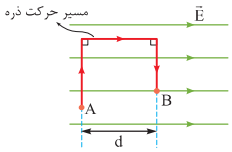
انرژی پتانسیل الکتریکی

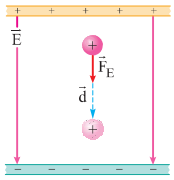
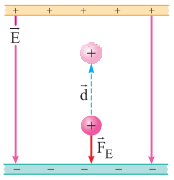
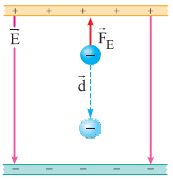
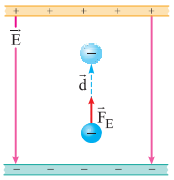
در یک جابه‌جایی معین:

تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار: $W_E = -\Delta U_E$ ← کار نیروی الکتریکی وارد بر بار

مقدار: $|\Delta U_E| = |q|\vec{E}\,d$

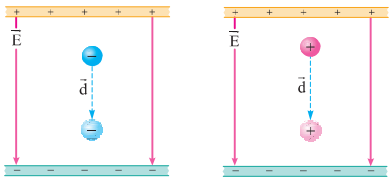
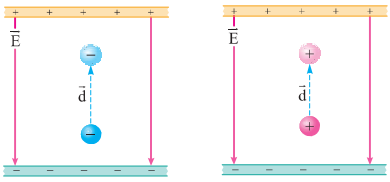
اندازهٔ میدان برحسب نیوتون بر کولن (N/C)، اندازهٔ جابه‌جایی در راستای میدان برحسب متر (m)، اندازهٔ بار برحسب کولن (C)



جابه‌جایی بار مثبت در جهت میدان	جابه‌جایی بار مثبت در خلاف جهت میدان	جابه‌جایی بار منفی در جهت میدان	جابه‌جایی بار منفی در خلاف جهت میدان
			
انرژی پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد.	انرژی پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.	انرژی پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.	انرژی پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد.
جابه‌جایی بار مثبت/ بار منفی در راستای عمود بر میدان ← تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی برابر صفر			

اختلاف پتانسیل الکتریکی

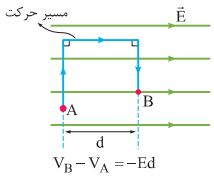
اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه: $\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q}$ (تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار، بار q (همراه با علامت))

جابه‌جایی در جهت میدان	جابه‌جایی در خلاف جهت میدان
	
پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد.	پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.
جابه‌جایی در راستای عمود بر میدان ← تغییر پتانسیل الکتریکی برابر صفر	

وقتی می‌گوییم یک باتری xولتی است، یعنی: $V_{\oplus\text{پایانه}} - V_{\ominus\text{پایانه}} = x$

اتصال به زمین ($V = 0$) ← $V_E = 0$

اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه در میدان الکتریکی یکنواخت E: $\Delta V = \pm E\,d$ (اندازهٔ میدان الکتریکی، حرکت در خلاف جهت میدان، حرکت در جهت میدان، فاصلهٔ دو نقطه در راستای میدان)



$V_B - V_A = -Ed$

اصل پایستگی انرژی مکانیکی برای ذرهٔ بارداری که فقط نیروی الکتریکی به آن وارد می‌شود: $\Delta U_E = -\Delta K$ (تغییر انرژی جنبشی ذره)

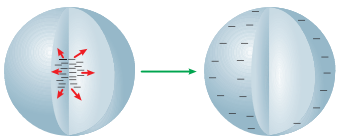
کار انجام‌شده توسط نیروی خارجی: $\Delta K = W_{\text{خارجی}} + W_E \xrightarrow[\Delta K = 0]{\text{تندی در ابتدا و انتهای جابه‌جایی یکسان}} W_{\text{خارجی}} = -W_E \xrightarrow{-W_E = \Delta U_E} W_{\text{خارجی}} = \Delta U_E$

توزیع بار الکتریکی در رسانا

۱ بار الکتریکی داده‌شده به رسانا روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود.

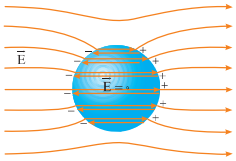
۲ میدان الکتریکی در داخل رسانا برابر صفر است.

۳ تمام نقاط داخل رسانا و روی سطح آن، پتانسیل یکسانی دارند.



@DaneshSad

رسانای خنثی در میدان الکتریکی خارجی



۱ میدان الکتریکی خارجی باعث جداشدن بارهای مثبت و منفی در دو وجه رسانا شده به طوری که میدان حاصل از این بارها میدان خارجی در داخل رسانا را خنثی می‌کند و میدان الکتریکی خالص در داخل رسانا برابر صفر می‌شود.

۲ همهٔ نقاط داخل و روی سطح رسانا پتانسیل یکسانی دارند.

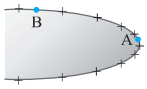
چگالی سطحی بار الکتریکی رسانا

رابطهٔ چگالی سطحی بار الکتریکی برای کرهٔ رسانا:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \leftarrow \begin{cases} \text{بار الکتریکی موجود در آن سطح برحسب کولن } (C) \\ \text{مساحت سطحی که بار روی آن توزیع شده برحسب متر مربع } (m^2) \end{cases} \rightarrow \text{چگالی سطحی بار برحسب کولن بر متر مربع } (c/m^2)$$

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi r^2}$$

نحوهٔ توزیع بار الکتریکی روی سطح رسانا



۱ تراکم بار و چگالی سطحی بار در نقاط تیز سطح رسانا بیشتر از نقاط دیگر است. $\sigma_A > \sigma_B$

۲ خطوط میدان الکتریکی در نقاط تیز متراکم‌تر و در نتیجه اندازهٔ میدان الکتریکی در این نقاط بیشتر است.

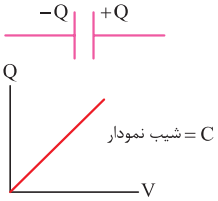
خازن

ظرفیت خازن

$$C = \frac{Q}{V} \leftarrow \begin{cases} \text{بارخازن برحسب کولن } (C) \\ \text{اختلاف پتانسیل بین صفحات برحسب ولت } (V) \end{cases} \rightarrow \text{ظرفیت خازن برحسب کولن‌بر ولت } (\frac{C}{V}) \text{ یا فاراد } (F)$$

- بار ذخیره‌شده در خازن: Q ⟵ یعنی بار یک صفحه $+Q$ و بار صفحهٔ دیگر $-Q$ است.
- ظرفیت خازن به V و Q وابسته نیست و با تغییر V و Q ثابت می‌ماند.

نمودار بار خازن برحسب اختلاف پتانسیل بین صفحات آن:



ظرفیت خازن برحسب کمیت‌های ساختمانی آن:

$$C = \kappa\varepsilon_0 \frac{A}{d} \leftarrow \begin{cases} \text{مساحت هر صفحهٔ خازن برحسب متر مربع } (m^2) \\ \text{فاصلهٔ بین صفحات برحسب متر } (m) \end{cases} \rightarrow \text{ظرفیت خازن برحسب فاراد } (F)$$

ثابت دی‌الکتریک

$(\varepsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} F/M)$ ← ضریب گذردهی الکتریکی خلأ

تغییر ظرفیت خازن و اثر آن روی بار و اختلاف پتانسیل

تغییر κ	$\Delta C = (\kappa_2 - \kappa_1)\varepsilon_0 \frac{A}{d}$ $\frac{C_2}{C_1} = \frac{\kappa_2}{\kappa_1}$	خازن متصل به باتری	ثابت: V	$\Delta Q = V\Delta C$ $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{C_2}{C_1}$
		خازن جدا از باتری	ثابت: Q	$\Delta V = Q(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1})$ $\frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2}$
تغییر A	$\Delta C = \kappa\varepsilon_0 \frac{\Delta A}{d}$ $\frac{C_2}{C_1} = \frac{A_2}{A_1}$	خازن متصل به باتری	ثابت: V	$\Delta Q = V\Delta C$ $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{C_2}{C_1}$
		خازن جدا از باتری	ثابت: Q	$\Delta V = Q(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1})$ $\frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2}$
تغییر d	$\Delta C = \kappa\varepsilon_0 A(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2})$ $\frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2}$	خازن متصل به باتری	ثابت: V	$\Delta Q = V\Delta C$ $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{C_2}{C_1}$
		خازن جدا از باتری	ثابت: Q	$\Delta V = Q(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1})$ $\frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2}$

@DaneshSad

فروریزش الکتریکی:

بیشینهٔ اختلاف پتانسیل قابل تحمل خازن > اختلاف پتانسیل دو سر خازن ← جداشدن الکترون‌های ماده دی‌الکتریک ← تخلیهٔ خازن

تذکر فروریزش الکتریکی معمولاً با یک جرقه همراه است و باعث سوختن خازن می‌شود.

قراردادن دی‌الکتریک قطبی یا غیرقطبی بین صفحه‌های خازن ←
- حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن افزایش می‌یابد.
- ظرفیت خازن افزایش می‌یابد.

میدان الکتریکی بین صفحات خازن:

رابطه:

جهت: از صفحهٔ + به صفحهٔ −

اختلاف پتانسیل دو صفحه (V)
اندازهٔ میدان الکتریکی ($\frac{N}{C}$ یا $\frac{V}{m}$) ←
بار ذخیره‌شده در خازن (C) →
مساحت صفحه‌های خازن (m^2) →
فاصلهٔ دو صفحه (m) ↓
ضریب دی‌الکتریک ↓

انرژی خازن

بار خازن برحسب کولن (C) ↑
انرژی پتانسیل ذخیره‌شده در خازن برحسب ژول (J) ← $U = \frac{Q^2}{2C}$
ظرفیت خازن برحسب فاراد (F) ↓

ظرفیت خازن برحسب فاراد (F) ↑
انرژی پتانسیل ذخیره‌شده در خازن برحسب ژول (J) ← $U = \frac{1}{2} C V^2$
اختلاف پتانسیل صفحات خازن برحسب ولت (V) ↓

بار خازن برحسب کولن (C) ↑
انرژی پتانسیل ذخیره‌شده در خازن برحسب ژول (J) ← $U = \frac{1}{2} Q V$
اختلاف پتانسیل صفحات خازن برحسب ولت (V) ↓

تغییر انرژی خازن بدون تغییر ظرفیت خازن:

C: ثابت ← Q و V به یک نسبت تغییر می‌کنند ← با توجه به داده‌ها و خواسته‌های تست از روابط هر کدام از سطرهای جدول زیر می‌توان استفاده کرد.

تغییر Q	$\Delta U = \frac{1}{2C}(Q_2^2 - Q_1^2)$ $\frac{U_2}{U_1} = (\frac{Q_2}{Q_1})^2$
تغییر V	$\Delta U = \frac{1}{2} C (V_2^2 - V_1^2)$ $\frac{U_2}{U_1} = (\frac{V_2}{V_1})^2$

تغییر انرژی خازن در اثر تغییر ظرفیت خازن:

خازن متصل به باتری	ثابت: V	$\Delta Q = \Delta C \times V$ $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{C_2}{C_1}$	$\Delta U = \frac{1}{2}\Delta Q \times V$ $\Delta U = \frac{1}{2}\Delta C \times V^2$	$\frac{U_2}{U_1} = \frac{C_2}{C_1}$
خازن جدا از باتری	ثابت: Q	$\Delta V = Q(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1})$ $\frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2}$	$\Delta U = \frac{1}{2} Q \times \Delta V$ $\Delta U = \frac{1}{2} Q^2 (\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1})$	$\frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2}$

توان متوسط تخلیهٔ انرژی خازن:

$\overline{P} = \frac{U}{t}$ ← توان متوسط برحسب وات (W)
U: انرژی ذخیره‌شده برحسب ژول (J) →
t: زمان برحسب ثانیه (S) →

یک تمرین مهم کتاب درسی:

اگر در یک خازن بار q' از { صفحهٔ + به صفحهٔ − / صفحهٔ − به صفحهٔ + } منتقل شود ←
$Q_2 = Q_1 - q'$
$Q_2 = Q_1 + q'$

تذکر علامت q' در نظر گرفته می‌شود. Q_2: بار ثانویهٔ خازن Q_1: بار اولیهٔ خازن

@DaneshSad