

فصل دهم :

القاي الكترومغناطيسي

آنچه در این فصل می خوانیم :

(۱) شار مغناطیسی

(۲) قانون القای فارادی و قانون لنز

(۳) منشا نیروی محرکه القایی

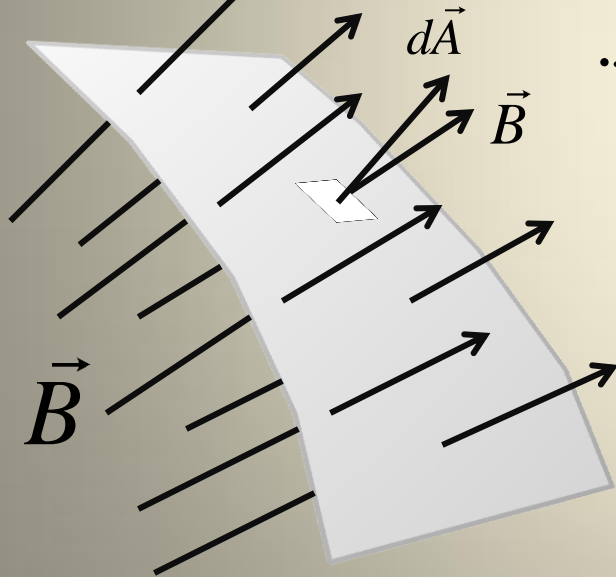
(۴) جریان های تلاطمی

بخش اول:

شار مغناطیسی

## شار مغناطیسی

مفهوم شار میدان مغناطیسی مشابه شار میدان الکتریکی است و به عنوان میزان خطوط میدان مغناطیسی گذرنده از یک سطح معرفی می گردد.



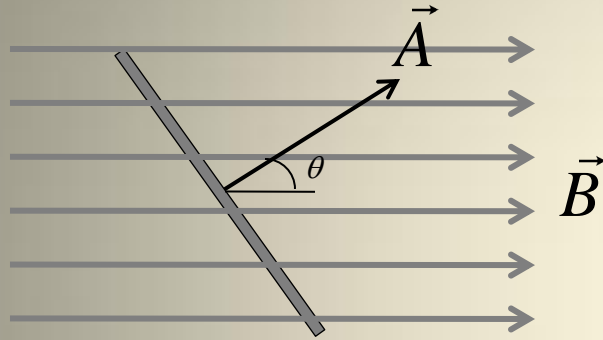
$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

واحد شار میدان مغناطیسی، تسلا در متر مربع است

که به آن وبر ( $Wb$ ) می گویند.

نکته های مربوط به شار میدان مغناطیسی

(۱) اگر میدان، یکنواخت و سطح تخت باشد:



$$\phi_B = BA \cos \theta$$

$\theta$  زاویه میان خط عمود بر سطح و میدان مغناطیسی است.

(۲) با توجه به رابطه شار مغناطیسی، شار عبوری از یک سطح تحت (حداقل) یکی از شرایط زیر تغییر می کند.

-  $A$  (مساحت) تغییر کند.      -  $B$  (میدان) تغییر کند      -  $\theta$  تغییر کند.

مثال: حلقه ای مستطیلی و تخت به ابعاد  $۱۲cm \times ۷cm$  را که در آغاز عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت  $T \ ۰/۲$  است در نظر بگیرید. تغییر شار گذرنده از حلقه را وقتی حلقه حول محوری عمود بر خطوط میدان به اندازه  $۱۲^\circ$  بچرخد پیدا کنید.

پاسخ: 
$$A = (۱۲ \times ۱۰^{-۲}) \times (۷ \times ۱۰^{-۲}) = ۸۴ \times ۱۰^{-۴} m^2$$

$$B = ۰/۲ T \quad \theta_1 = ۰^\circ \quad \theta_2 = ۱۲^\circ$$

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = BA (\cos \theta_2 - \cos \theta_1)$$

$$= ۰/۲ \times ۸۴ \times ۱۰^{-۴} \times (-۰/۵ - ۱) = -۲/۵۲ \times ۱۰^{-۴} Wb$$

بخش دوم:

قانون القای فارادی و قانون

لنز

## قانون القای فارادی

تغییر شار مغناطیسی عبوری از یک حلقه رسانای بسته، در آن نیروی محرکه القایی ایجاد می کند که باعث ایجاد جریان القایی در حلقه می شود. این نیروی محرکه القایی با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است.

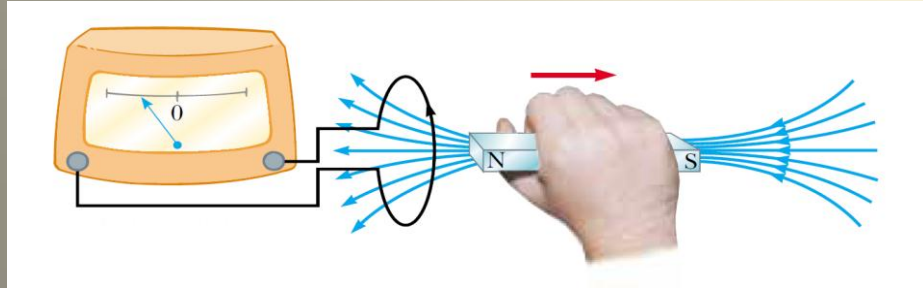
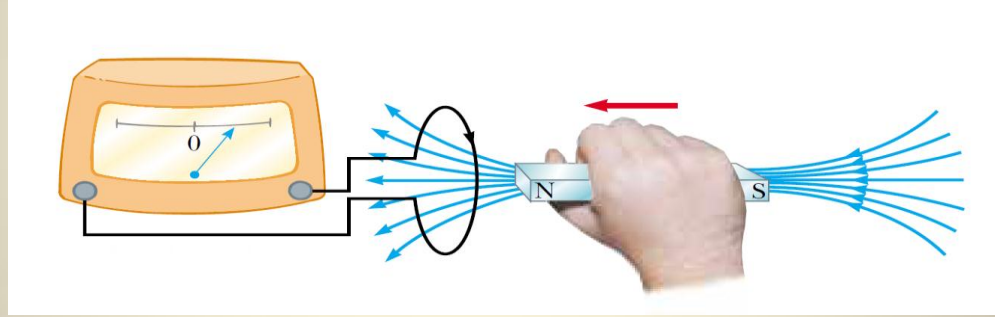
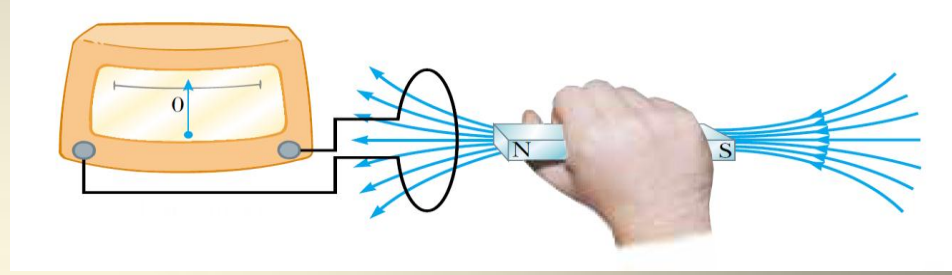
## قانون لنز

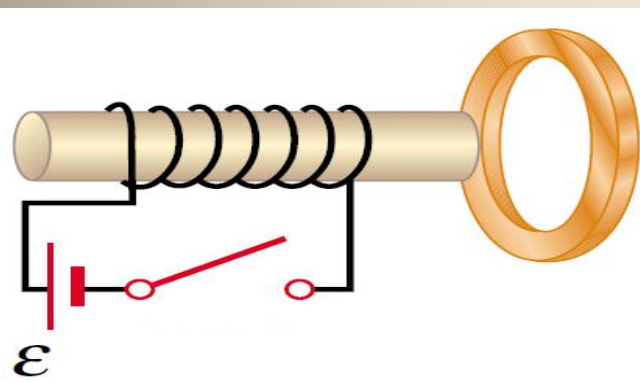
جهت جریان القایی ایجاد شده طوری است که با تغییر شار ایجاد کننده خود مخالفت

می کند.

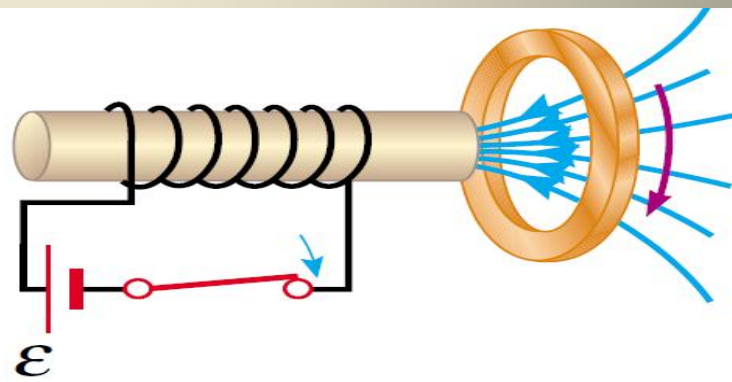
$$\overline{\mathcal{E}} = -\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$



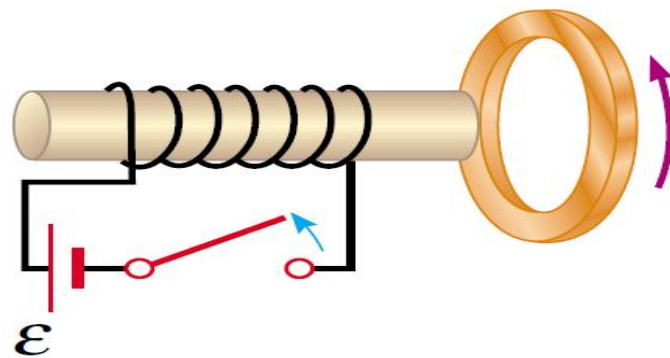




(a)



(b)



## نکته های قانون القای فارادی و قانون لنز

(۱) علامت منفی در رابطه فوق قراردادی است. در مسائل، بیشتر با مقدار  $\mathcal{E}$  کار

$$|\mathcal{E}| = \left| -\frac{d\phi_B}{dt} \right|$$

داریم.

(۲) قانون لنز نتیجه مستقیم پایداری انرژی است.

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\phi_B}{dt}$$

(۳) اگر حلقه  $N$  دور باشد نیروی محرکه القایی برابر است با:

(۴) اگر مقاومت حلقه  $R$  باشد جریان القایی برابر است با:

$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{N}{R} \left| -\frac{d\phi_B}{dt} \right|$$

مثال: پیچه ای به مقاومت  $3\ \Omega$  و مساحت  $8\text{cm}^2$  و ۲۵ دور سیم پیچی در نظر بگیرید.

صفحه این پیچه عمود بر میدان مغناطیسی وابسته به زمان  $B(t) = (0.4t - 0.3t^2)(T)$  است. الف) شار گذرنده از پیچه را به صورت تابعی از زمان به دست آورید.

پاسخ:

$$A = 8\text{cm}^2 = 8 \times 10^{-4}\text{ m}^2$$

$$\theta = 0^\circ \Rightarrow \cos \theta = 1$$

$$\begin{aligned}\phi_B &= BA \cos \theta = (0.4t - 0.3t^2) \times 8 \times 10^{-4} \\ &= (3/2t - 2/4t^2) \times 10^{-4}\text{ Wb}\end{aligned}$$

مثال: پیچه ای به مقاومت  $3 \Omega$  و مساحت  $8 \text{ cm}^2$  و ۲۵ دور سیم پیچی در نظر بگیرید.

صفحه این پیچه عمود بر میدان مغناطیسی وابسته به زمان  $B(t) = (0.4t - 0.3t^2)(T)$

است. (ب) جریان القا شده در لحظه  $t = 1 \text{ s}$  چقدر است؟

پاسخ: از قسمت قبل داریم:

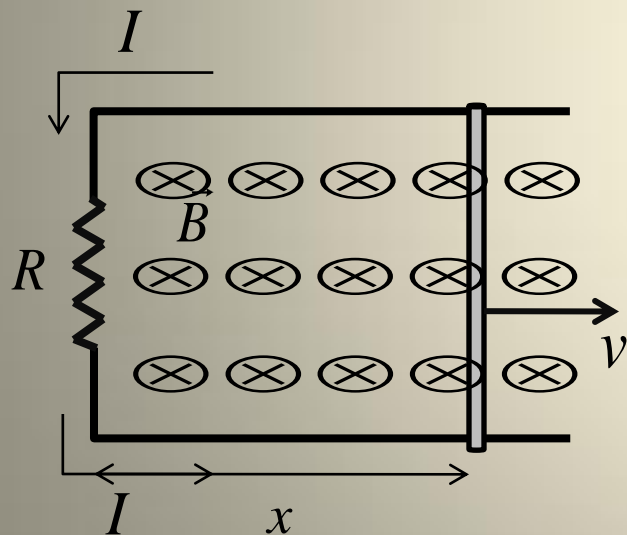
$$\phi_B = (3/2t - 2/4t^2) \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$N = 25 \quad R = 3 \Omega$$

$$I = \frac{N}{R} \left| -\frac{d\phi}{dt} \right| = \frac{25}{3} \left| -(3/2 - 4/8t) \times 10^{-4} \right|$$

$$t = 1 \text{ s} \Rightarrow I = 13/3 \times 10^{-4} \text{ A}$$

مثال: میله ای به طول  $l$  با سرعت  $v$  روی ریل های رسانا که به مقاومت  $R$  ختم می شوند در حرکت است. کل این سیستم بر میدان مغناطیسی  $B$  عمود است. الف) نیروی محرکه القایی، جهت و اندازه جریان القایی و توان مصرفی در مقاومت را بیابید.



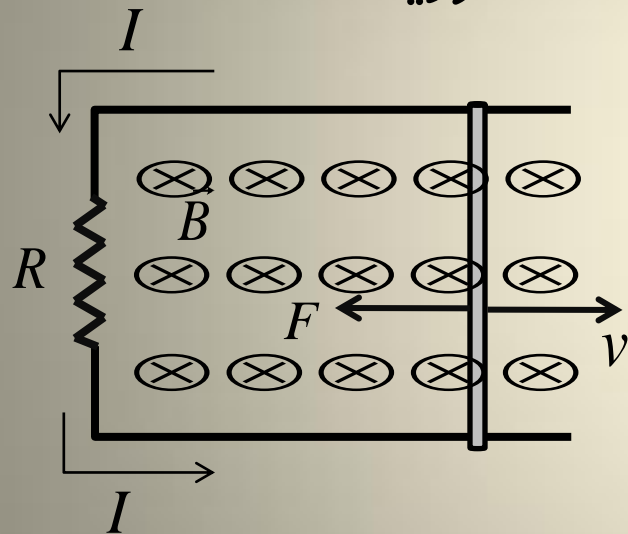
پاسخ:

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi_B}{dt} = \frac{d(BA)}{dt} = \frac{d(Blx)}{dt}$$

$$= Bl \frac{dx}{dt} = Blv$$

$$I = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{Blv}{R} \Rightarrow P_R = RI^2 = \frac{(Blv)^2}{R}$$

مثال: میله ای به طول  $l$  با سرعت  $v$  روی ریل های رسانا که به مقاومت  $R$  ختم می شوند در حرکت است. کل این سیستم بر میدان مغناطیسی  $B$  عمود است. (ب) توان لازم برای کشیدن این میله را به دست آورید.



پاسخ:

$$F = IlB$$

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{Fdx}{dt} = Fv$$

$$= IlBv = \left( \frac{Blv}{R} \right) lBv = \frac{(Blv)^2}{R} = P_R$$

انرژی مکانیکی تامین شده توسط عامل خارجی به انرژی الکتریکی تبدیل شده و به صورت گرما در مقاومت تلف می شود.

بخش سوم:

منشأ نیروی محرکه القای



## منشأ نیروی محرکه القایی

از قبل می دانیم:

$$\varepsilon = \frac{W_{ne}}{q} = \frac{1}{q} \oint \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$W_{ne}$  کاری است که چشمه مولد الکتریکی در حین حرکت واحد بار الکتریکی در

طول مداری بسته انجام می دهد. از طرفی :

$$\vec{F} = q \left( \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right)$$

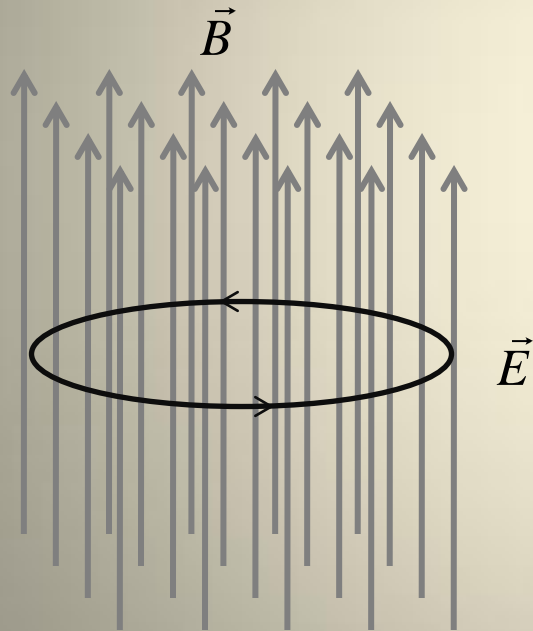
$$\varepsilon = \oint \left( \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right) \cdot d\vec{l} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} + \oint \left( \vec{v} \times \vec{B} \right) \cdot d\vec{l}$$

انتگرال اول مربوط به میدان الکتریکی القایی است و انتگرال دوم نیروی محرک الکتریکی حرکتی

نام دارد.

## میدان الکتریکی القایی

برای یک میدان مغناطیسی که عمود بر صفحه ای باشد و با زمان تغییر کند داریم:



$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt} = -A \frac{dB}{dt}$$

به عبارتی در هر مسیر بسته ای که  
میدان مغناطیسی گذرنده از آن در حال  
تغییر باشد میدان الکتریکی القایی پدید  
می آید.

فرق میدان الکتریکی القایی و میدان الکتروستاتیک:

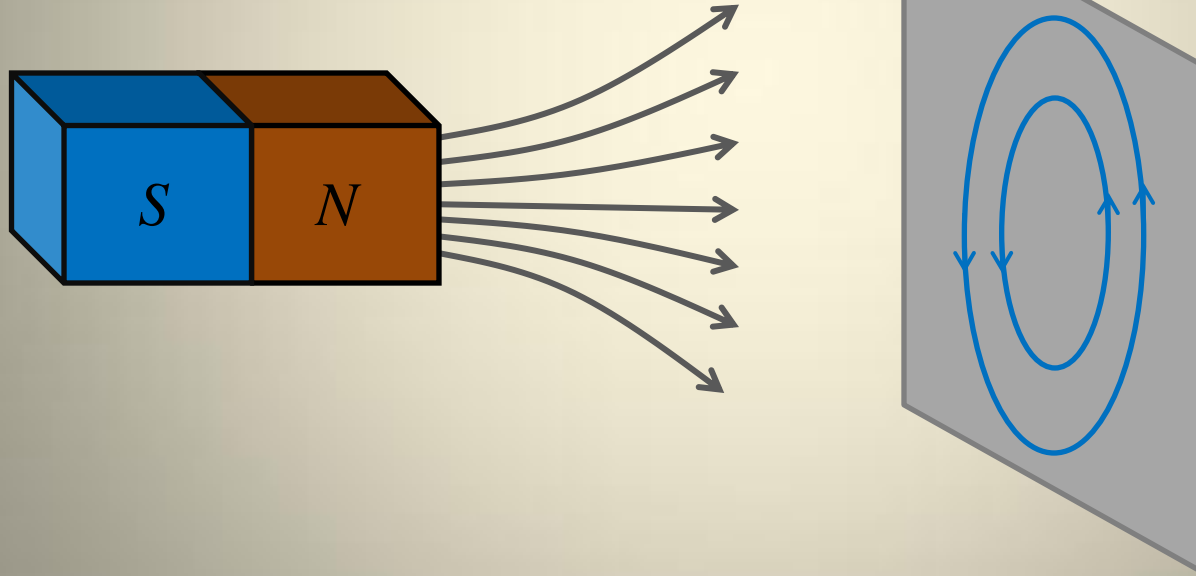
- (۱) میدان الکتریکی القایی به صورت حلقه های بسته می باشد اما خطوط میدان الکتریکی الکتروستاتیک از بار الکتریکی شروع و به بار الکتریکی ختم می شوند.
- (۲) میدان الکتریکی القایی میدانی ناپایستار است در حالی که میدان الکتروستاتیک میدانی پایستار می باشد.

بخش چهارم:

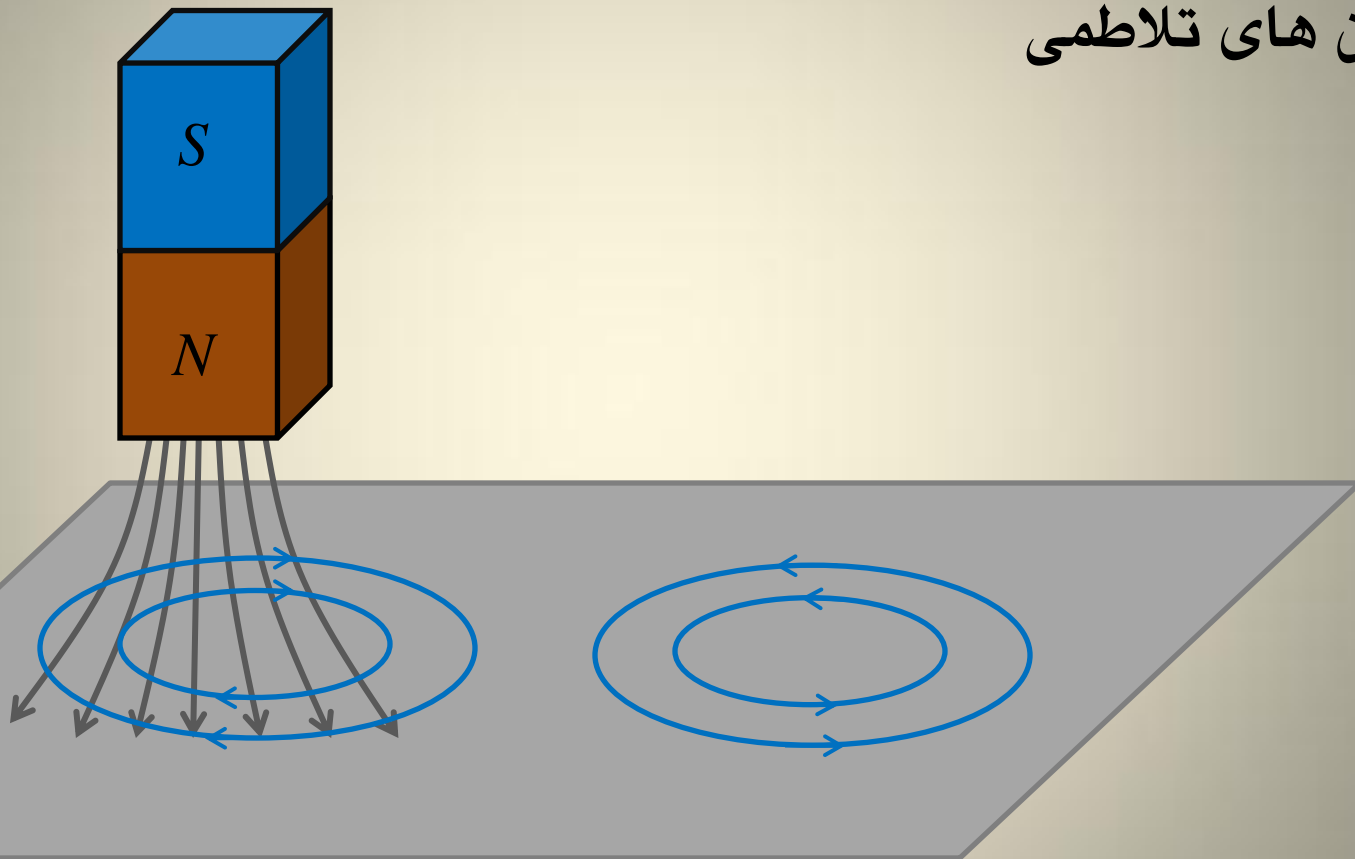
جریان های تلاطمی (گردابی)

## جریان های تلاطمی

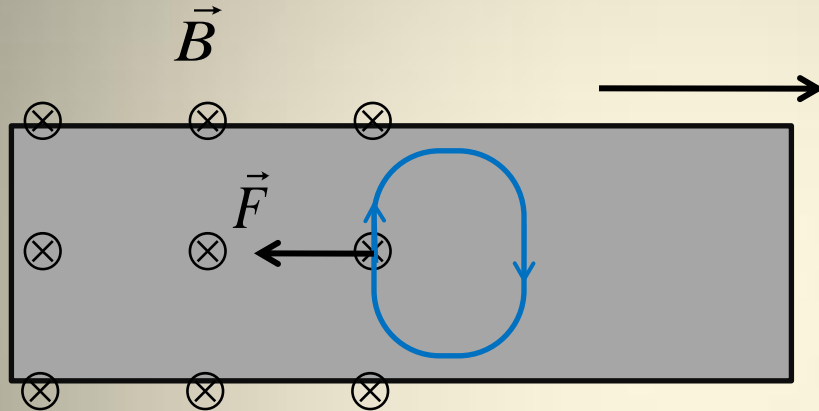
جریان هایی هستند که در اثر تغییر شار مغناطیسی روی سطح رسانا ایجاد می شوند.



# جریان های تلاطمی



## ترمز مغناطیسی



از نیروی کند کننده مغناطیسی برای از بین بردن نوسان های ترازو و پیچه گالوانومتر استفاده می شود. همچنین در جایی که استفاده از ترمزهای مکانیکی به دلیل اصطکاک بالا مقدور نیست می توان از این نیرو استفاده کرد.