



# مبانی مهندسی برق ۲

دکتر مسعود اصغری

## سرفصل‌ها

الکترومغناطیس

مبانی ماشین‌های الکتریکی جریان مستقیم

ژنراتورهای جریان مستقیم

موتورهای جریان مستقیم

## سرفصل‌ها

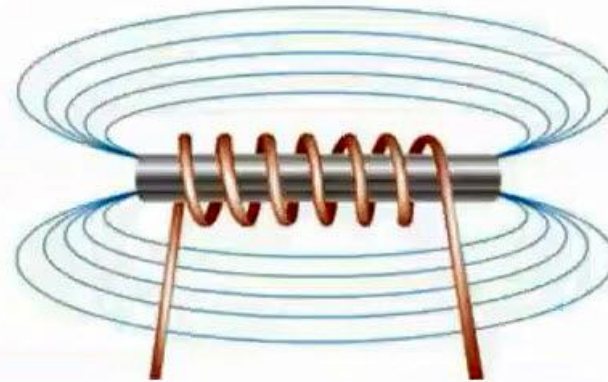
ترانسفورماتورها

ماشین‌های القایی آسنکرون

ماشین‌های سنکرون

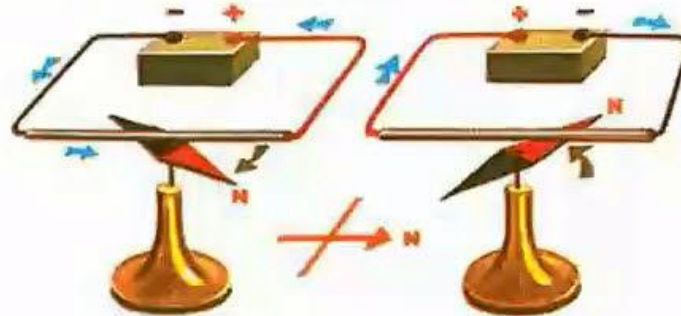
# فصل اول

## الکترومغناطیس



## الکترومغناطیس چیست؟

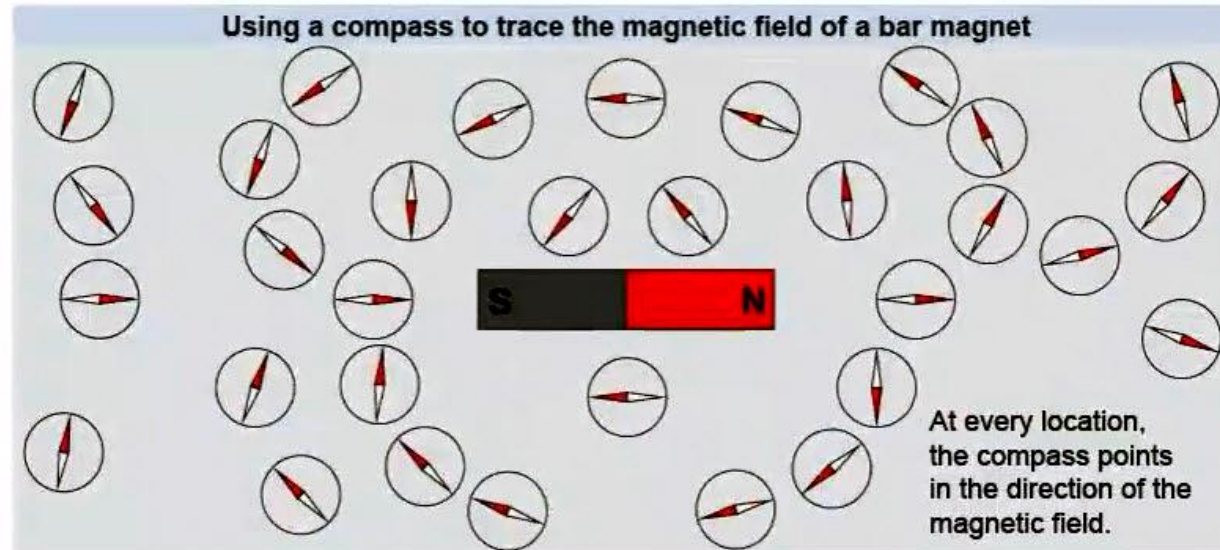
- شاخه‌ای از علم فیزیک است که به مطالعه پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی و ارتباط بین آنها می‌پردازد.
- اُرسِتد (Oersted) اولین کسی بود که ارتباط الکتریسیته و مغناطیس را درک کرد.



اُرسِتد با قرار دادن قطب‌نما در کنار هادی جریان الکتریکی متوجه شد که اگر جهت جریان را در هادی تغییر دهیم جهت قطب‌نماها عوض می‌شود. قطب‌نما نشان دهنده میدان مغناطیسی (جریان‌های مغناطیسی) می‌باشد.

# میدان مغناطیسی

- برای درک چگونگی اثرگذاری مواد مغناطیس بر اجسام اطراف، میدان مغناطیسی تعریف می‌شود.

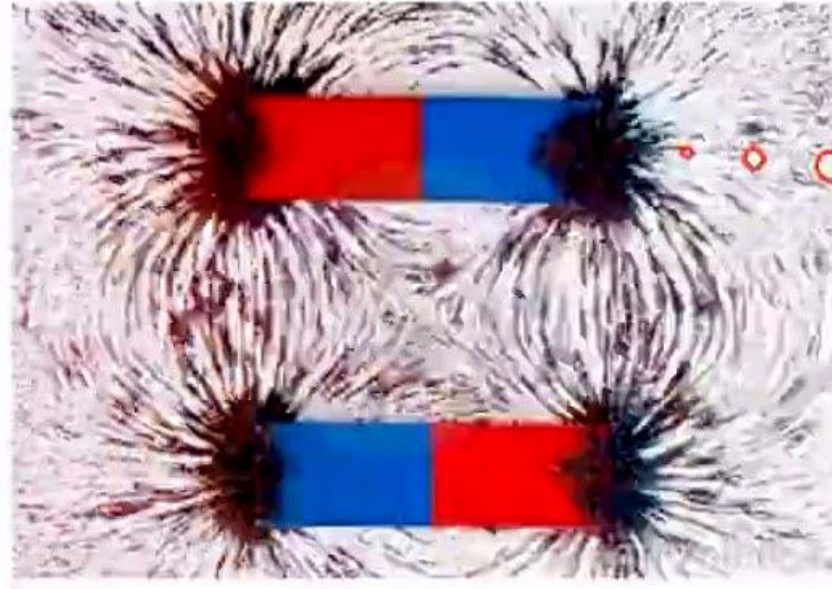


انحراف قطب‌نماها به دلیل نیروی مغناطیسی آهن‌ربا

اگر تعداد زیادی قطب‌نما در اطراف یک آهن‌ربا قرار دهیم جهت قطب‌نماها به جهات مختلفی خواهند بود در اصل به دلیل وجود میدان مغناطیسی در اطراف آهن‌ربا است که به اطراف خود نیرو وارد می‌کند و باعث می‌شود که جهت قطب‌نماها تغییر کند.

## میدان مغناطیسی

- برای درک چگونگی اثر گذاری مواد مغناطیس بر اجسام اطراف، میدان مغناطیسی تعریف می شود.

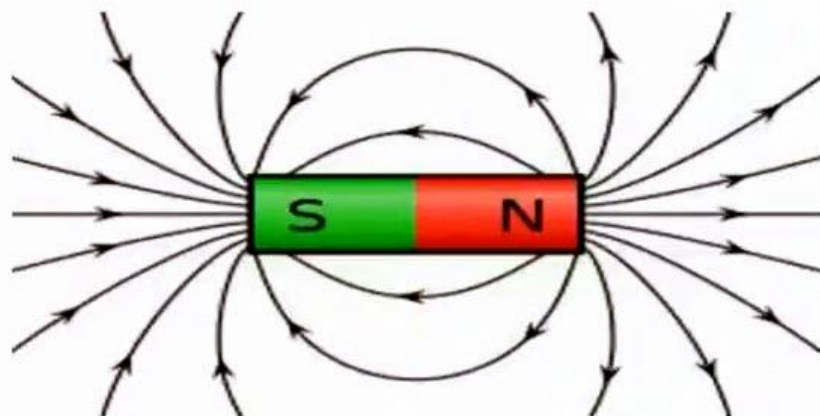


در یک صفحه دو تا آهن ربا با قطب های N و S قرار داده و مقداری براده آهن بطوریکه نواخت بریزید تجمع بیشتر براده های آهن در دو قطب بیشتر و هر چه از قطب ها دورتر، آنگاه تجمع کمتر می شود.



## خطوط میدان مغناطیسی

- قدرت میدان مغناطیسی در نقاط مختلف فضا، توسط خطوط میدان مشخص می‌شود.
- هر جا تراکم خطوط بیشتر بود، قدرت میدان مغناطیسی هم بیشتر است.
- به هر خط میدان مغناطیسی یک ماکسول (max) می‌گویند.



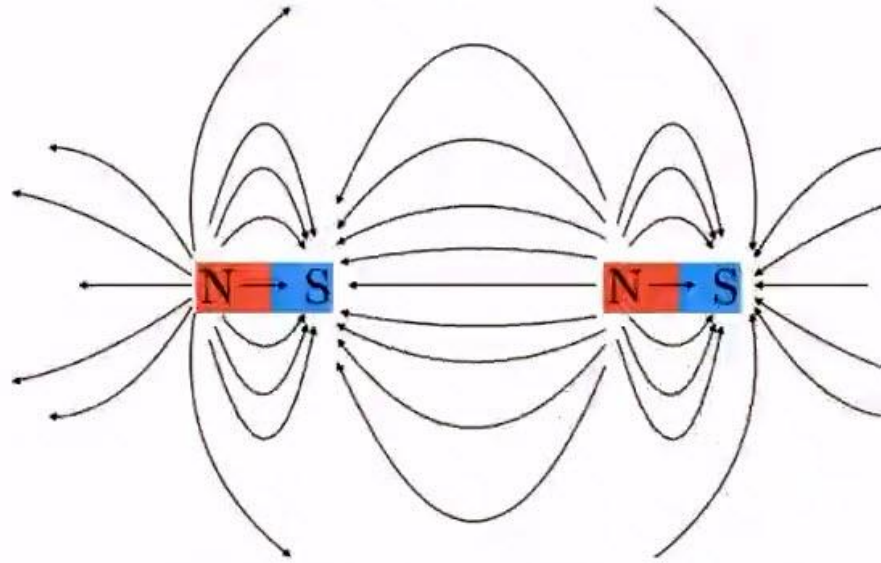
✓ تراکم در قطب‌ها بیشتر

✓ بصورت قراردادی خطوط از سر N خارج و به سر S وارد می‌شوند.



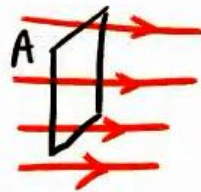
## خطوط میدان مغناطیسی

- خطوط میدان هیچ وقت همدیگر را قطع نمی‌کنند و بصورت قراردادی از قطب شمال خارج شده و به قطب جنوب وارد می‌شوند.



## فوران (شار) مغناطیسی

- تعداد خطوط میدان مغناطیسی که از یک سطح عبور می‌کند را فوران مغناطیسی یا شار مغناطیسی آن سطح می‌گویند و با  $\varphi$  نمایش می‌دهند.
- واحد شار مغناطیسی ولت در ثانیه است که به اختصار به آن وِبر (weber) می‌گویند.



- یک وبر معادل  $10^8$  خط نیروی مغناطیسی یا ماکسول است.

$$1 [v \cdot sec] = 1 [wb] = 10^8 [max]$$

## مثال

- شار مغناطیسی یک آهنربا برابر  $2/5$  میلی وبر است. شار این آهنربا چند ماکسول است؟

## مثال

• شار مغناطیسی یک آهنربا برابر ۲/۵ میلی وبر است. شار این آهنربا چند ماکسول

است؟

$$\varphi = 2,5 \text{ mW} = 2,5 \times \frac{1 \text{ W}}{10^3 \text{ mW}} = 25 \times 10^{-4} \text{ W}$$

$$N = 25 \times 10^{-2} \cancel{\text{W}} \times \frac{10^8 \text{ max}}{1 \cancel{\text{W}}} = 25 \times 10^{+2} \text{ max}$$

## چگالی شار مغناطیسی

- برای مقایسه قدرت میدان مغناطیسی مواد مختلف کمیتی به اسم چگالی شار

$$B = \frac{\phi}{A}$$

مغناطیسی تعریف می شود و با  $B$  نمایش می دهند.

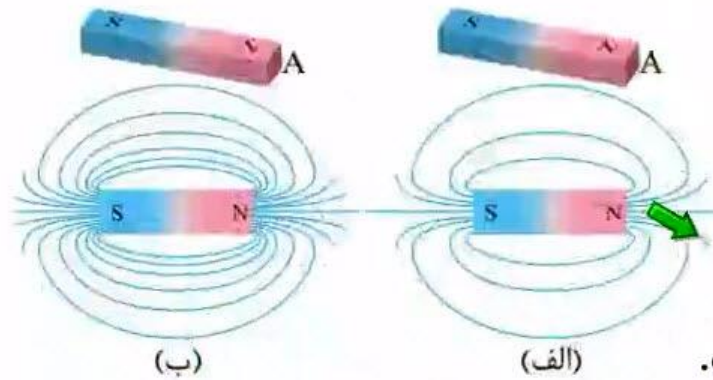
$\phi$  فوران مغناطیسی بر حسب وبر  $wb$

$A$  مساحت مقطعی که فوران مغناطیسی  $\phi$  از آن

می گذرد بر حسب مترمربع  $m^2$

$B$  چگالی فوران مغناطیسی بر حسب

$$\left[ \frac{wb}{m^2} \right] \text{ وبر بر مترمربع}$$



- واحد دیگر چگالی شار مغناطیسی تسلا (T) است.

خطوط میدان کمتر خطوط میدان بیشتر

## چگالی شار مغناطیسی

- واحد دیگر چگالی شار مغناطیسی ماکسول بر سانتی متر مربع است که به اختصار به آن **گاوس (G)** می گویند.

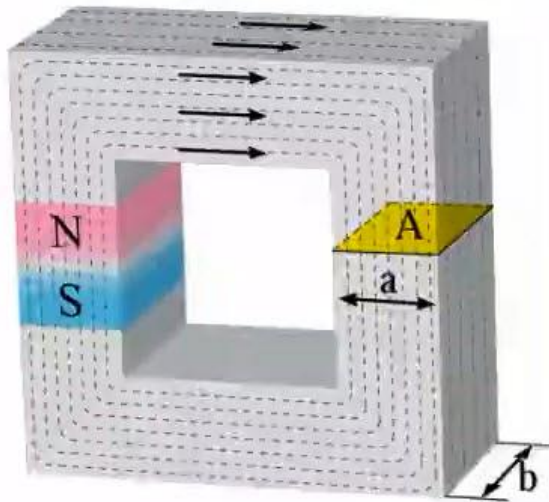
$$1 \left[ \frac{wb}{m^2} \right] = 1 [T] = 10^4 [G]$$

$$1 \frac{wb}{m^2} = \frac{10^8 \text{max}}{(10^2)^2 \text{cm}^2} = 10^4 G$$

## مثال

- آهنربایی با شار مغناطیسی  $0.02$  میلی وبر مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. چگالی شار مغناطیسی در سطح  $A$  را با واحدهای تسلا و گاوس بدست آورید.

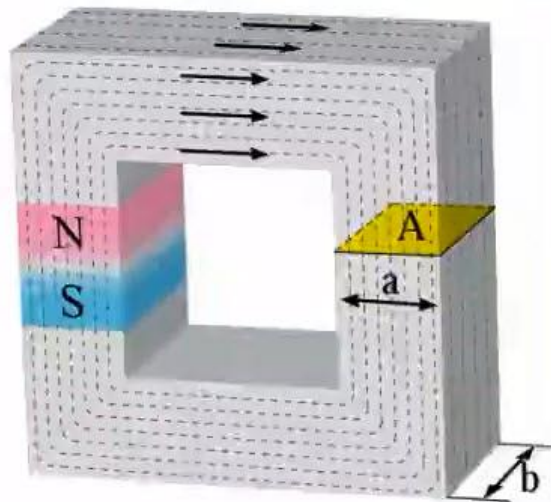
$$a=10\text{mm} \text{ و } b=20\text{mm}$$





## مثال

- آهنربایی با شار مغناطیسی  $0.02$  میلی وبر مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. چگالی شار مغناطیسی در سطح  $A$  را با واحدهای تسلا و گاوس بدست آورید.



$$a = 10 \text{ mm} \text{ و } b = 20 \text{ mm}$$



$$a = 0.01 \text{ m} \quad b = 0.02 \text{ m}$$

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

$$\varphi = 0.02 \text{ mWb} = 2 \times 10^{-2} \times 10^{-3} \text{ Wb} = 2 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

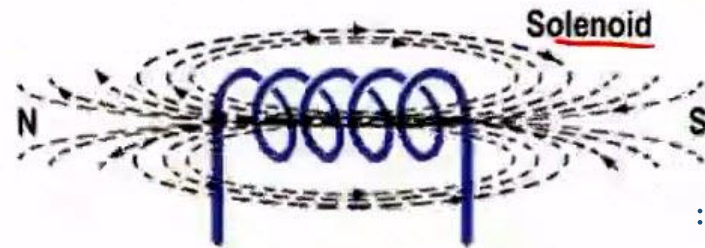
$$B = \frac{\varphi}{A} = \frac{2 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-4}} = 10^{-1} = 0.1 \text{ T}$$

$$B = 0.1 \text{ T} \times 10^4 \frac{\text{G}}{\text{T}} = 1000 \text{ G}$$

## میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

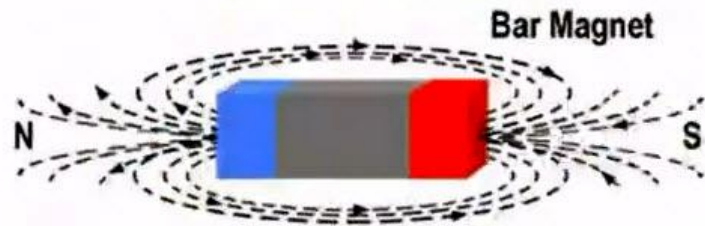
- جریان عبوری از هادی‌ها منجر به تولید میدان مغناطیسی می‌شود.
- جهت میدان مغناطیسی به جهت جریان بستگی دارد.

کاربردهای علمی



دو روش تولید میدان مغناطیسی :

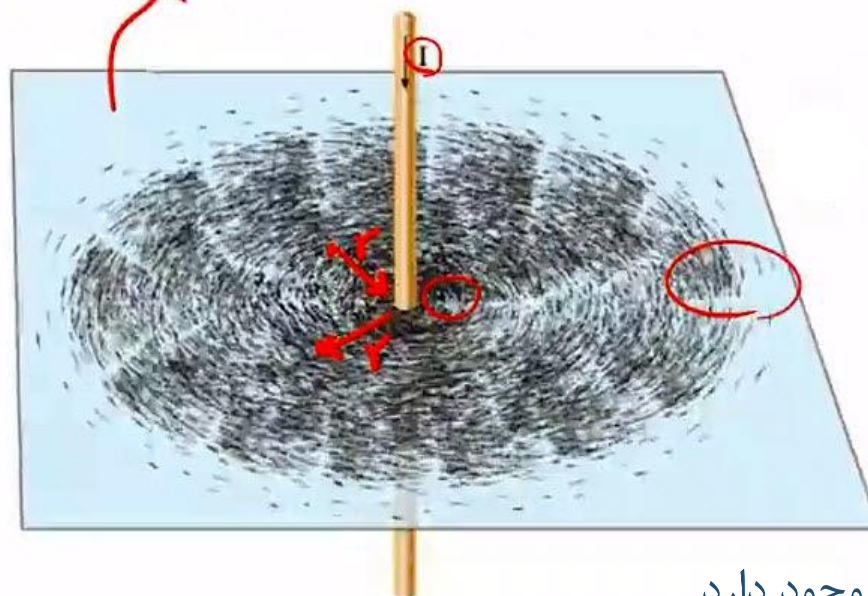
آهنربایی طبیعی یافت شده در طبیعت  
یا تولید شده در کارخانه‌های صنعتی



## میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

صفحه کاغذی

• آزمایش اُستند

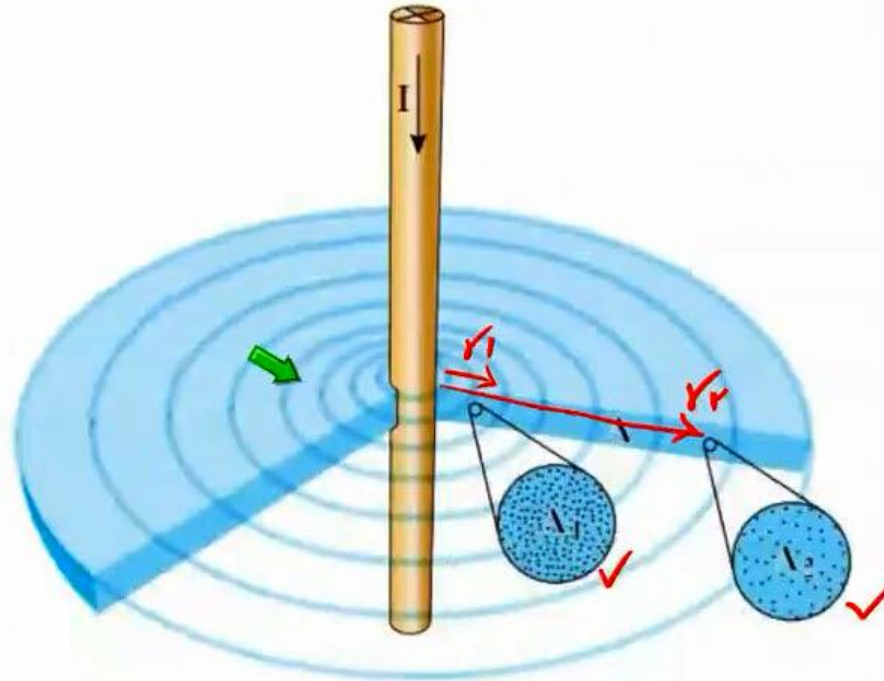


عبور هادی از وسط صفحه کاغذی :

- اطراف سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی وجود دارد.
- با پخش یکنواخت براده‌های آهن در اطراف نزدیک سیم، تراکم براده‌ها بیشتر و به مرور رفته رفته دورتر از سیم حامل جریان، تراکم کمتر و کمتر می‌شود.
- در زاویه‌های مختلف ولی با فاصله یکسان از سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی یکسان خواهد بود.

## میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

• آزمایش اُرستد

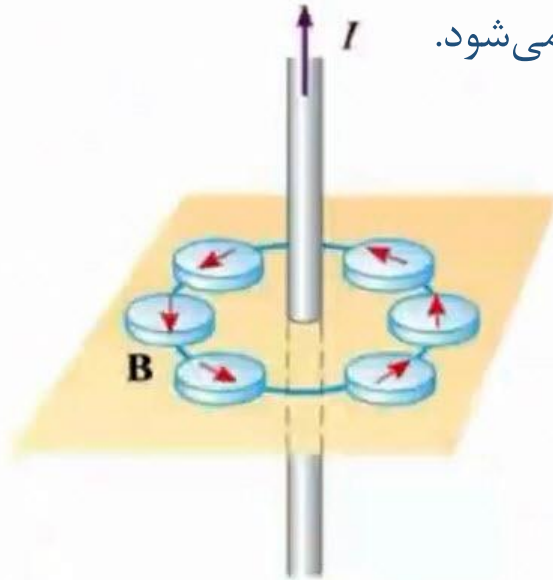


- خطوط میدان مغناطیسی بصورت دایروی همدیگر را قطع نمی کنند.
- تراکم میدان مغناطیسی در شعاع کمتر، بیشتر و شعاع بیشتر یا فاصله بیشتر از سیم حامل جریان، کمتر می شود.

# جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

دو روش تشخیص جهت میدان مغناطیسی :

- در اطراف سیم حامل جریان، تعدادی قطب‌نما قرار می‌دهیم و با توجه به جهت عقربه‌ها، جهت میدان مغناطیسی مشخص می‌شود.

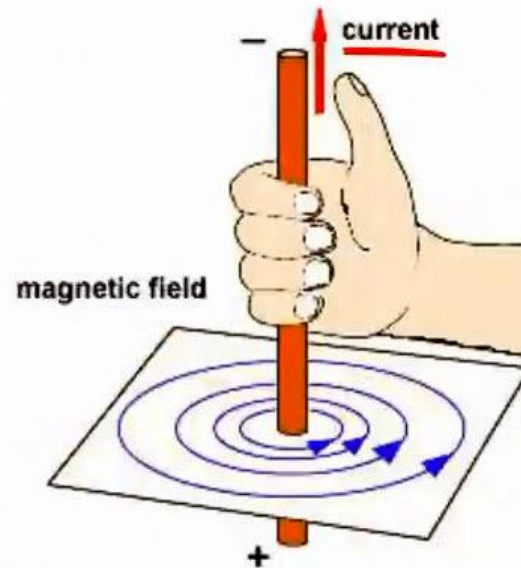


استفاده از قطب نما.

استفاده از قاعده دست راست.

در کاربردهای علمی:

- اگر انگشت شست در جهت جریان باشد جهت بسته شدن چهار انگشت، جهت میدان مغناطیسی خواهد بود.





## چگالی شار مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان

- آمپر و ماکسول دانشمندانی بودند که ثابت کردند چگالی فوران مغناطیسی (B) اطراف سیم حامل جریان با شدت جریان الکتریکی هادی نسبت مستقیم و با فاصله از هادی نسبت عکس دارد.

در این رابطه:

B چگالی فوران میدان مغناطیسی

بر حسب  $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$

K ضریبی است که به محیط اطراف هادی بستگی

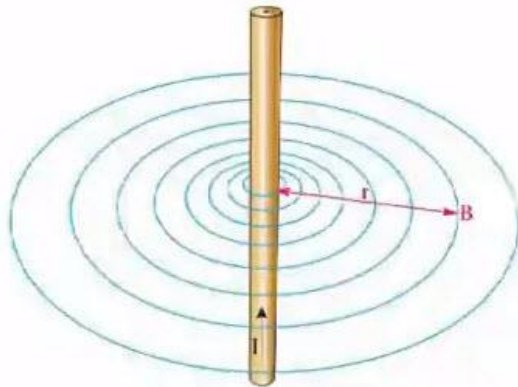
دارد و برای هوا مقدار آن  $2 \times 10^{-7}$  بر حسب  $\left[\frac{wb}{Am}\right]$  است.

I شدت جریان الکتریکی هادی بر حسب [A] ←

r فاصله از هادی بر حسب [m]

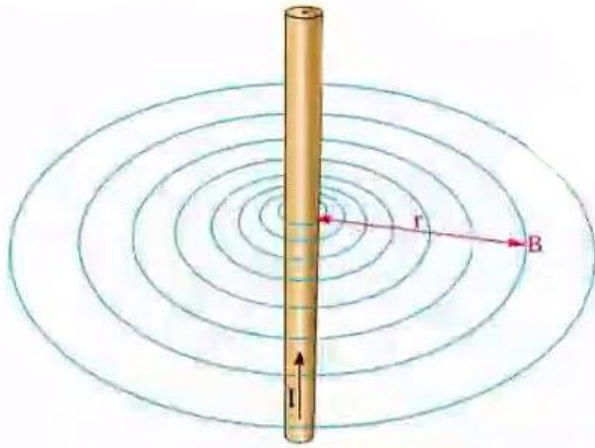
$$\begin{cases} B \propto I \\ B \propto \frac{1}{r} \end{cases}$$

$$B = k \frac{I}{r}$$



## مثال

- چگالی شار مغناطیسی در فاصله ۱ سانتی متری از هادی حامل جریان ۱۰ آمپر را بدست آورید.





## مثال

- چگالی شار مغناطیسی در فاصله ۱ سانتی متری از هادی حامل جریان ۱۰ آمپر را بدست آورید.

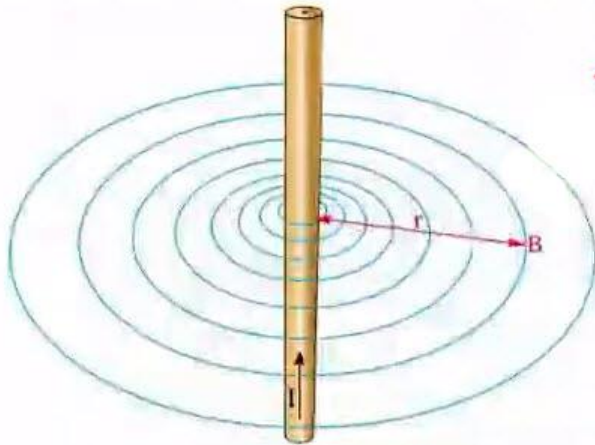
$$I_r = 50 \times 10 = 500 \text{ A}$$

$$r = 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$I = 10 \text{ A}$$

$$B = k \frac{I}{r} = 2 \times 10^{-7} \times \frac{10}{10^{-2}} = 2 \times 10^{-2} \text{ T}$$

$$B = 2 \times 10^{-2} \times 10^4 \text{ G} = \underline{2 \text{ G}}$$



- با افزایش جریان می‌توانیم میدان قوی‌تر داشته باشیم پس  $B$  و  $I$  با هم متناسب هستند اگر بخواهیم  $B$  را ۵۰ برابر کنیم باید جریان هم ۵۰ برابر شود.
- وقتی در صورت مساله به ضریب محیط اشاره نشود ضریب محیط را هوا در نظر می‌گیریم.
- ۲ گوس برای میدان مغناطیسی، چگالی شار مغناطیسی خیلی کمی است با روش مثال بعد جهت کارایی مطلوب، این مقدار را افزایش می‌دهیم.

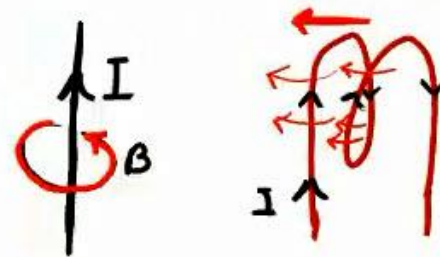
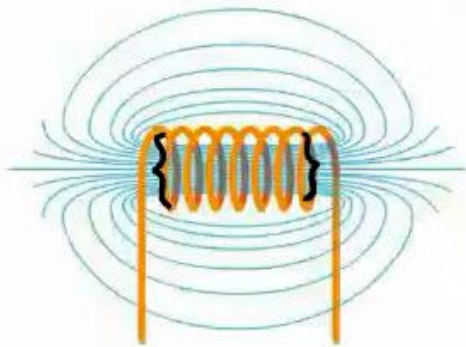
## میدان مغناطیسی سیم پیچ حامل جریان

- برای متمرکز کردن و قوی کردن میدان هادی حامل جریان، می‌توان آنرا به شکل



سیم پیچ یا سلنوئید درآورد.

- با طراحی مناسب، میدان داخل سیم پیچ یکنواخت خواهد شد.

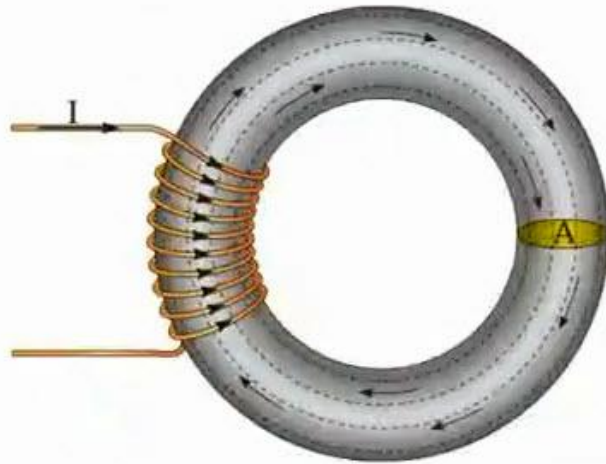


○ در سیم هادی صاف، بر اساس قاعده دست راست، انگشت شست نشانگر جریان و جهت تا شدن ۴ انگشت، نشانگر میدان است.

○ در سیم پیچ، بر اساس قانون دست راست، ۴ انگشت به سمت جریان سیم پیچ و انگشت شست، نشانگر جهت میدان است.

## میدان مغناطیسی سیم پیچ حامل جریان

- با قراردادن سیم پیچ بر روی هسته فرومغناطیس، میدان مغناطیسی نسبت به هسته هوا قوی تر می شود.

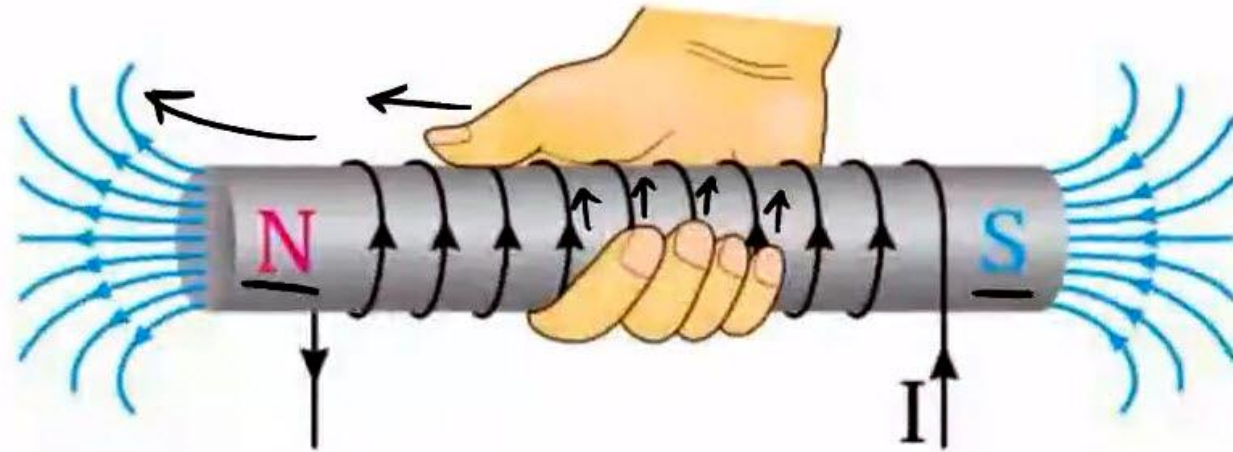


## جهت میدان مغناطیسی سیم پیچ حامل جریان

○ در سیم پیچ، بر اساس قانون دست راست، ۴ انگشت به سمت جریان سیم پیچ و انگشت شست، نشانگر جهت میدان است.

• استفاده از قاعده دست راست

• محل قطب‌های شمال و جنوب از روی جهت میدان مغناطیسی تعیین می‌شود.

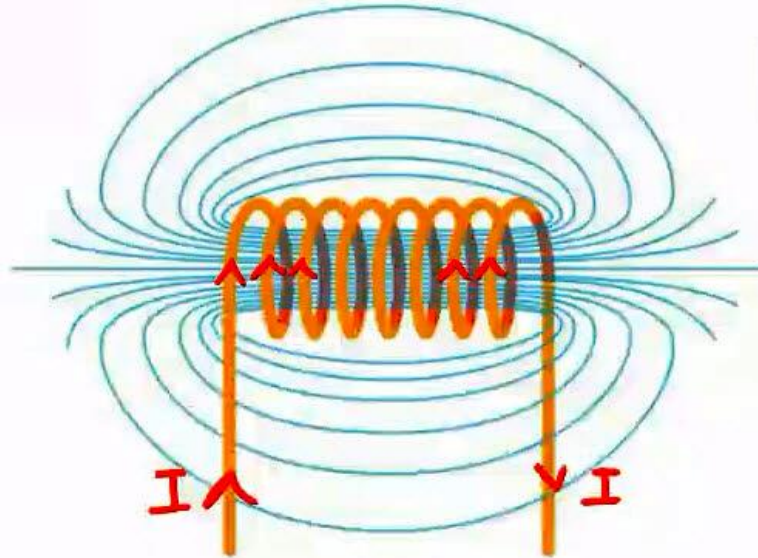


نحوه تشخیص قطب‌های N و S:

خطوط میدان مغناطیسی از N خارج و به S وارد می‌شوند.

## نیرو محرکه مغناطیسی سیم پیچ حامل جریان

- برآیند کل جریان‌های تولید کننده میدان مغناطیسی در سیم پیچ را نیرو محرکه مغناطیسی سیم پیچ می‌گویند.



$$\theta = NI$$

در این رابطه:

$\theta$  نیروی محرکه مغناطیسی بر حسب آمپر دور

[A.T]

N تعداد حلقه‌های سیم پیچ بر حسب دور

I شدت جریان الکتریکی سیم پیچ بر حسب

آمپر [A]

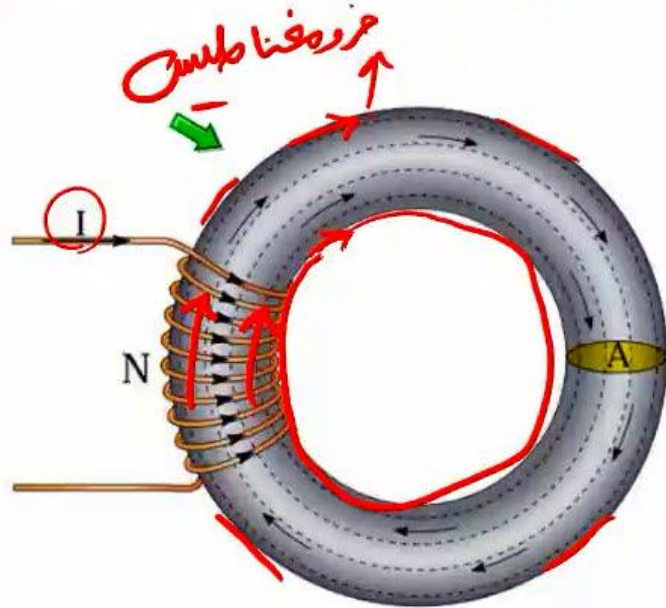
○  $\theta$  مشابه نیروی الکتریکی باتری است که در باتری باعث تولید جریان می‌شود.

○ A.T : Ampere. Turn آمپر. دور



## شدت میدان مغناطیسی

- شار مغناطیسی داخل یک هسته از تمام نقاط آن عبور می کند و همدیگر را قطع نمی کنند و تمام طول هسته را طی می کنند.



- نسبت نیرو محرکه مغناطیسی سیم پیچ به طول متوسط هسته را شدت میدان مغناطیسی می گویند و با H نمایش می دهند.

- طول متوسط هسته : برابند داخلی ترین (دایره کوچک وسطی) و بیرونی ترین مسیری (دایره بزرگ خارجی) که شار طی می کند.
- جهت شار مغناطیسی، فلش قرمز رنگ

## شدت میدان مغناطیسی

- شدت میدان مغناطیسی در واقع معیاری برای اثر جریان الکتریکی برای تولید میدان مغناطیسی است.

$$H = \frac{\theta}{l_c} = \frac{NI}{l_c}$$

H شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر دور بر متر  $\left[ \frac{A \cdot turn}{m} \right]$

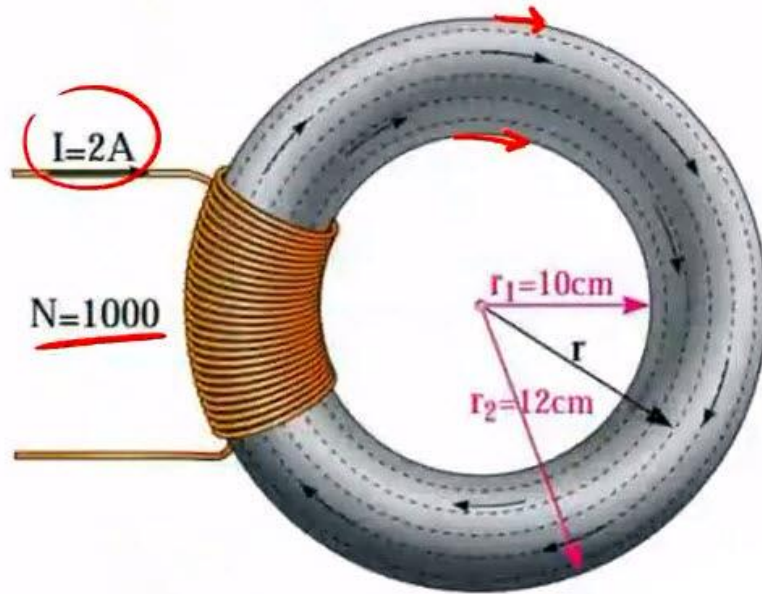
N تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ

$l_c$  طول متوسط هسته بر حسب متر [m]



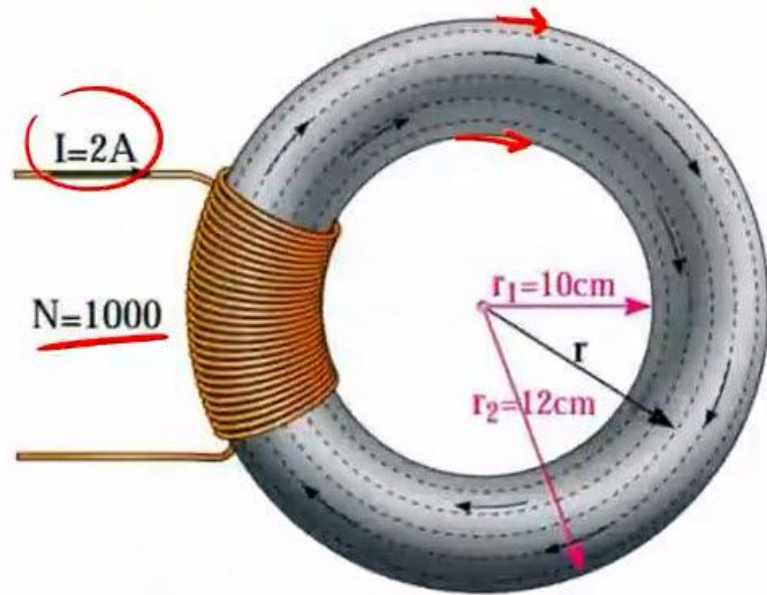
## مثال

- شدت میدان مغناطیسی سیم پیچ زیر را بدست آورید.



## مثال

• شدت میدان مغناطیسی سیم پیچ زیر را بدست آورید.



$$\Theta = NI = 1000 \times 2 = 2000 \text{ A-turn}$$

$$l_c = \frac{2\pi r_1 + 2\pi r_2}{2} = \pi(r_1 + r_2)$$

$$l_c = \pi \times 22cm = \frac{22\pi}{100} \text{ m}$$

$$H = \frac{\Theta}{l_c} = \frac{2000}{\frac{22\pi}{100}} = \frac{10^5}{11\pi} \text{ A-turn/m}$$

$$H = 2890,19 \text{ A-turn/m}$$

## ضریب نفوذ مغناطیسی

- برای مقایسه مواد مختلف از نظر عبور خطوط میدان مغناطیسی از آنها، ضریب نفوذ مغناطیسی تعریف می‌شود.
- به نسبت چگالی شار مغناطیسی به شدت میدان مغناطیسی، ضریب نفوذ مغناطیسی می‌گویند.

$$\mu = \frac{B}{H} \quad \left[ \frac{wb}{A.turn.m} \right]$$

○ ضریب نفوذ مغناطیسی در مواد مختلف، مقدارش متفاوت است، هر چقدر ضریب نفوذ مغناطیسی بیشتر باشد خطوط میدان راحت‌تر عبور می‌کنند یعنی اجازه نفوذ بیشتری می‌دهد.

## ضریب نفوذ مغناطیسی

- ضریب نفوذ مغناطیسی  $\mu$ ، معیاری است که میزان گذردهی هسته را در مقابل

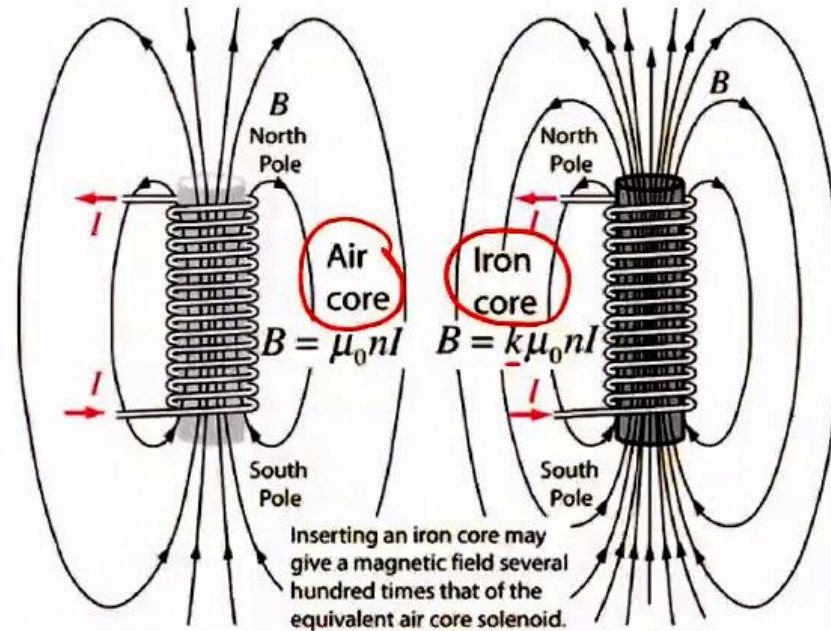
خطوط نیروی مغناطیسی نشان می‌دهد.  $\mu = \frac{B}{H} \rightsquigarrow B = \mu H$

- هرچه ضریب نفوذ هسته بزرگتر باشد آنگاه شدت میدان مغناطیسی  $H$ ، چگالی شار

مغناطیسی  $B$  قویتری در هسته تولید می‌کند.  $H = \frac{\theta}{l_c} = \frac{NI}{l_c}$

- اگر تعداد دور سیم پیچ و مقدار جریانی که از سیم پیچ عبور می‌کند و طول متوسط هسته یک مقدار ثابت باشند و بخواهیم میدان قوی‌تری داشته باشیم باید از یک ماده‌ای استفاده کنیم که ضریب نفوذ مغناطیسی بزرگتری داشته باشد.

## ضریب نفوذ مغناطیسی



سیم پیچ روی هوا بسته شده (هسته هوا)

چگالی شار مغناطیسی به شکل زیر بدست می‌آید.

$$B = \mu_0 n l$$

سیم پیچ روی هسته فرومغناطیس از جنس فولاد الکتریکی

با توجه به رابطه، چگالی شار مغناطیسی بزرگتری بخاطر ضریب  $k$  خواهیم داشت.

$$B = k \mu_0 n l$$

- به نسبت ضریب نفوذ هسته به ضریب نفوذ مغناطیسی هوا (خلا)، ضریب نفوذ نسبی می‌گویند.



## مثال

- چگالی شار مغناطیسی در هسته فولادی به طول متوسط ۲۰ سانتی متر که روی آن ۱۰۰۰ دور سیم حامل جریان ۱۰ میلی آمپر قرار دارد، برابر ۵۰۰۰ گاوس است. ضریب نفوذ مغناطیسی هسته را بدست آورید.

## مثال

• چگالی شار مغناطیسی در هسته فولادی به طول متوسط ۲۰ سانتی متر که روی آن ۱۰۰۰ دور سیم حامل جریان ۱۰ میلی آمپر قرار دارد، برابر  $5000$  گاوس است. ضریب نفوذ مغناطیسی هسته را بدست آورید.

$$l_c = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$$

$$N = 1000 \quad I = 10 \text{ mA} = 0.01 \text{ A} \quad B = 5000 \text{ G}$$

$$B = 5000 \text{ G} = 5000 \times 10^{-8} \text{ T} = 0.05 \text{ T}$$

$$H = \frac{NI}{l_c} = \frac{1000 \times 0.01}{0.2} = 50 \text{ A}\cdot\text{turn/m} \Rightarrow \mu = \frac{B}{H} = \frac{0.05}{50} = 10^{-2}$$

$$\frac{\text{wb}}{\text{A}\cdot\text{turn/m}}$$