بنام خداوند جان و خرد

AFAGH

آکادمی فیزیک استاد قدس

۰۹۱۲۴۳۱۰۸۰۴

afagh.in afagh_in afagh.in

«خلاصه فیزیک یازدهم»

قانون کولن: نیروی بین دو بار الکتریکی:

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

F :نیروی الکتریکی برحسب نیوتون (N)

q_1, q_2 بارهای الکتریکی برحسب کولن (C)

r: فاصلهٔ بین دو بار الکتریکی برحسب متر (m)

k: ثابت الکترواستاتیکی و یا ثابت کولن نام دارد و برابر است با: $k \simeq 9\times10^9 N.m^2/C^2$

ثابت کولن (k)را می‌توان برحسب یک ضریب ثابت دیگر به نام ضریب گذردهی الکتریکی خلأ (ε_0) هم نوشت.

$$K = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}$$

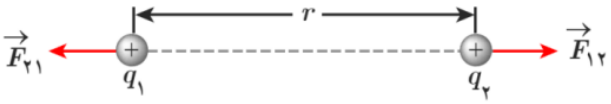
که در این رابطه داریم: $\varepsilon_0 = 8/85\times10^{-12} C^2/N.m^2$

صورت ساده شدهٔ قانون کولن (قاعدهٔ ۹۰) : یک کولن بار بزرگی است، معمولاً در سؤال‌ها بار ذره‌ها برحسب میکروکولن (μC) و فاصلهٔ آن‌ها از هم برحسب سانتی‌متر (cm)داده می‌شود و برای استفاده از قانون کولن باید توان‌های زیادی را ساده کنیم. برای افزایش سرعت پاسخگویی، می‌توان قانون کولن را به صورت $F = 90\frac{q_1q_2}{r^2}$ ساده‌سازی کرد که در این رابطه F برحسب نیوتون q_1, q_2 برحسب میکروکولن (μC) و r برحسب سانتیمتر (cm) می‌باشد.

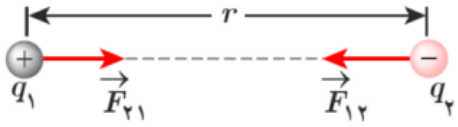
نیروی بنا بر **قانون سوم نیوتون**، نیروی الکتریکی‌ای که به دو بار به هم وارد می‌کنند، کنش و واکنش هستند و بنابراین هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگر می‌باشند، یعنی داریم:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \longrightarrow |\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = F$$

اگر مطابق شکل (الف) بارها همنام باشند، نیروی الکتریکی از نوع دافعه (رانشی) و اگر مطابق شکل (ب) بارها ناهمنام باشند، از نوع جاذبه (ربایشی) خواهد بود.



الف) نیروی الکتریکی بین دوبار الکتریکی همنام، دافعه است.



ب) نیروی الکتریکی بین دوبار الکتریکی همنام، جاذبه است.

میدان الکتریکی (E)

اگر در نقطه‌ای از این فضا بر بار آزمون q_0 نیروی $\vec{F}$ وارد شود، میدان الکتریکی در آن نقطه از فضا برابر است با: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$

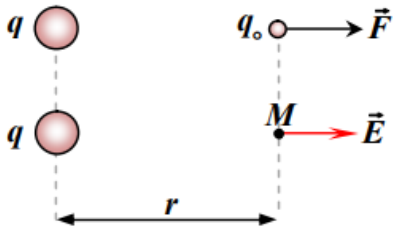
$\vec{E}$: میدان الکتریکی برحسب نیوتون بر کولن (N/C) یا ولت بر متر (V/m)

$\vec{F}$: نیروی وارد بر بار برحسب نیوتون (N) q_0: بار آزمون برحسب کولن (C)

بار آزمون q_0 بار بسیار کوچکی است که اگر در میدان الکتریکی قرار گیرد، آرایش میدان را تغییر نمی‌دهد.

میدان الکتریکی در هر نقطه به بزرگی بار آزمونی که در آن نقطه قرار داده می‌شود، بستگی **ندارد**.

میدان الکتریکی ناشی از بار نقطه‌ای:



$$E=\frac{F}{q_0}\rightarrow E=\frac{k\frac{qq_0}{r^2}}{q_0}\rightarrow \boxed{E=k\frac{q}{r^2}}$$

q: بار الکتریکی برحسب کولن (C)

r : فاصلهٔ نقطهٔ موردنظر از بار الکتریکی برحسب متر (m)

k : ثابت کولن که معمولاً در مسائل برابر $۹\times۱۰^{۹}\ N.m^2/C^2$ در نظر گرفته می‌شود.

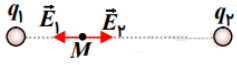
$\vec{E}$: میدان الکتریکی برحسب نیوتون بر کولن (N / C)

اصل برهم‌نهی: برای یافتن میدان (نیروی) الکتریکی خالص حاصل از چند ذرهٔ باردار در نقطه‌ای از فضا باید نخست میدان (نیروی) الکتریکی ناشی از هر ذره را در آن نقطه به دست آورد؛ و سپس این میدان (نیرو) ها را به صورت‌برداری باهم جمع کرد:

$$\vec{F}_T=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3\rightarrow \frac{\vec{F}_T}{q_0}=\frac{\vec{F}_T}{q_0}+\frac{\vec{F}_T}{q_0}+\frac{\vec{F}_T}{q_0}=\vec{E}_T=\vec{E}_1+\vec{E}_2+\vec{E}_3$$

تعیین مکانی که در آن برآیند میدان‌های الکتریکی ناشی از دو بار نقطه‌ای صفر می‌شود: (M)

نقطهٔ M الزاماً باید روی خط واصل دو بار قرار داشته باشد. اگر بارها همنام باشند، نقطهٔ M مانند شکل (الف) بین دو بار قرار دارد و اگر بارها ناهمنام باشند، نقطهٔ M مانند شکل (ب) خارج از فاصلهٔ بین دو بار قرار دارد.



شکل الف

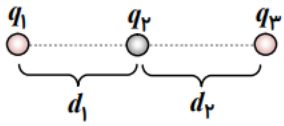
شکل ب

از طرف دیگر محاسبه نشان می‌دهد که نقطهٔ M همواره به بار با اندازهٔ کوچک‌تر (مانند q_1 در شکل‌های مقابل) نزدیک‌تر است. با توجه به این مطالب می‌توان شکل ساده‌ای برای مسأله رسم کرد. حالا برای به دست آوردن مکان نقطهٔ M کافی است بزرگی میدان الکتریکی ناشی از دو بار در نقطهٔ M را مساوی یکدیگر قرار دهیم، یعنی:

$$|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2|$$

توجه کنید که اگر بار سوم q_3را در نقطهٔ M قرار دهیم، برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر آن از طرف بارهای q_1 و q_2 برابر صفر است.

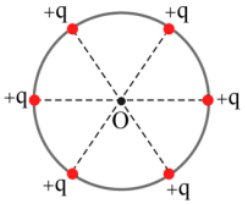
فرض کنید مطابق شکل، بارهای نقطه‌ای q_1, q_2 و q_3 روی یک خط راست قرار دارند و نیروی الکتریکی وارد بر هر یک از بارها صفر است. برای صفر شدن نیروی الکتریکی وارد بر هر یک از بارها لازم است برآیند میدان‌های الکتریکی ناشی از دو بار دیگر، در محل این بار برابر صفر باشد. در این حالت دو بارکناری همنام هستند و علامت بار وسطی مخالف علامت این دو بار است. برای به دست آوردن مجهول مسأله، شرط صفر شدن میدان‌های ناشی از دو بار را در محل بار دیگر می‌نویسیم.



استفاده از تقارن در حل سؤال‌ها:

میدان ناشی از دو بار همنام در وسط خط واصل دو بار صفر می‌شود، یعنی در شکل (الف) میدان ناشی از دو بار q در وسط دو بار (نقطهٔ M) صفر می‌شود. با استفاده از تقارن می‌توان برخی از سؤال‌ها را ساده‌تر حل کرد. برای مثال شش بار نقطه‌ای یکسان در شکل (ب) را در نظر بگیرید که در فاصله‌های مساوی روی محیط یک

دایره قرار دارند. بنا بر تقارن، میدان ناشی از هر دو باری که روی یک قطر دایره قرار دارند، در مرکز دایره برابر صفر است، بنابراین میدان کل ناشی از همهٔ شش بار در مرکز دایره صفر می‌شود.



(ب)

(الف)

فرض کنید می‌خواهیم با اعمال نیروی خارجی F ذرهٔ باردار q را از نقطهٔ (۱) به نقطهٔ (۲)E منتقل کنیم. بنا بر تعریف، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E)یک ذرهٔ باردار در یک جابه‌جایی برابر با منفی کار نیروی الکتریکی (W_E) در همان جابه‌جایی است. از طرف دیگر اگر تندی ذره ثابت باشد، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) باکار نیروی خارجی (W_{ext}) برابر می‌شود و خواهیم داشت:

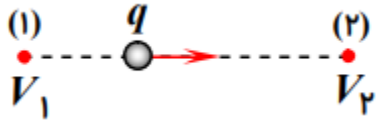
$$\boxed{\Delta U_E = -W_E = W_{ext}}$$

میدان حاصل از بارهای ساکن (میدان الکترواستاتیکی) میدانی پایستار است، بنابراین W_E و درنتیجه ΔU_E به مسیر حرکت بار بستگی ندارند.

اختلاف پتانسیل الکتریکی:

اگر مطابق شکل، ذرهٔ باردار q را از نقطه‌ای با پتانسیل V_1 به نقطه‌ای با پتانسیل V_2 منتقل کنیم و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی آن برابر $\Delta U = U_2 - U_1$ گردد، خواهیم داشت:

$$\boxed{V_2 - V_1 = \frac{U_2 - U_1}{q}} \longrightarrow \boxed{\Delta V = \frac{\Delta U}{q}}$$



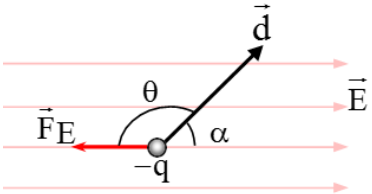
V_1 و V_2 پتانسیل الکتریکی نقطه‌های آغاز و پایان و ΔV : اختلاف‌پتانسیل الکتریکی بین دونقطه هر سه برحسب ولت (V)

U_1 و U_2 انرژی پتانسیل الکتریکی نقطه‌های آغاز و پایان و ΔU :اختلاف انرژی پتانسیل الکتریکی بین دونقطه هر سه برحسب ژول (J)

q : بار ذرهٔ باردار برحسب کولن (C)

در این رابطه باید به علامت بار q و افزایش یا کاهش V و U توجه کرد.

تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) و اختلاف‌پتانسیل (ΔV) در میدان یکنواخت:



q:بار الکتریکی ذره برحسب کولن (C)

d : جابه‌جایی ذرهٔ باردار برحسب متر (m)

α :زاویهٔ بین جابه‌جایی و خطهای میدان الکتریکی

E : بزرگی میدان الکتریکی یکنواخت برحسب نیوتون بر کولن (N / C)

ΔU_E : تغیر انرژی پتانسیل الکتریکی ذره برحسب ژول (J)

ΔV : اختلاف‌پتانسیل الکتریکی برحسب ولت (V)

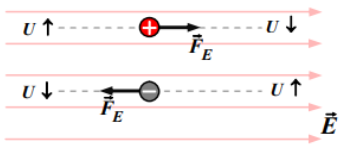
- با توجه به رابطهٔ $\Delta V = -Ed\cos\alpha$:

(الف): در یک میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در سوی خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و بالعکس با حرکت در خلاف جهت خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.

(ب): در یک میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی تغییر نمی‌کند.

هرگاه در تعیین علامت تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) دچار مشکل شدید، به این قاعده توجه کنید که اگر بار را با اجبار به جابه‌جایی وادار کنیم، انرژی پتانسیل الکتریکی بار در آن جابه‌جایی افزایش می‌یابد و هرگاه بار آزادانه جابه‌جایی را قبول کند، انرژی پتانسیل الکتریکی بار در آن جابه‌جایی کاهش می‌یابد.

- مثلاً مطابق شکل، نیروی الکتریکی وارد بر بار مثبت در جهت خط‌های میدان است، بنابراین:



(الف) اگر بار مثبت آزادانه در جهت خط‌های میدان الکتریکی جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد.

(ب) اگر بار مثبت را به‌اجبار در خلاف جهت خط‌های میدان جابه‌جا کنیم، انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد.

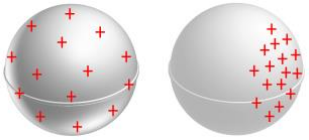
- همچنین مطابق شکل، نیروی الکتریکی وارد بر بار منفی در خلاف جهت خط‌های میدان است، بنابراین:

(الف) اگر بار منفی را به‌اجبار در جهت خط‌های میدان الکتریکی جابه‌جا کنیم، انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد.

(ب) اگر بار منفی با پای خود در خلاف جهت خط‌های میدان الکتریکی جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد.

در اجسام نارسانا بار در محل داده‌شده به جسم باقی می‌ماند، اما در اجسام رسانا، در سطح خارجی جسم توزیع می‌شود.

- **سطح یک رسانا، سطح هم‌پتانسیل است**، یعنی همهٔ نقاط روی سطح رسانا، پتانسیل یکسانی دارند.
- میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر است.



(الف) نارسانا (ب) رسانا

چگالی سطحی بار:

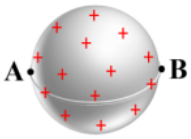
σ : چگالی سطحی بار الکتریکی برحسب کولن بر مترمربع (C/m^2)

Q : بار موجود در سطح رسانا برحسب کولن (C)

A: مساحت جسم رسانا برحسب مترمربع (m^2)

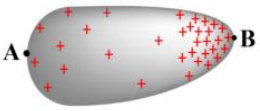
- تراکم بار و چگالی سطحی بار الکتریکی در نقاط نوک‌تیز سطح جسم رسانای باردار از نقاط دیگر آن بیشتر است.

- **رسانای کروی:**



$$V_A = V_B \quad , \quad \sigma_A = \sigma_B$$

- **رسانای دوکی‌شکل:**



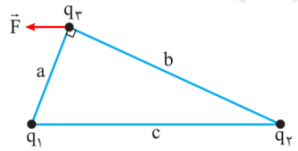
$$V_A = V_B \quad , \quad \sigma_A < \sigma_B$$

اگر دو کرهٔ باردار هم‌اندازه را به هم تماس دهیم، مجموع جبری بار کره‌ها به نسبت مساوی بین آن‌ها توزیع می‌شود، یعنی:

$$q'_2 = q'_1 = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

یک مثلث قائم‌الزاویه را در نظر بگیرید که بارهای q_1 و q_2 در رأس‌های منتهی به وتر آن ثابت‌شده‌اند.

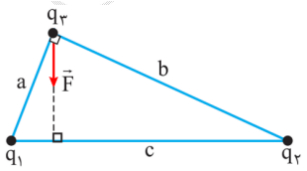
الف) اگر بار q_3 را رأس قائمهٔ مثلث قرار دهیم و نیروی وارد بر آن موازی با وتر مثلث باشد، بارهای q_1 و q_2 **ناهمنام** هستند و داریم:



$$\frac{q_2}{b^3} = \frac{q_1}{a^3}$$

توجه کنید که اگر میدان الکتریکی ناشی از بارهای q_1 و q_2 در رأس قائمه، موازی وتر مثلث شود، بازهم همین رابطه برقرار است.

ب) اگر بار q_3 را رأس قائمهٔ مثلث قرار دهیم و نیروی وارد بر آن عمود بر وتر مثلث باشد، بارهای q_1 و q_2 همنام هستند و داریم:

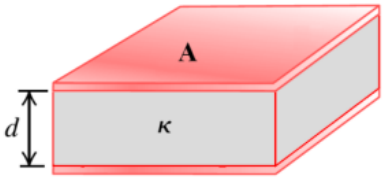


$$\frac{q_2}{b} = \frac{q_1}{a}$$

توجه کنید که اگر میدان الکتریکی ناشی از بارهای بارهای q_1 و q_2 در رأس قائمه، عمود بر وتر مثلث شود، بازهم همین رابطه برقرار است.

نسبت بار ذخیره‌شده در یک خازن به اختلاف‌پتانسیل بین دو صفحهٔ آن، همواره مقداری ثابت است که به این نسبت، **ظرفیت خازن** می‌گویند:

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



C : ظرفیت خازن برحسب فاراد (F)

Q : بار ذخیره‌شده در خازن برحسب کولن (C)

V : اختلاف‌پتانسیل بین دو صفحهٔ خازن برحسب ولت (V)

ظرفیت خازن یک ویژگی ساختمانی خازن است و به پارامترهای مداری مانند اختلاف‌پتانسیل و بار خازن بستگی ندارد:

$$C = \kappa\varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

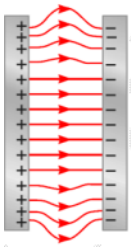
C : ظرفیت خازن برحسب فاراد (F)

ε_0 : ضریب گذردهی الکتریکی خلأ برابر $\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\ F/m$

A : مساحت مشترک دو صفحه برحسب مترمربع (m)

κ : (کاپا) ثابت دی‌الکتریک، برای هوا برابر $k \simeq 1$ و برای سایر عایق‌ها بزرگ‌تر از ۱ می‌باشد.

d : فاصلهٔ بین دو صفحهٔ خازن برحسب متر (m)



۱۶ -وقتی خازن باردار می‌شود، بین دو صفحهٔ خازن یک **میدان الکتریکی یکنواخت** (E

تشکیل می‌شود: $E = \frac{V}{d}$

d : فاصلهٔ بین دو صفحهٔ خازن برحسب متر (m)

V: اختلاف‌پتانسیل بین دو صفحهٔ خازن برحسب ولت (V)

E: بزرگی میدان الکتریکی یکنواخت بین دو صفحه برحسب نیوتون بر کولن (N / C)

تغییر مشخصات ساختمانی خازن:

(الف) تا هنگامی‌که خازن به مولد وصل است، اختلاف‌پتانسیل بین دو صفحهٔ آن (V)ثابت می‌ماند.

(ب) اگر خازن را از مولد جدا کنیم، بنابر اصل پایستگی، بار ذخیره‌شده در آن، (Q) ثابت می‌ماند.

انرژی ذخیره‌شده در خازن:

$$U = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{Q^2}{2C}$$

U : انرژی ذخیره‌شده در خازن برحسب ژول (J)

C : ظرفیت خازن برحسب فاراد (F)

Q : بار ذخیره‌شده در خازن برحسب کولن (C)

V : اختلاف‌پتانسیل بین دو صفحهٔ خازن برحسب ولت (V)

- در رابطه‌های انرژی خازن، یکای V همواره ولت است، اما می‌توان سایر کمیت‌ها همه را برحسب میلی، میکرو یا نانو جایگذاری کرد. مثلاً در رابطهٔ $U, U = \frac{Q^2}{2C}$ را برحسب میکرو ژول،Q را برحسب میکرو کولن و C را برحسب میکرو فاراد جایگذاری کرد.

جریان الکتریکی متوسط:

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$\bar{I}$: جریان الکتریکی متوسط برحسب آمپر (A)

q : بار خالص گذرا از هر مقطع رسانا برحسب کولن (C)

t : مدت‌زمان گذر بار برحسب ثانیه (s)

- رابطهٔ q =It نشان می‌دهد که مساحت محصور در زیر نمودار I - t برابر با بار گذرا از رساناست.
- اگر $\Delta t \to 0$ شود، جریان لحظه‌ای به دست می‌آید: $I = \frac{dq}{dt}$
  - اگر از رابطهٔ $q-t$ نسبت به زمان مشتق بگیریم، معادلهٔ $I-t$ به دست می‌آید.
  - شیب نمودار $q-t$ برابر جریان الکتریکی است.
- بار الکتریکی کمیتی گسسته (کوانتیده) است، یعنی نمی‌تواند هر مقدار دلخواهی داشته باشد. باریک جسم، همواره مضرب صحیحی از بار بنیادی (e) است و داریم:

$$q = \pm ne \qquad (n = 0, 1, 2, \ldots)$$

q : بار الکتریکی برحسب کولن (C)

n : تعداد الکترون‌ها یا پروتون‌های اضافی

e : بار بنیادی یا بار پایه (بار یک الکترون یا پروتون) برابر $e = 1/6 \times 10^{-19} C$

- مطابق رابطهٔ $q = It$، آمپر- ثانیه یکای بار الکتریکی و معادل یک کولن است. همچنین آمپر- ساعت یکای بار الکتریکی و معادل ۳۶۰۰ کولن است.
- برای محاسبهٔ تعداد الکترون‌های شارش یافته رابطه‌های $q = ne$ و $q = It$ را ترکیب می‌کنیم:

$$ne = It \longrightarrow n = \frac{It}{e}$$

قانون اهم :

نسبت اختلاف‌پتانسیل دو سر یک رسانای فلزی به‌شدت جریانی که از آن می‌گذرد، در دمای ثابت، مقداری ثابت است که مقاومت الکتریکی نام دارد:

$$R = \frac{V}{I}$$

R: مقاومت الکتریکی رسانا برحسب اهم

V: اختلاف‌پتانسیل دو سر رسانا برحسب ولت (V)

I : جریان گذرا از رسانا برحسب آمپر (I)

- شیب نمودار I برحسب V برابر با معکوس مقاومت است.
- در نمودارهایی که محورها I و V هستند، رسانایی که خط مربوط به آن به محور V نزدیک‌تر است، مقاومت بیشتری دارد.

مقاومت یک رسانا تابع عوامل ساختمانی

(شامل هندسهٔ رسانا و جنس آن) و دمای رسانا است و به عوامل مداری مانند جریان گذرا از رسانا و ولتاژ دو سر آن بستگی ندارد.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

تأثیر عوامل ساختمانی بر مقاومت رسانا:

L : طول رسانا برحسب متر (m)

A: مساحت مقطع رسانا برحسب مترمربع (m^2)

ρ : مقاومت ویژهٔ رسانا برحسب اهم‌متر (Ωm)

R : مقامت رسانا برحسب اهم (Ω)

رابطهٔ بالا به صورت مقایسه‌ای: (D : قطر سیم)

$$\boxed{\frac{R_2}{R_1}=\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)\left(\frac{L_2}{L_1}\right)\left(\frac{A_1}{A_2}\right)} \xrightarrow{A=\frac{\pi}{4}D^2} \boxed{\frac{R_2}{R_1}=\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)\left(\frac{L_2}{L_1}\right)\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}$$

اگر سیم را از دستگاهی (حدیده) بکشیم، به‌طوری‌که حجم (جرم) سیم ثابت باقی بماند:

$$R=\rho\frac{L}{A} \longrightarrow R=\rho\frac{L\times L}{A\times L} \longrightarrow \boxed{R=\rho\frac{L^2}{V}} \xrightarrow[\rho=cte]{V=cte} R\propto L^2$$

$$R=\rho\frac{L}{A} \longrightarrow R=\rho\frac{L\times A}{A\times A} \longrightarrow \boxed{R=\rho\frac{V}{A^2}} \xrightarrow[\rho=ctE]{V=cte} R\propto\frac{1}{A^2}\propto\frac{1}{D^4}$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر سیمی را بکشیم، به‌طوری‌که حجم آن ثابت بماند:

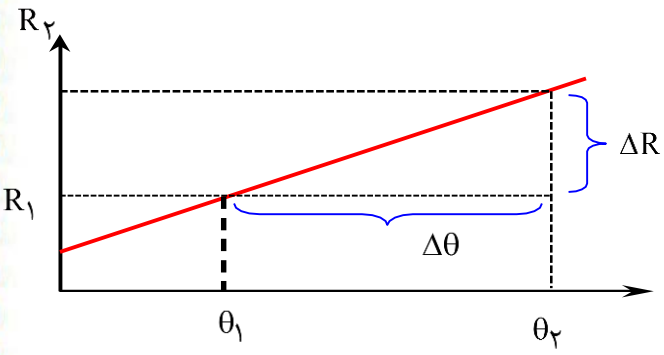
(الف) اگر طول جسم n برابر شود، مقاومت آن n^2 برابر می‌شود.

(ب) اگر مساحت مقطع سیم n برابر شود، مقاومت آن $\frac{1}{n^2}$ برابر می‌شود.

(پ) اگر قطر سیم n برابر شود، مقاومت آن $\frac{1}{n^4}$ برابر می‌شود.

تأثیر دما بر مقاومت ویژهٔ رسانا:

مطابق شکل، مقاومت ویژهٔ رسانا و درنتیجه مقاومت ویژهٔ آن به صورت خطی با دما افزایش می‌یابند و خواهیم داشت:



$$\Delta R = R_1 \alpha \Delta\theta \longrightarrow R_2 = R_1(1+\alpha\Delta\theta)$$

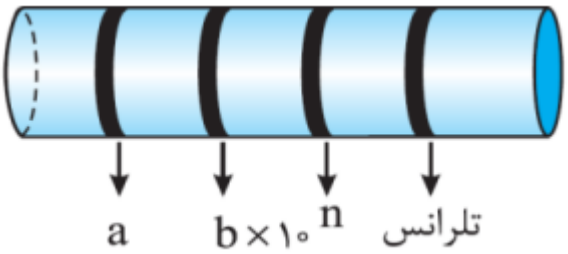
$\Delta\theta$: تغییر دما برحسب کلوین (K)

α : ضریب دمایی مقاومت ویژه برحسب بر کلوین (K^{-1})

R_1 : اولیه مقاومت، R_2: مقاومت نهایی و ΔR تغییر مقاومت همگی برحسب اهم (Ω)

انواع مقاومت‌ها:

(الف) مقاومت پیچ‌های: از سیم‌های نازک با مقاومت بالا ساخته‌شده‌اند، مهم‌ترین مقاومت پیچ‌های، رئوستا است که یک نوع مقاومت متغیر است. در مدارهای الکتریکی، وسیله‌ای به نام پتانسیومتر، نقش رئوستا را بر عهده دارد.



ب) مقاومت ترکیبی یا کربنی: در این مقاومت‌ها مقدار مقاومت با استفاده از حلقه‌های رنگی مشخص می‌شود. هر رنگ معرف یک رقم است و مقدار مقاومت به صورت $\overline{ab}\times 10^{n}$ می‌باشد. آخرین حلقهٔ سمت راست، مشخص کنندهٔ مقدار خطای مقاومت (تلرانس) است.

(پ) ترمیستور: نوعی مقاومت الکتریکی که بستگی مقاومت الکتریکی آن به دما متفاوت از مقاومت‌های معمولی است و برای حسگر دما در زنگ خطر آتش و دماپا و ... استفاده می‌شود.

(ت) مقاومت نوری (LDR): مقاومت نوری، نوعی مقاومت که مقاومت الکتریکی آن به نور تابیده به آن بستگی دارد، به‌طوری‌که با افزایش شدت نور، از مقاومت آن کاسته می‌شود.

(ث) دیود: یا یکسوکنندهٔ جریان، جریان را تنها در یک سو عبور می‌دهند. یکی از مشهورترین دیودها، دیود نورگسیل (LED)است.

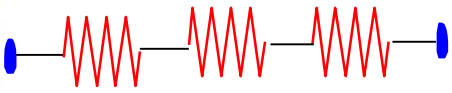
به هم بستن مقاومت‌ها:

به هم بستن متوالی (سری) مقاومت‌ها:

(الف) جریان یکسانی از همهٔ مقاومت‌ها عبور می‌کند:

$$I_1 = I_2 = I_3$$

ب) $V_T = V_1 + V_2 + V_3$



پ) $\boxed{R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3}$

ت) مقاومت معادل چند مقاومت متوالی، از هر یک از مقاومت‌ها بزرگ‌تر است.

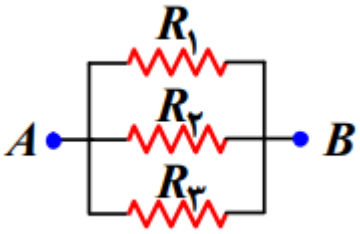
ث) اگر n مقاومت یکسان R را متوالی ببندیم: $\boxed{R_{eq} = nR}$

به هم بستن موازی مقاومت‌ها:

الف) اختلاف‌پتانسیل دو سر همهٔ مقاومت‌ها یکسان است: $V_1 = V_2 = V_3$

ب) $I_T = I_1 + I_2 + I_3$

پ) $\boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$



ت) اگر دو مقاومت R_1 و R_2 را موازی ببندیم:

$$\boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

(ث) مقاومت معادل چند مقاومت موازی، از هر یک از مقاومت‌ها کوچک‌تر است.

(ج) اگر n مقاومت یکسان R را موازی ببندیم:

$$\boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \frac{R}{n}}$$

(چ) چند مقاومت موازی معروف:

$۵ \| ۲۰ = ۴\Omega$, $۱۰ \| ۱۵ = ۶\Omega$, $۴ \| ۱۲ = ۳\Omega$, $۳ \| ۶ = ۲\Omega$

انرژی و توان مصرفی در مقاومت:

$$\boxed{U = V.q = VIt = RI^2 t = \frac{V^2}{R} t} \longrightarrow \boxed{P = \frac{U}{t} = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}}$$

U : انرژی مصرفی در رسانا برحسب ژول (J)

P : توان مصرفی در رسانا برحسب وات (W)

V: اختلاف‌پتانسیل دو سر رسانا برحسب ولت (V)

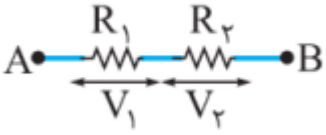
q : بار عبوری از رسانا برحسب کولن (C)

I: جریان عبوری از رسانا برحسب آمپر (A)

R: مقاومت رسانا برحسب اهم (Ω)

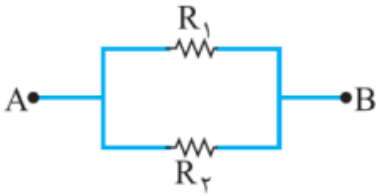
t: زمان برحسب ثانیه (s)

نحوهٔ توزیع جریان، ولتاژ و توان بین دو مقاومت:



(الف) دو مقاومت متوالی: از دو مقاومت متوالی جریان یکسانی عبور می‌کند $(I_۲ = I_۱)$، بنابراین از رابطه‌های $V = IR$ و $P = I^۲R$ نتیجه می‌شود ولتاژ و توان دو مقاومت متوالی متناسب با بزرگی مقاومت آنهاست، یعنی مقاومت بزرگ‌تر اختلاف پتانسیل و توان مصرفی بیشتری دارد و داریم :

$$I_۲ = I_۱ \ , \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{V_۲}{V_۱} = \frac{R_۲}{R_۱}$$

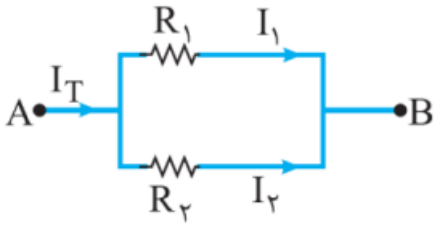


ب) دو مقاومت موازی: اختلاف‌پتانسیل دو مقاومت موازی یکسان است $(V_۱ = V_۲)$، بنابراین از رابطه های $I = \frac{V}{R}$ و $P = \frac{V^۲}{R}$ نتیجه می‌شود جریان و توان مقاومت موازی با بزرگی مقاومت‌ها نسبت عکس دارد، یعنی از مقاومت کوچک‌تر جریان بیشتری می‌گذرد و این مقاومت توان مصرفی بالاتری دارد و داریم:

$$V_۲ = V_۱ \ , \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{I_۲}{I_۱} = \frac{R_۲}{R_۱}$$

قانون تقسیم جریان در مقاومت‌های موازی:

از مقاومت کوچک‌تر جریان بزرگتری عبور می‌کند:



$$\frac{I_2}{I_1}=\frac{R_2}{R_1}$$

$$I_2=\frac{R_1}{R_1+R_2}I_T \quad , \quad I_1=\frac{R_2}{R_1+R_2}I_T$$

باتری:

عامل شارش بار در مدار است و دارای دو مشخصهٔ نیروی محرکهٔ الکتریکی (ε) و مقاومت درونی (r) است.

نیروی محرکهٔ باتری (ε) عبارتست از کاری (ΔW) که باتری روی مقدار معینی بار (Δq) انجام می‌دهد تا در مدار شارش کند:

$$\varepsilon=\frac{\Delta w}{\Delta q}$$

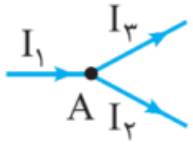
ε :نیروی محرکهٔ الکتریکی برحسب ولت (V)

ΔW :کاری که مولد روی بار انجام می‌دهد برحسب ژول (J)

Δq :بار الکتریکی برحسب کولن (C)

قوانین کیرشهف:

(الف) قاعدهٔ انشعاب (گره): مجموع جریان‌های ورودی به یک گره با مجموع جریان‌های خروجی از آن برابر است، یعنی:



$$\sum I_A=0 \longrightarrow I_1=I_2+I_3$$

ب) قاعدهٔ حلقه (ولتاژ): مجموع جریان‌های در هر دور زدن کامل حلقه‌ای از مدار، جمع جبری اختلاف‌پتانسیل‌های اجزای مدار صفر است، یعنی: $\sum V = 0$

چهار دستورالعمل برای تعیین اختلاف‌پتانسیل دو سر اجزای مدار:

(الف) اگر در جهت جریان از مقاومت R عبور کنیم، پتانسیل به اندازهٔ IR کاهش می‌یابد: یعنی،

$$V_A - IR = V_B$$

(ب) اگر در خلاف جهت جریان از مقاومت R عبور کنیم، پتانسیل به اندازهٔ IR افزایش می‌یابد : یعنی

$$V_A + IR = V_B$$

(پ) اگر از پایانهٔ منفی مولدی به پایانهٔ مثبت آن برویم، پتانسیل به اندازهٔ نیروی محرکهٔ مولد افزایش می‌یابد،

یعنی :

$$V_A + \varepsilon = V_B$$

(ت) اگر از پایانهٔ مثبت مولدی به پایانهٔ منفی آن برویم، پتانسیل به اندازهٔ نیروی محرکهٔ مولد کاهش می‌یابد،

یعنی :

$$V_A - \varepsilon = V_B$$

مدار تک حلقه:

عددی که آمپرسنج نشان می‌دهد = جریان اصلی مدار = $\boxed{I = \frac{\sum \varepsilon}{R_{eq} + \sum r}}$

عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد= اختلاف‌پتانسیل دو سر مولد = $\boxed{V = \varepsilon - Ir}$

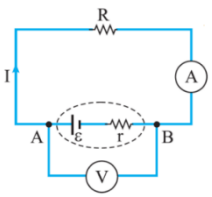
$\sum \varepsilon$:جمع جبری نیروی محرکهٔ مولدهای مدار برحسب ولت (V)

R_{eq} : مقاومت معادل مدار برحسب اهم (Ω)

$\sum r$: مجموع مقاومت‌های درونی مولدها برحسب اهم (Ω)

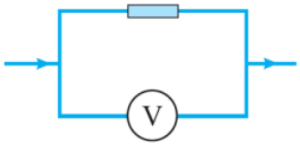
I : جریان اصلی مدار برحسب آمپر (A)

V : اختلاف‌پتانسیل دو سر مولد برحسب ولت (V)



- آمپرسنج ⇐ وسیلهٔ اندازه‌گیری جریان ⇐مقاومت درونی ناچیز ⇐ متوالی

- ولت‌سنج ⇐وسیلهٔ اندازه‌گیری اختلاف‌پتانسیل ⇐مقاومت درونی خیلی بزرگ ⇐موازی



توان مولد:

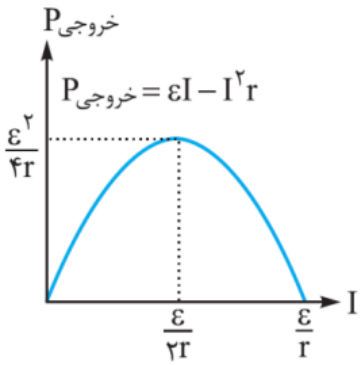
دارای سه مفهوم است:

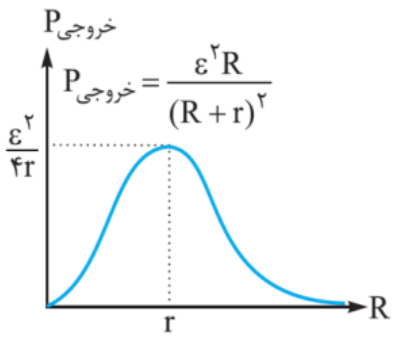
(الف) توان تولیدی (ورودی): $P_{\text{تولیدی}} = \varepsilon I$

(ب) توان مصرفی (تلف‌شده): $P_{\text{مصرفی}} = I^2 r$

(پ) توان خروجی (مفید) $\boxed{P_{\text{خروجی}} = VI = (\varepsilon - Ir)I \rightarrow P_{\text{خروجی}} = \varepsilon I - I^2 r}$

- توان خروجی (مفید) یک مولد در یک مدار تک حلقه هنگامی بیشینه می‌شود که مقاومت خارجی مدار با مقاومت درونی مولد برابر شود، یعنی: $\boxed{R_{eq} = r}$
- اگر توان خروجی (مفید) مولد به ازای دو مقاومت خارجی مختلف R_1 و R_2 مقاومت درونی مولد واسطهٔ هندسی بین این دو مقاومت است، یعنی: $\boxed{r = \sqrt{R_1 R_2}}$





نیروی الکترومغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \longrightarrow \boxed{F = qvB\sin\theta}$$

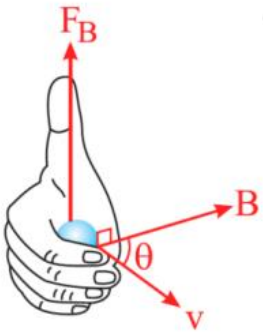
q : بار ذره برحسب کولن (C)

v : بزرگی سرعت ذره برحسب متر بر ثانیه (m / s)

B : میدان مغناطیسی برحسب تسلا (T)

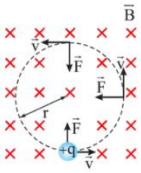
θ :زاویهٔ بین جهت سرعت ذره و خط‌های میدان مغناطیسی

F : نیروی الکترومغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار برحسب نیوتون (N)



- گاوس واحد فرعی میدان مغناطیسی است و داریم: $1T = 10^4\ G$
- قاعدهٔ دست راست: چهار انگشت در جهت $\vec{V}$، کف دست در جهت $\vec{B}$ و انگشت شست دست راست در جهت $\vec{F}$، نیروی وارد بر بار منفی در خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت.
- با توجه به رابطهٔ $F = qvB\sin\theta$، اگر بار الکتریکی ساکن باشد $(v = 0)$ یا در راستای خط‌های میدان حرکت کند $(\theta = 0$ یا $180^\circ)$، بر آن نیروی الکترومغناطیسی وارد نمی‌شود.

همچنین اگر راستای حرکت بار عمود برخط‌های میدان باشد $(\theta = 90^\circ)$ نیروی وارد بر آن بیشینه و برابر $F_{max} = qvB$ می‌شود.

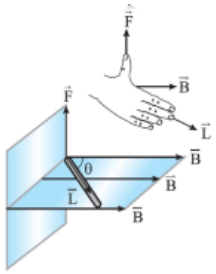


اگر ذره‌ای در صفحه‌ای عمود برخط‌های میدان مغناطیسی‌ای پرتاب شود، حرکتش دایره‌ای یکنواخت می‌شود. (مخصوص ریاضی)

$$F_n = F_B \longrightarrow m\frac{v^2}{r} = qvB\sin\theta \longrightarrow \boxed{r = \frac{mv}{qB}}$$

اگر در فضایی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم وجود داشته باشد، با صرف‌نظر از نیروی وزن ذره، شرط منحرف نشدن ذره آن است که: $F_E = F_B \longrightarrow E_q = qvB \longrightarrow \boxed{E = vB}$

نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان:



$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B} \longrightarrow F = IL\sin\theta$

I : جریان گذرا از سیم برحسب آمپر (A)

L: طول سیم برحسب متر (m)

B : میدان مغناطیسی برحسب تسلا (T)

θ :زاویهٔ بین امتداد سیم با خطوط میدان مغناطیسی.

F : نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان برحسب نیوتون (N)

- **قاعدهٔ دست راست:** چهار انگشت در جهت I، کف دست در جهت $\vec{B}$ و انگشت شست دست راست در جهت $\vec{F}$
- با توجه به رابطهٔ $F = IL\sin\theta$، اگر راستای سیم به‌موازات خطوط میدان مغناطیسی باشد ($\theta = ۰$ یا ۱۸۰°)، میدان مغناطیسی نیرویی بر سیم حامل جریان وارد نمی‌کند. همچنین اگر $\theta = ۹۰^\circ$ باشد، نیروی وارد بر سیم بیشینه و برابر $F_{max} = ILB$ می‌شود.
- در شکل مقابل، قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم بلند حامل جریان نشان داده‌شده است. برای مشخص کردن جهت میدان الکتریکی ناشی از پیچهٔ مسطح یا سیملوله کافی است میدان ناشی از قسمت کوچکی از سیم‌های آن را به دست آوریم.

میدان مغناطیسی ناشی از پیچهٔ مسطح:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R}$$

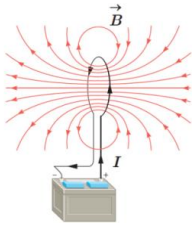
N : تعداد دورهای پیچه.

I : جریان گذرا از پیچه برحسب آمپر (A)

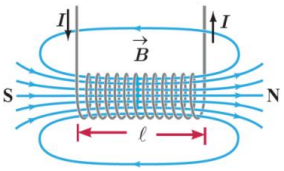
R : شعاع پیچه برحسب متر (m)

B : میدان مغناطیسی در مرکز پیچه برحسب تسلا (T)

μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ برابر با: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A$



میدان مغناطیسی ناشی از سیملوله:



$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell}$$

N : تعداد دورهای سیملوله.

I : جریان گذرا از سیملوله برحسب آمپر (A)

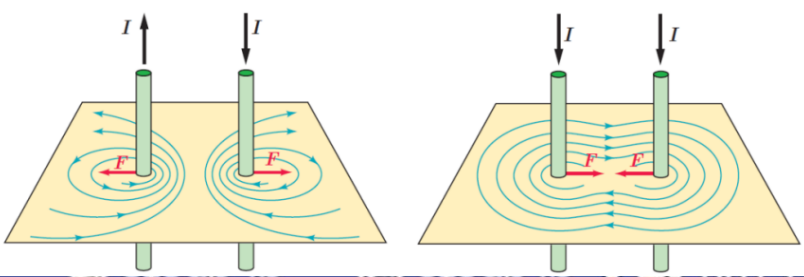
ℓ :طول سیملوله برحسب متر (m)

B : میدان مغناطیسی درون سیملوله برحسب تسلا (T)

μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ برابر با: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A$

نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان

اگر جریان‌های دو سیم همسو باشند، این نیرو ربایشی و اگر جریان‌های دو سیم ناهمسو باشند، این نیرو رانشی است.



شار مغناطیسی:

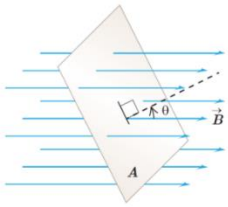
$$\Phi = AB\cos\theta$$

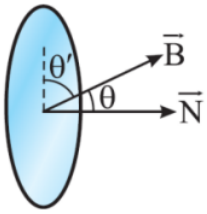
A : مساحت پیچه برحسب مترمربع (m^2)

B : میدان مغناطیسی برحسب تسلا (T)

Φ : شار گذرا از پیچه برحسب وبر (Wb)

θ :زاویهٔ بین نیم‌خط عمود بر سطح پیچه و خط‌های میدان مغناطیسی.





در بسیاری از مسائل شار مغناطیسی، به‌جای زاویهٔ θ، زاویهٔ سطح پیچه با خط‌های میدان مغناطیسی (θ') را می‌دهند که با توجه به $\theta + \theta' = 90^\circ$ رابطهٔ، زاویهٔ θ را محاسبه می‌کنیم.

قانون القای الکترومغناطیسی فاراده:

$$\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$\bar{\varepsilon}$:نیروی محرکهٔ القایی متوسط برحسب ولت (V)

$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$: آهنگ تغییر شار مغناطیسی برحسب وبر بر ثانیه (Wb /s)

N : تعداد دورهای پیچه یا سیملوله.

اگر مقاومت پیچه برابر R باشد، جریان القاشده در آن از رابطهٔ $\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R}$ به دست می‌آید.

بسته به اینکه چه عاملی سبب تغییر شار مغناطیسی شده باشد، یکی از این حالت‌ها راداریم:

تغییر میدان مغناطیسی : $\bar{\varepsilon} = NA\frac{\Delta B}{\Delta t} \longrightarrow \bar{I} = \frac{NA}{R}\frac{\Delta B}{\Delta t}$

تغییر مساحت پیچه: $\bar{\varepsilon} = NA\frac{\Delta A}{\Delta t} \longrightarrow \bar{I} = \frac{NB}{R}\frac{\Delta A}{\Delta t}$

تغییر زاویهٔ پیچه با میدان: $\bar{\varepsilon} = NAB\frac{(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)}{\Delta t} \longrightarrow \bar{I} = \frac{NAB}{R} = \frac{(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)}{\Delta t}$

محاسبهٔ بار القایی:

$$\Delta q = \frac{N}{R}|\Delta\Phi|$$

Δq : بار القاشده برحسب کولن (C)

N : تعداد دورهای پیچه یا سیملوله.

R : مقاومت پیچه یا سیملوله برحسب اهم (Ω)

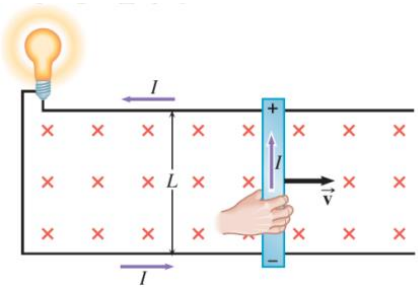
$\Delta\Phi$:تغییر شار مغناطیسی برحسب وبر (Wb)

قانون لنز:

جریان حاصل از نیروی محرکهٔ القایی در یک مدار یا پیچه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن با عامل به وجود آورندهٔ جریان القایی، یعنی تغییر شار مغناطیس، مخالفت می‌کند.

نیروی محرکهٔ حرکتی:

$$\varepsilon = NLv$$



ε :نیروی محرکهٔ القایی برحسب ولت (V)

B : میدان مغناطیسی برحسب تسلا (T)

L : طول میله برحسب متر (m)

v : تندی میله برحسب متر بر ثانیه (m / s)

ضریب القای سیموله

$$L = \mu_{\circ} \frac{AN^{۲}}{\ell}$$

L : ضریب القاوری سیملوله برحسب هانری (H)

A : مساحت مقطع سیملوله برحسب مترمربع (m)

$\mu_{\circ}$ تراوایی مغناطیسی خلأ برابر با: $\mu_{\circ} = ۴\pi \times ۱۰^{-۷}\ T.m/A$

N : تعداد دورهای سیملوله.

ℓ : طول سیملوله برحسب متر (m)

ذخیره انرژی شده در سیملوله

$$U = \frac{۱}{۲} LI^{۲}$$

U : انرژی ذخیره‌شده در سیملوله برحسب ژول (J)

L : ضریب القاوری سیملوله برحسب هانری (H)

I : جریان گذرا از سیملوله برحسب آمپر (A)

جریان متناوب

$$\Phi = AB\cos(\frac{۲\pi}{T}t) \longrightarrow I = I_m \sin(\frac{۲\pi}{T}t)$$

Φ :شار گذرا از پیچه برحسب وبر (Wb)

A : مساحت پیچه برحسب مترمربع ($m^{۲}$)

B : میدان مغناطیسی برحسب تسلا (T)

T : دوره برحسب ثانیه (s)

t : زمان برحسب ثانیه (s)

I : جریان القایی، I_m:بیشینهٔ جریان القایی هر دو برحسب آمپر (A)

ترانسفورماتور (مبدل)

$$\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{N_۱}{N_۲}$$

$N_۱$: تعداد دورهای اولیه

$N_۲$: تعداد دورهای ثانویه

$V_۱$: ولتاژ اولیه برحسب ولت (V)

$V_۲$: ولتاژ ثانویه برحسب ولت V