



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
دانشگاه جیرفت

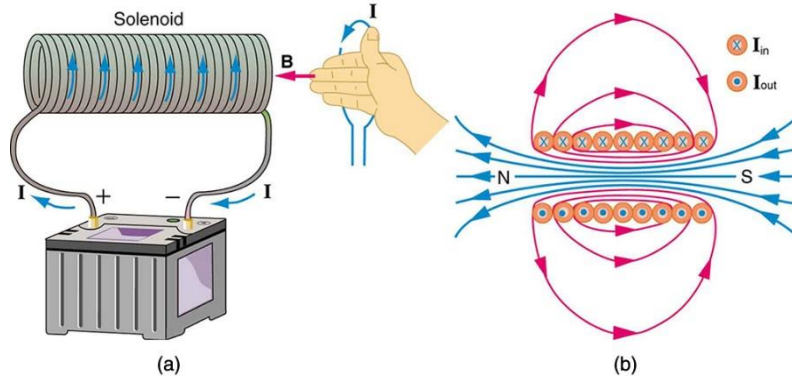
# مبانی برق ۲

درس یکم

مدرس: دکتر محمد علی محمدی



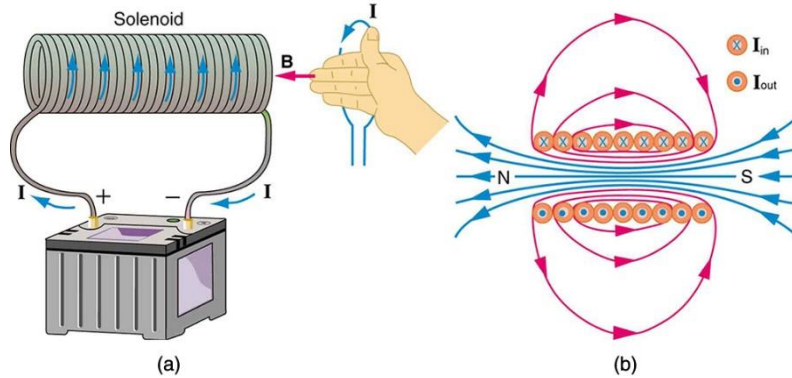
# الکترومغناطیس



- میدان مغناطیسی
- فوران (شار) مغناطیسی
- چگالی فوران مغناطیسی
- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان
- جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان
- چگالی فوران مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان
- میدان مغناطیسی سیم پیچ
- نیروی محرکه القایی سیم پیچ



# الکترومغناطیس (ادامه)

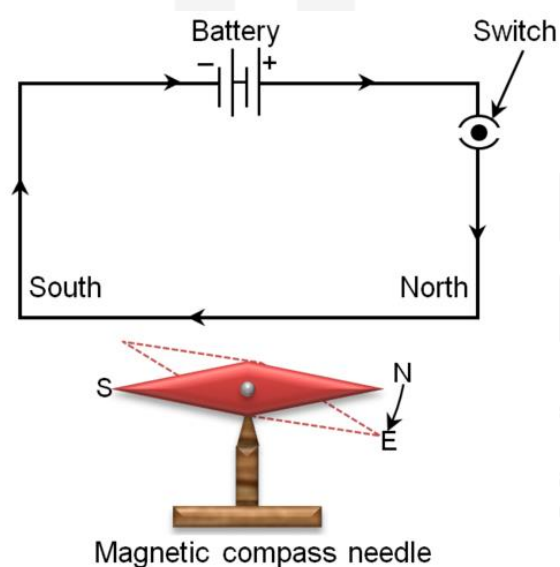
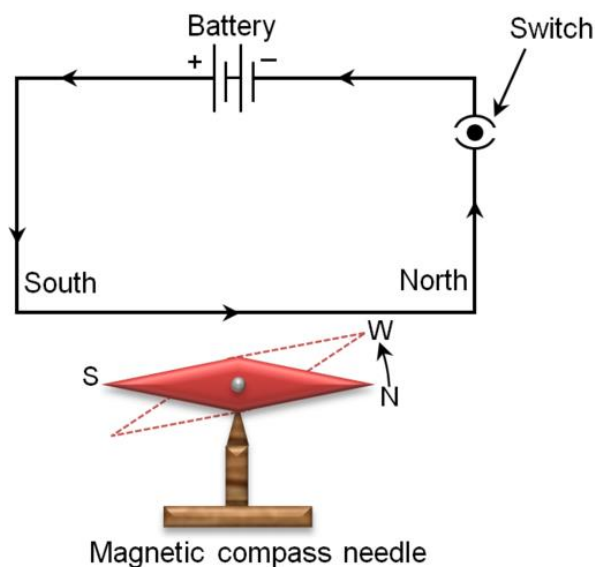


- شدت میدان مغناطیسی
- ضریب نفوذ مغناطیسی
- نواحی منحنی مغناطیسی
- ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی
- انواع مواد مغناطیسی
- حلقه هیستریزیس
- مدارهای مغناطیسی
- قوانین تحلیل مدارهای مغناطیسی



# الکترو مغناطیس چیست؟

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

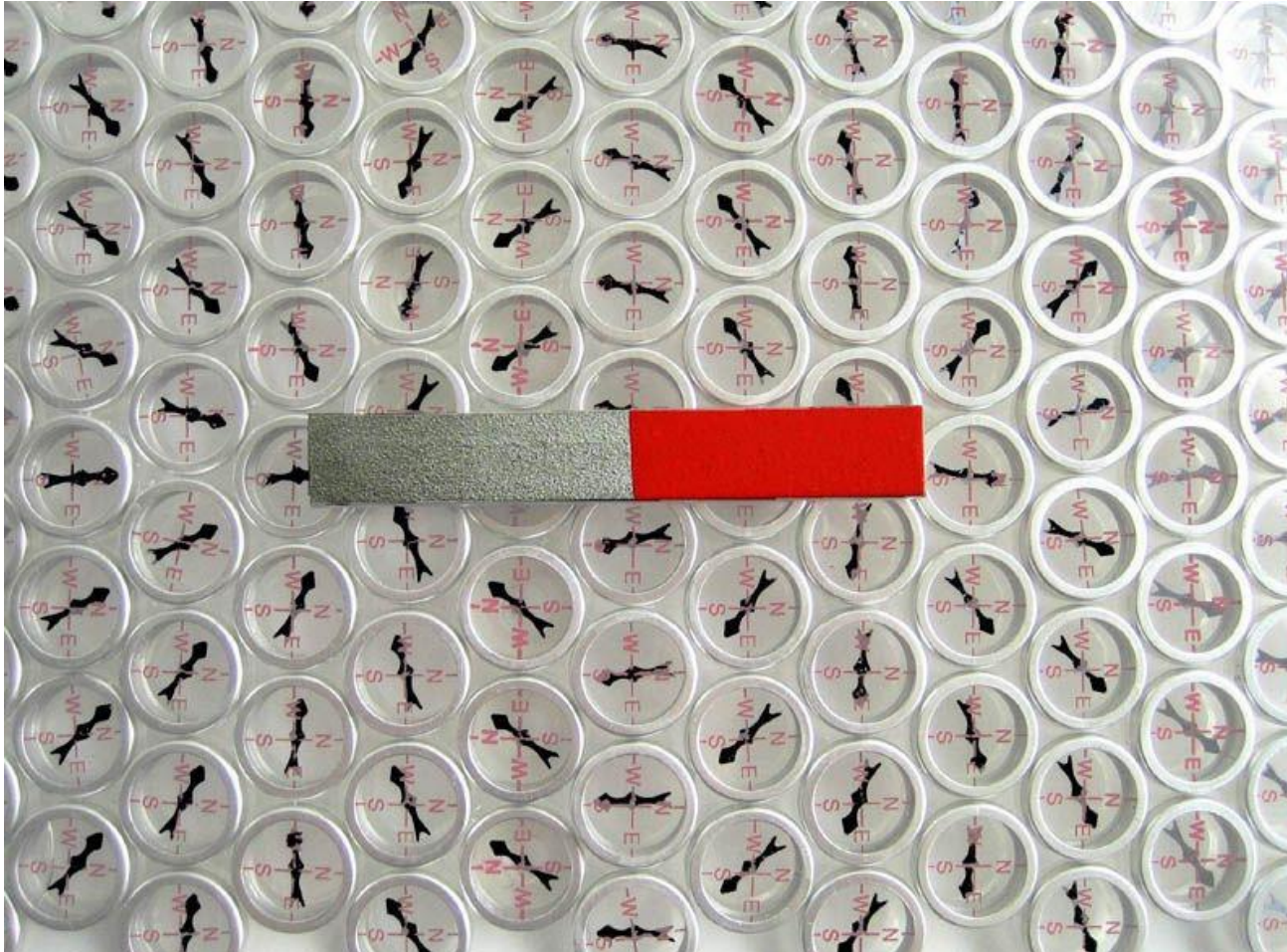




# میدان مغناطیسی



- برای درک بهتر چگونگی اثر گذاری مواد مغناطیسی بر اجسام اطراف، میدان مغناطیسی تعریف می‌شود.



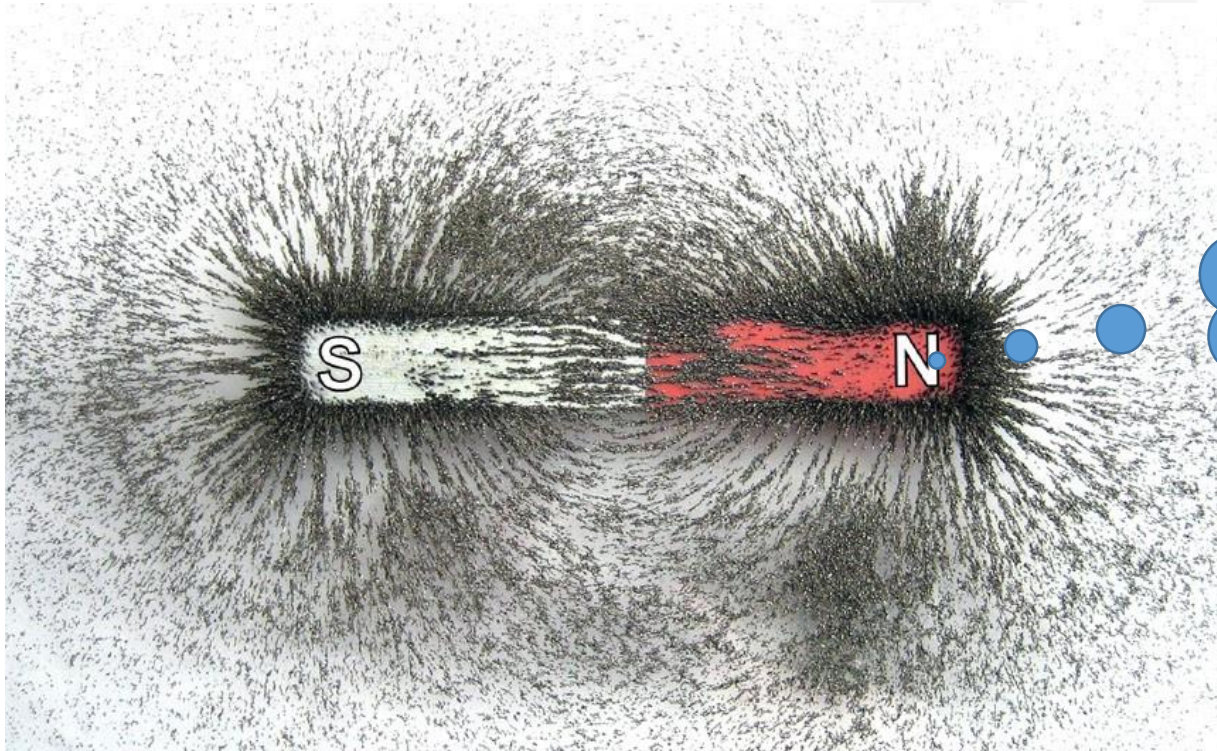




# میدان مغناطیسی



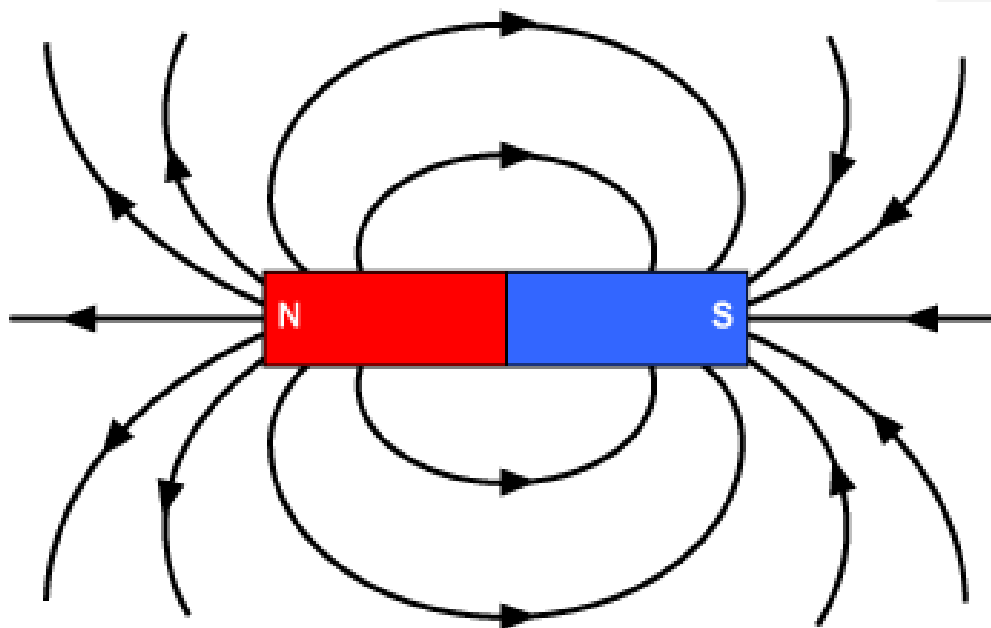
- برای درک بهتر چگونگی اثر گذاری مواد مغناطیسی بر اجسام اطراف، میدان مغناطیسی تعریف می‌شود.



قطبها



# خطوط میدان مغناطیسی

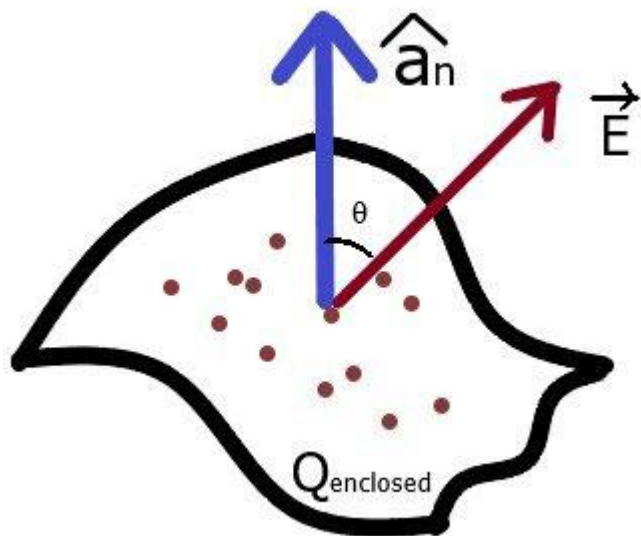


- قدرت خطوط میدان مغناطیسی در نقاط مختلف فضا، توسط خطوط میدان مشخص می‌شوند.
- هر جا تراکم خطوط بیشتر باشد، قدرت میدان مغناطیسی هم بیشتر است.
- به هر خط میدان مغناطیسی یک ماکسول (MAX) می‌گویند.
- خطوط میدان مغناطیسی هیچ گاه یکدیگر را قطع نمی‌کنند.
- به صورت قراردادی از قطب شمال خارج و به قطب جنوب وارد 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  $\phi$  نمایش می‌دهند.
- واحد شار مغناطیسی ولت در ثانیه است که به اختصار به آن وبر (Weber) می‌گویند.



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

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





# مثال



• شار مغناطیسی یک آهنربا برابر  $\frac{2}{5}$  میلی وبر است. شار این آهنربا چند ماکسول است؟





# چگالی شار (فوران) مغناطیسی

- آهنربای سمت چپ قویتر
- برای مقایسه قدرت میدان مغناطیسی مواد مختلف کمیتی به نام چگالی شار مغناطیسی تعریف می‌شود و با  $B$  نمایش می‌دهند.  $B = \frac{\phi}{A}$

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

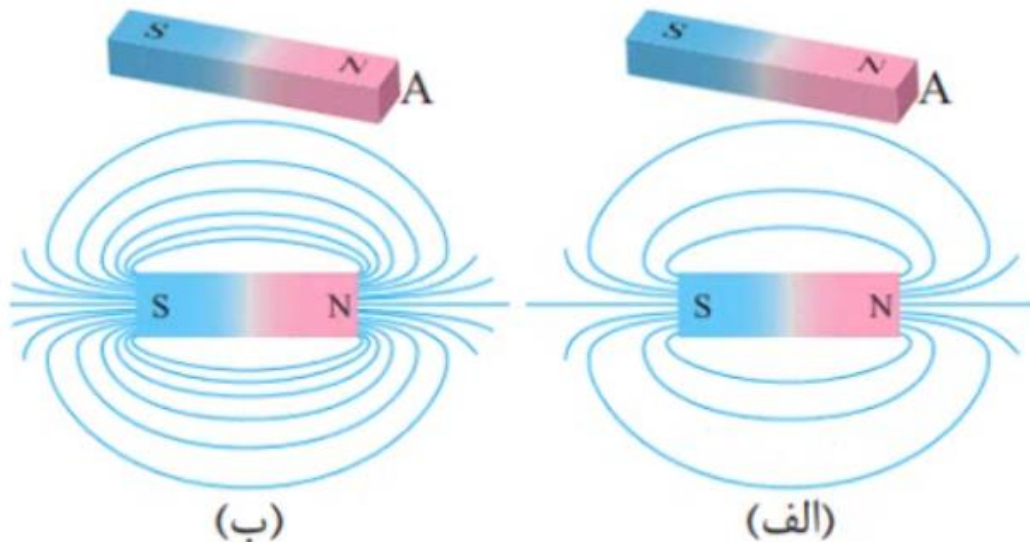
$A$  مساحت مقطعی که فوران مغناطیسی  $\phi$  از آن

می‌گذرد بر حسب مترمربع  $m^2$

$B$  چگالی فوران مغناطیسی بر حسب

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

- این واحد را به اختصار با  $T$  یا تسلا هم نشان می‌دهند.





# چگالی شار (فوران) مغناطیسی



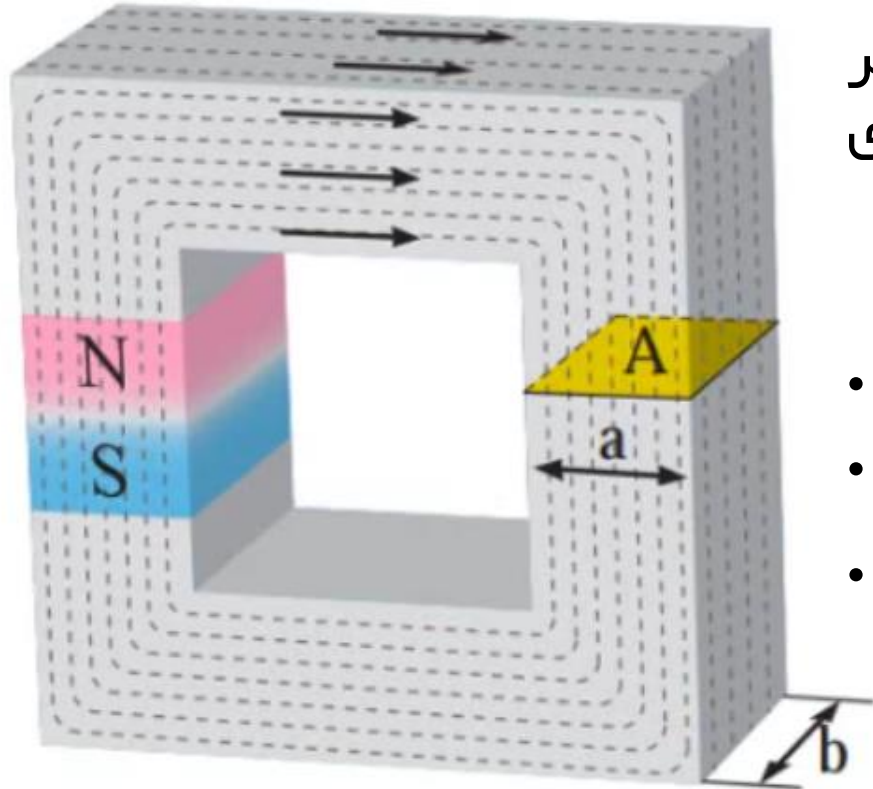
- تسلا یک واحد بزرگ است.

- واحد دیگر چگالی شار مغناطیسی ماکسول بر سانتی‌متر مربع است که به اختصار به آن **گاوس (G)** می‌گویند.

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



# مثال



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

• آهنربایی با شار مغناطیسی  $0.02\text{ Wb}$  میلی وبر را مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. چگالی شار مغناطیسی در سطح  $A$  را با واحدهای تسلا و گاوس بدست آورید.

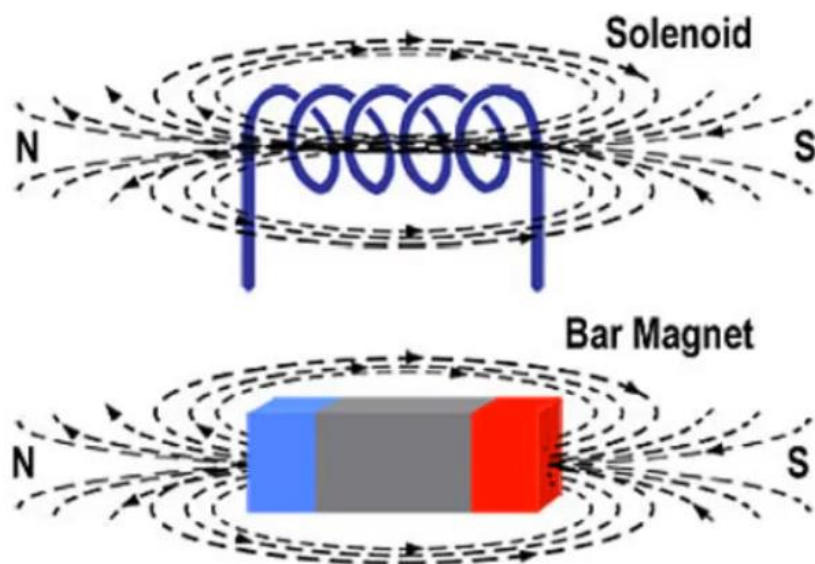
• بر حسب متر:  $a=0.01\text{ m}$  و  $b=0.02\text{ m}$

- $A = a \times b = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- $\phi = 0.02 \text{ Wb} = 2 \times 10^{-2} \times 10^{-3} \text{ Wb} = 2 \times 10^{-5} \text{ Wb}$
- $B = \frac{\phi}{A} = \frac{2 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-4}} = 0.1 \text{ T} = 0.1 \times \frac{10^4 \text{ G}}{1 \text{ T}} = 1000 \text{ G}$



# میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

- روش‌های تولید میدان مغناطیسی: ۱ - آهنربا ۲ - سیم حامل جریان
- جریان عبوری از هادی‌ها منجر به تولید میدان مغناطیسی می‌شود.
- جهت میدان مغناطیسی به جهت جریان بستگی دارد.







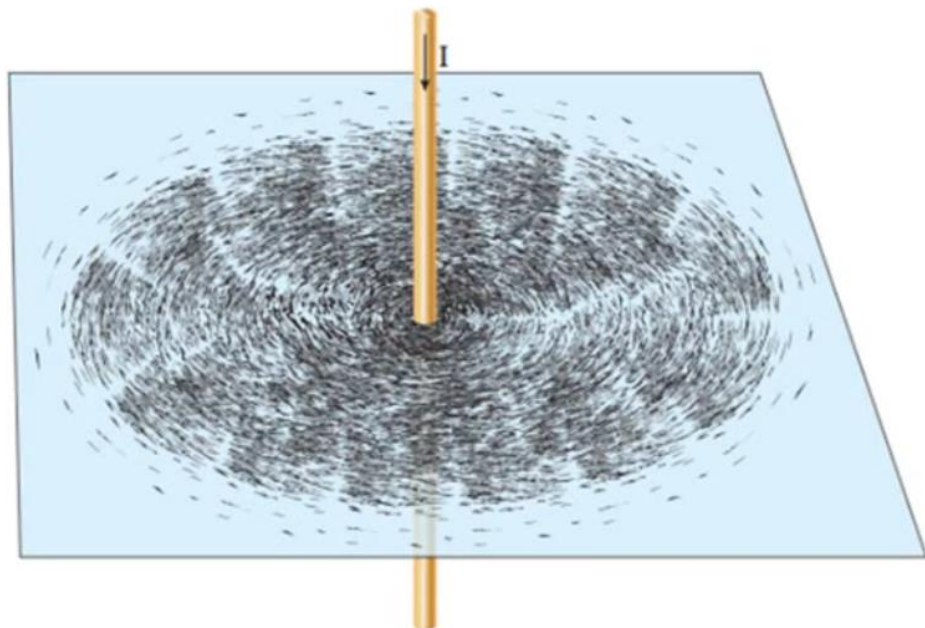
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
دانشگاه جیرفت

# میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان



• آزمایش اُرستد

• براده‌های آهن بر صفحه کاغذی.



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
دانشگاه جیرفت

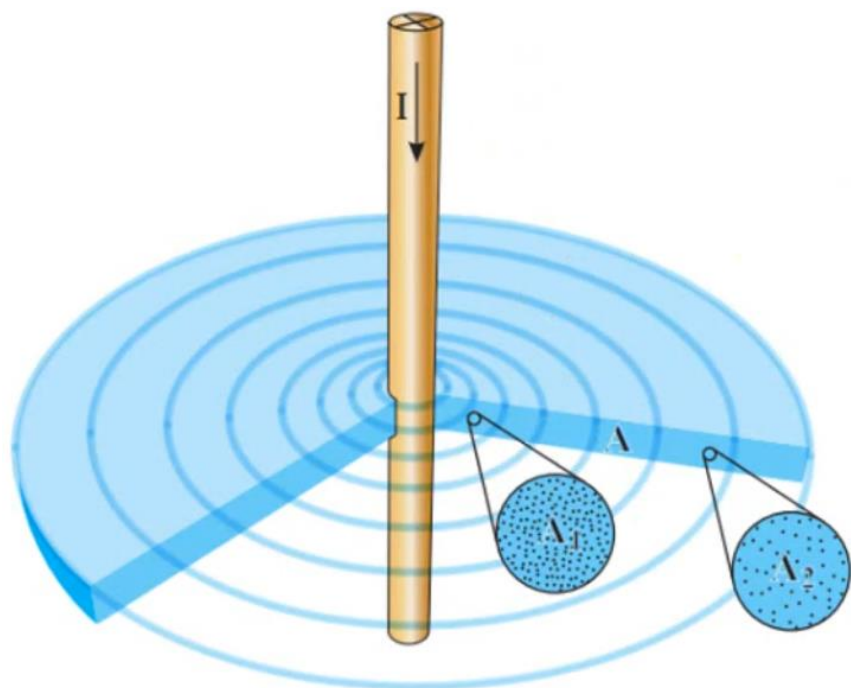


# میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان



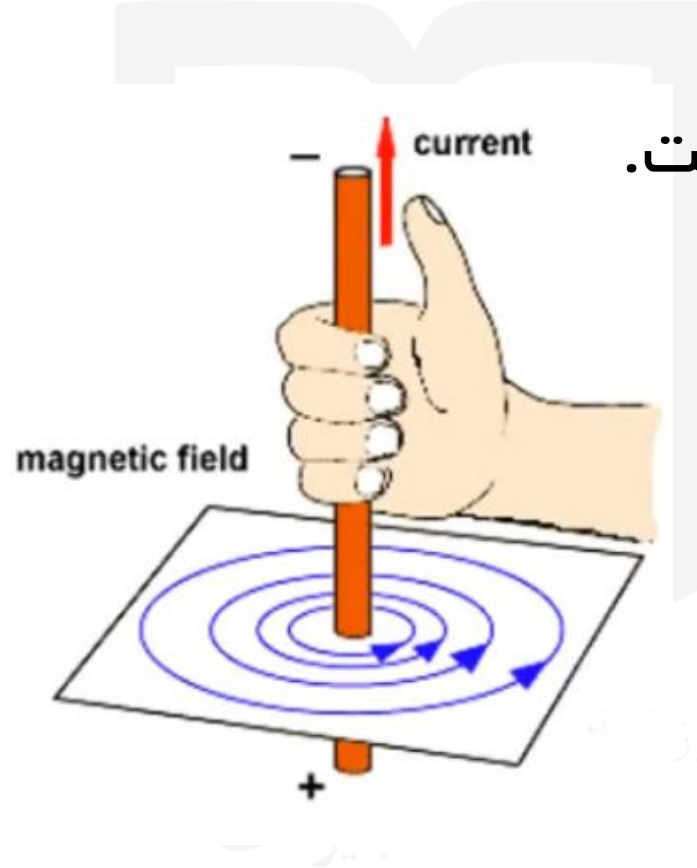
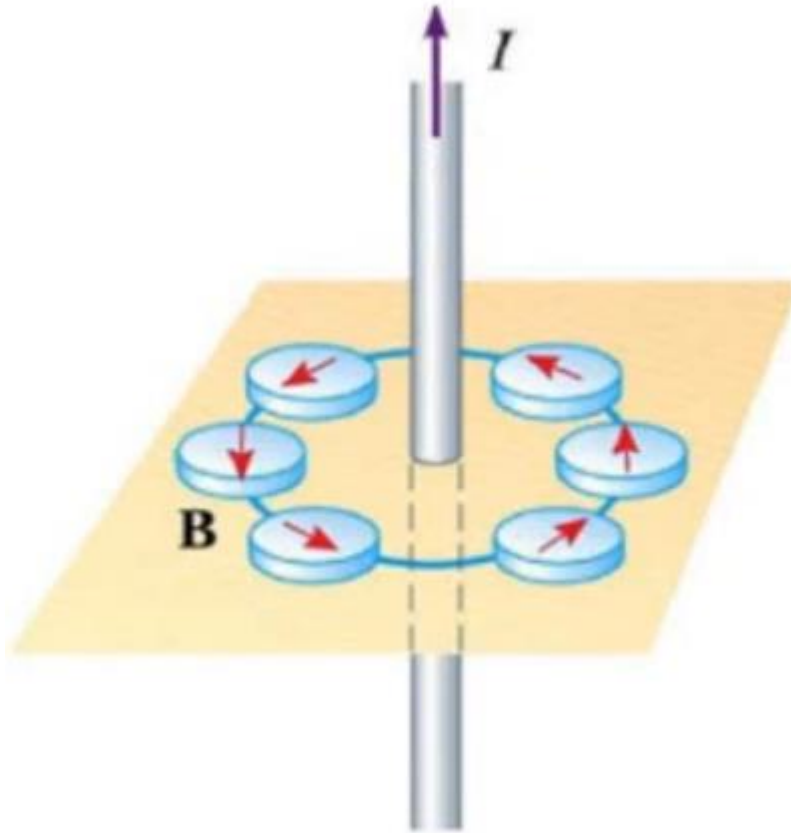
## • آزمایش اُرستد

- براده‌های آهن بر صفحه کاغذی.
- در مرکز تراکم براده‌ها بیشتر است.
- چگالی براده‌ها در فاصله مساوی از سیم یکسان است.





# جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان



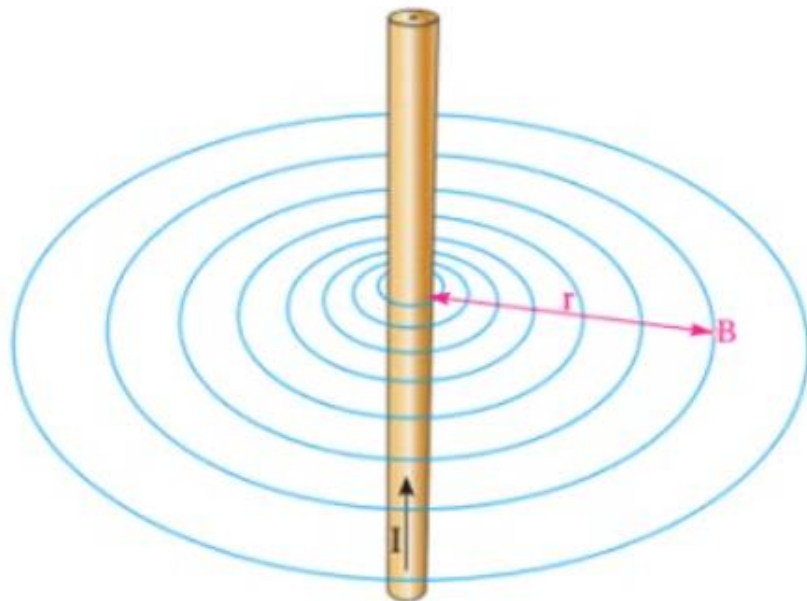
- استفاده از قطب نما
- استفاده از قاعده دست راست.



# چگالی شار مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان



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



$$B = \frac{kI}{R}$$

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  $\left[ \frac{wb}{A.m} \right]$  است.

I شدت جریان الکتریکی هادی بر حسب [A]

r فاصله از هادی بر حسب [m]



# مثال

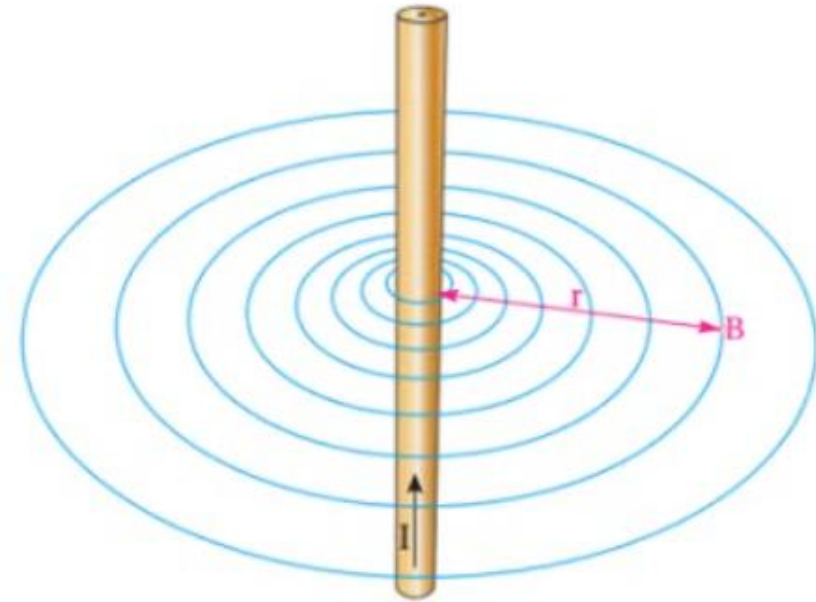


• چگالی شار مغناطیسی در فاصله ۱ سانتی متری از هادی حامل جریان ۱۰ آمپر را بدست آورید.

•  $r = 1\text{cm} = 0.01\text{m}, I = 10\text{A}$

•  $B = k \frac{I}{r} = 2 \times 10^{-7} \times \frac{10}{0.01} = 2 \times 10^{-4} \text{ T}$

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



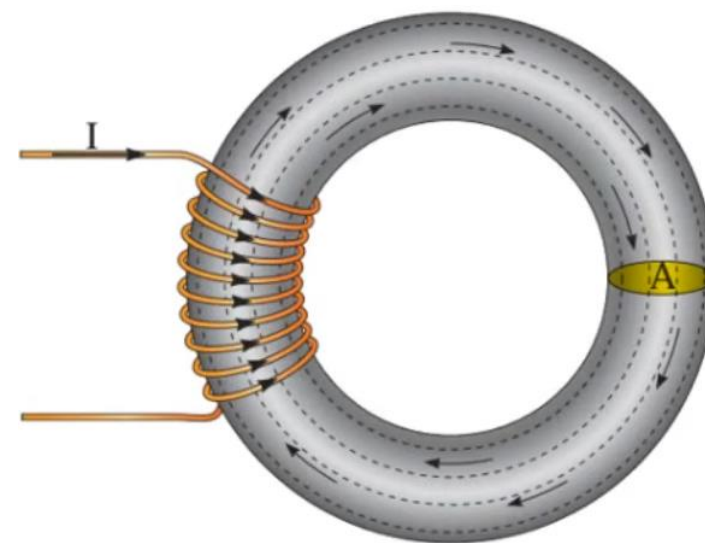
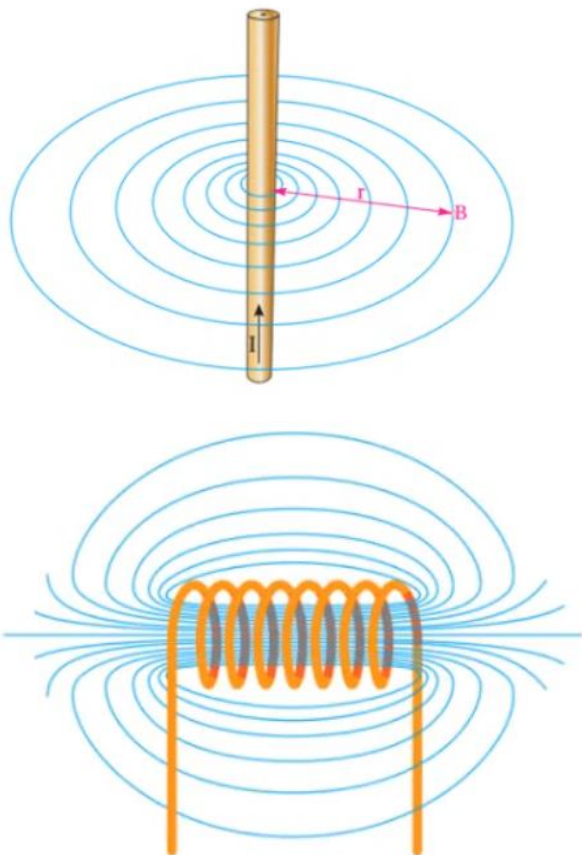




# میدان مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان



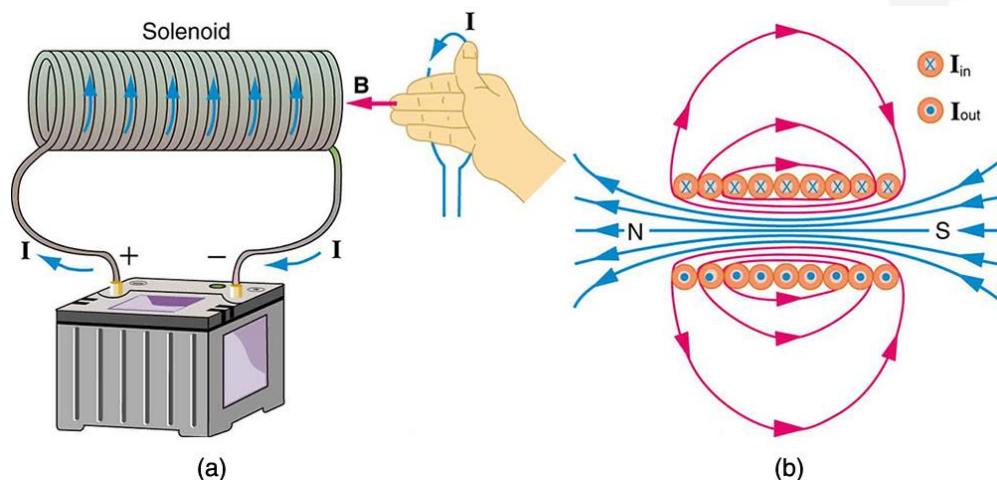
- برای متمرکز کردن و قوی کردن میدان هادی حامل جریان می‌توان آن را به شکل سیم‌پیچ یا سلنوئید درآورد.
- با قرار دادن بر روی هسته فرومغناطیس (مثل فولاد)، میدان مغناطیسی نسبت به حالت هسته هوا قوی‌تر می‌شود.





# جهت میدان مغناطیسی سیم حامل جریان

• استفاده از قاعده دست راست.



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



# نیروی محرکه مغناطیس سیم‌پیچ حامل جریان

- برآیند کل جریان‌های تولید کننده میدان مغناطیسی در سیم‌پیچ را نیروی محرکه مغناطیسی سیم‌پیچ می‌گویند. (برحسب آمپر دور)

$$\theta = NI$$

در این رابطه:

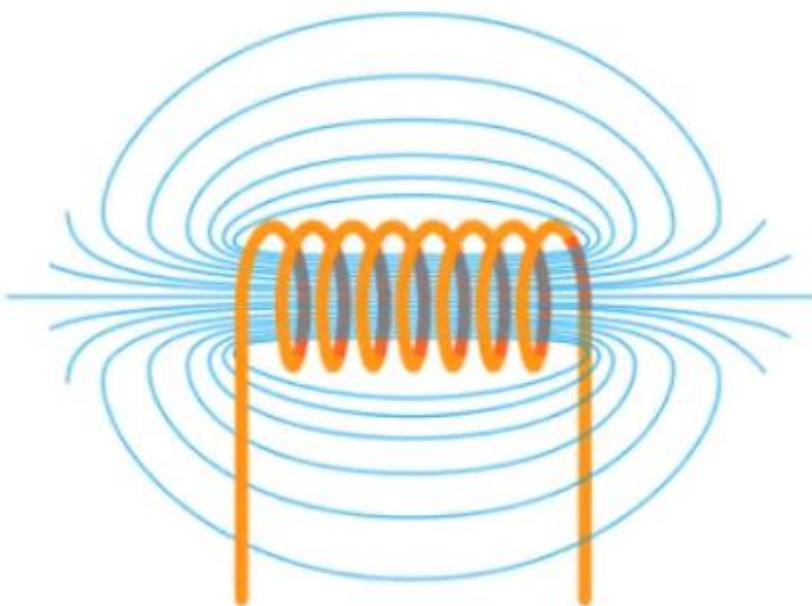
$\theta$  نیروی محرکه مغناطیسی بر حسب آمپر دور

[A.T]

N تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ بر حسب دور

I شدت جریان الکتریکی سیم‌پیچ بر حسب

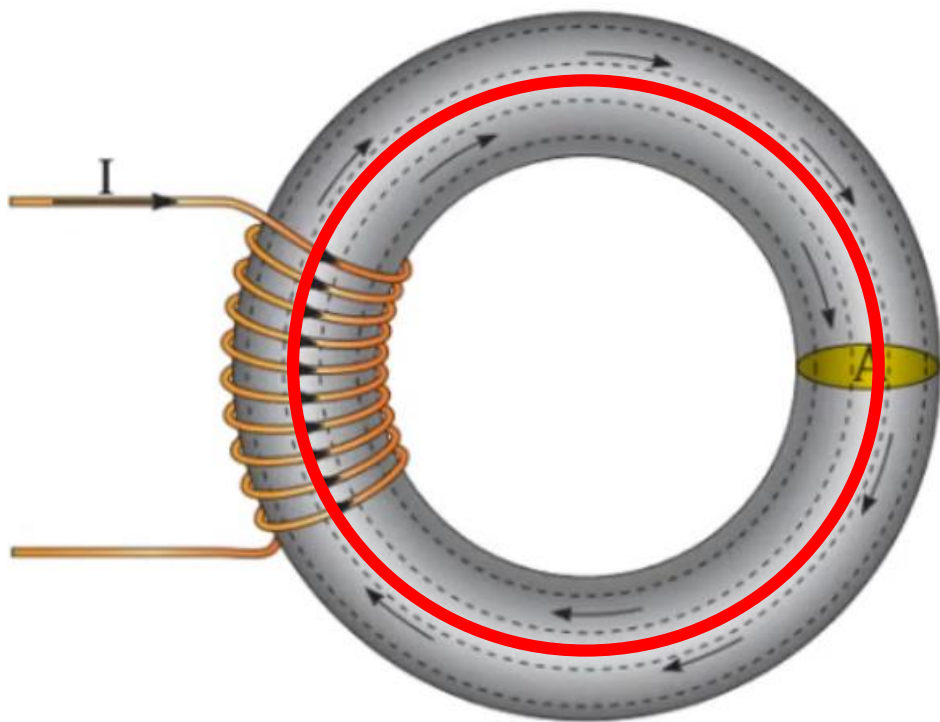
آمپر [A]





# شدت میدان مغناطیسی

- شار مغناطیسی، از تمام نقاط هسته عبور می‌کند، همدیگر را قطع نمی‌کنند و تمام طول هسته را طی می‌کنند.



- نسبت نیروی محرکه مغناطیسی سیم‌پیچ به طول متوسط هسته را شدت میدان مغناطیسی می‌گویند و با  $H$  نشان می‌دهند.



# شدت میدان مغناطیسی

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

$$• H = \frac{\theta}{\ell_c} = \frac{NI}{\ell_c}$$

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

•  $N$  تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ

•  $\ell_c$  طول متوسط هسته بر حسب متر  $[m]$

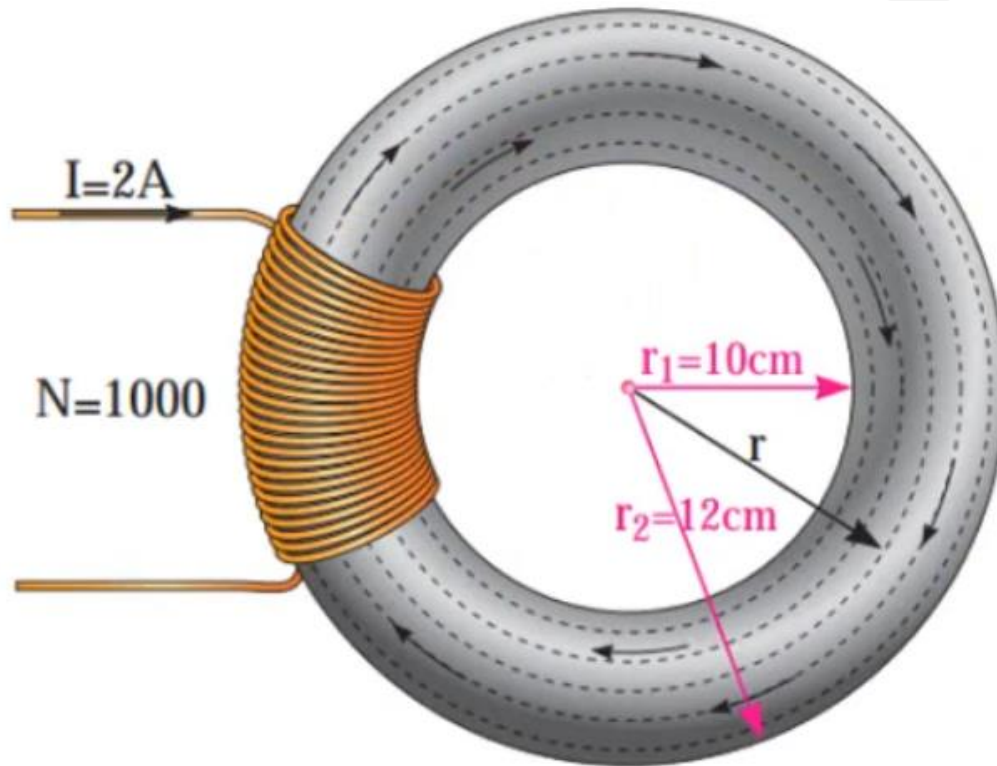




# مثال



• شدت میدان مغناطیسی سیم‌پیچ زیر را بدست آورید



$$H = \frac{\theta}{\ell_c} = \frac{NI}{\ell_c} = \frac{1000 \times 2}{\frac{2\pi r_1 + 2\pi r_2}{2}} = \frac{2000}{\pi(r_1 + r_2)} = \frac{10^5}{11\pi} \approx 2895 \frac{A \cdot turn}{m}$$

وزارت علوم، تحقیقات و  
دانشگاه جیرفت



# ضریب نفوذ مغناطیسی

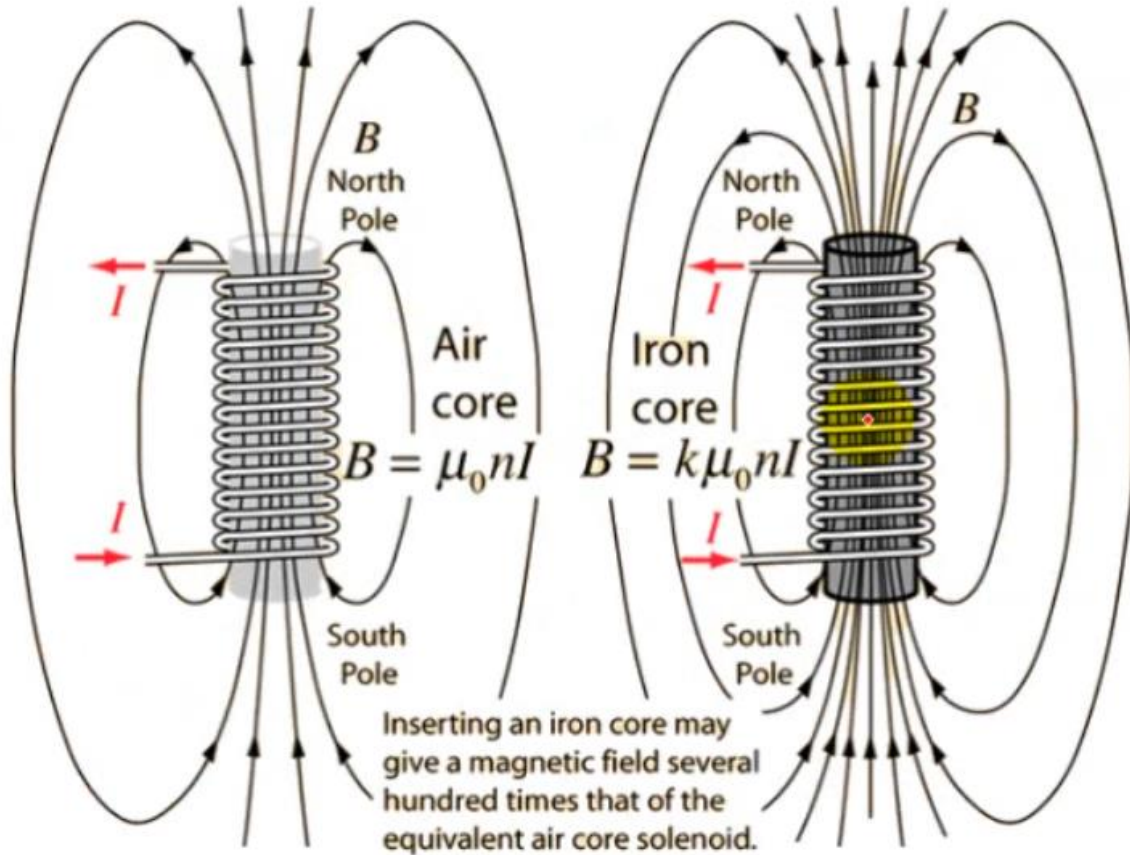


- برای مقایسه مواد مختلف از نظر عبور خطوط میدان مغناطیسی از آنها، ضریب نفوذ مغناطیسی تعریف می‌شود.
- به نسبت چگالی شار مغناطیسی به شدت میدان مغناطیسی، ضریب نفوذ مغناطیسی می‌گویند.
- $$\mu = \frac{B}{H} \left[ \frac{wb}{A.turn.m} \right]$$
- ضریب نفوذ مغناطیسی  $\mu$ ، معیاری است که میزان گذر دهی هسته را در مقابل خطوط نیروی مغناطیسی نشان می‌دهد.
- هرچه ضریب نفوذ هسته بیشتر باشد، شدت میدان مغناطیسی  $H$ ، چگالی شار مغناطیسی  $B$  قویتری در هسته تولید می‌کند.

- $$\mu = \frac{B}{H} \Rightarrow B = \mu H$$



# ضریب نفوذ میدان مغناطیسی



- $\mu = \frac{B}{H} \Rightarrow B = \mu H = \mu NI = k\mu_0 NI$
- با قرار دادن هسته فرومغناطیس در سیم پیچ میدان مغناطیسی بسیار تقویت می‌شود.
- ضریب نفوذ نسبی =  $\frac{\text{ضریب نفوذ هسته}}{\text{ضریب نفوذ هوا (خلاء)}}$



# مثال



• چگالی شار مغناطیسی در هسته فولادی به طول متوسط  $20$  سانتی متر که روی آن  $1000$  دور سیم حامل جریان  $10$  میلی آمپر قرار دارد، برابر  $5000$  گاوس است. ضریب نفوذ مغناطیسی هسته را بدست آورید.

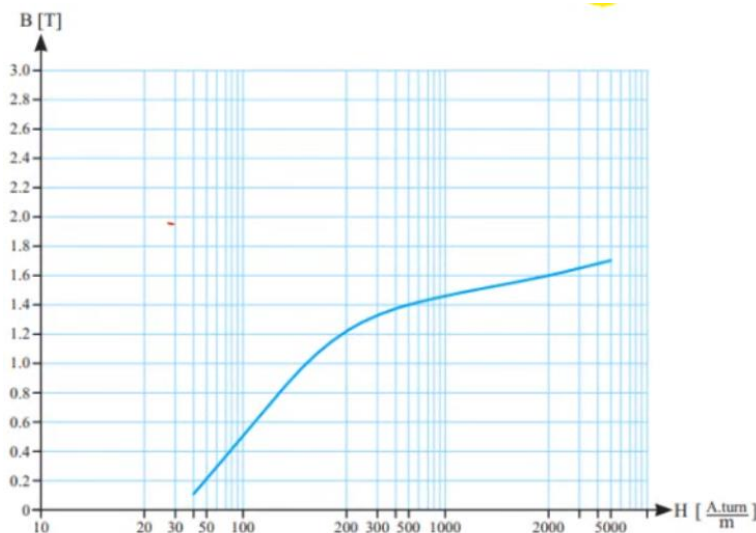
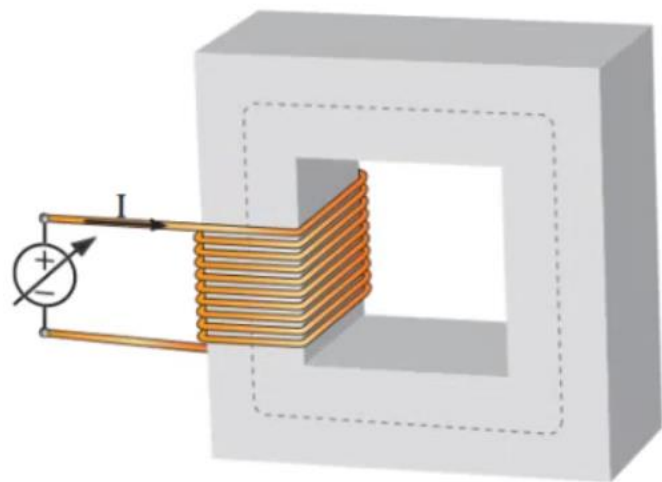
$$\bullet \ell_c = 20 \times 10^{-2}, N = 1000, I = 10mA = 0.01A, B = 5000$$

$$\bullet B = 5000G = 5000 \times 10^{-4}T = 0.5T$$

$$\bullet H = \frac{NI}{\ell_c} = \frac{1000 \times 0.01}{0.2} = 50 \frac{A.turn}{m} \Rightarrow \mu = \frac{B}{H} = \frac{0.5}{50} = 10^{-2} \frac{wb}{A.turn.m}$$



# ضریب نفوذ سیم‌پیچ با هسته فرومغناطیس



- منحنی چگالی شار بر حسب شدت میدان مغناطیسی را منحنی مغناطیسی می‌گویند.
- یک منبع ولتاژ DC با قابلیت تغییر را به سیم‌پیچ با هسته فرومغناطیس وصل کردیم.
- با تغییر ولتاژ DC چگالی شار مغناطیسی تغییر می‌کند.
- ولتاژ DC را از صفر تا ۱۰۰ ولت تغییر می‌دهیم و چگالی شار مغناطیسی را بر حسب آن بدست می‌آوریم. منحنی مزبور بدست می‌آید.





# ضریب نفوذ سیم‌پیچ با هسته فرومغناطیس



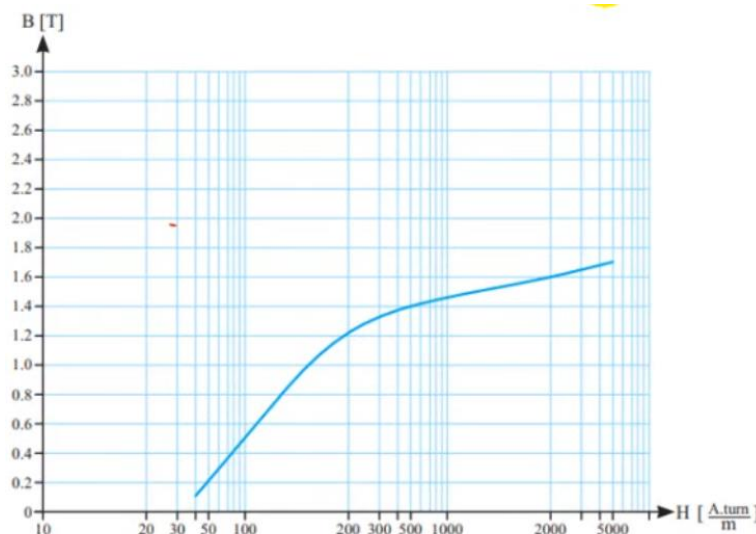
• نکته:

•  $\mu = \frac{B}{H}$      *Ohm law*:  $R = \frac{V}{I}$

• در قانون اهم مقدار مقاومت تنها وابسته به درجه حرارت آن است و معمولاً ثابت در نظر گرفته می‌شود. ولی  $\mu$  به نسبت  $B$  و  $H$  مقدار ثابتی نیست.

• به عبارتی نمودار  $B$  نسبت به  $H$  خطی نیست.

• با توجه به فرمول  $H = \frac{NI}{\ell_c}$  مقدار  $\mu$  وابسته به  $I$  است.

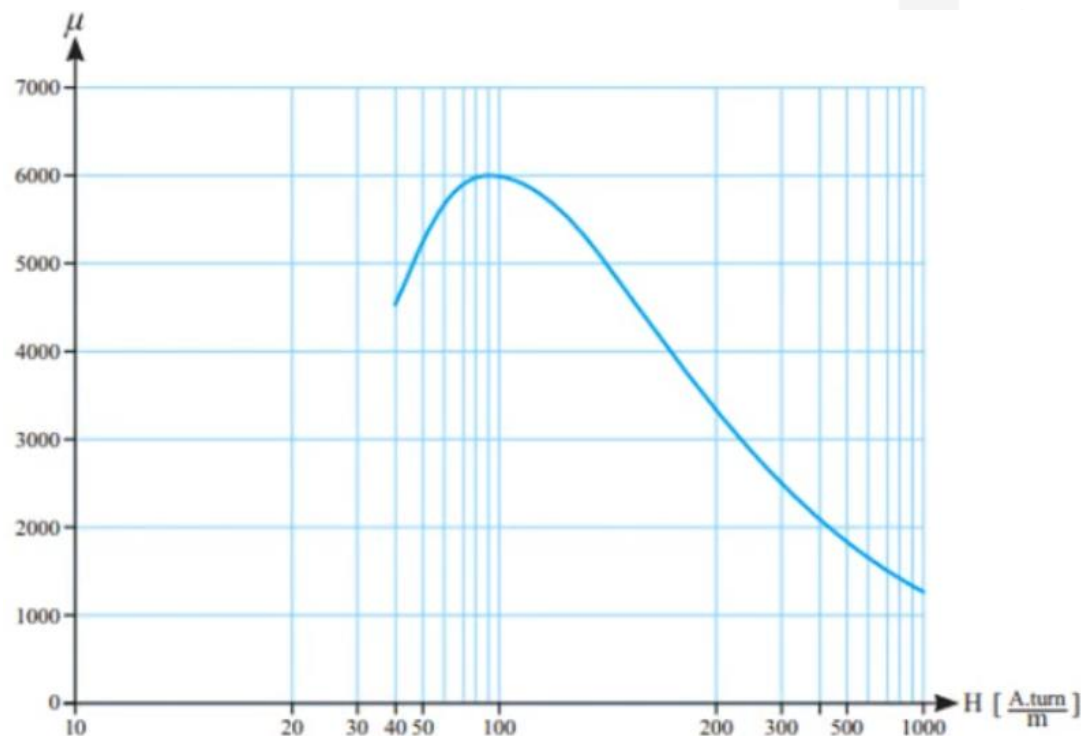




# ضریب نفوذ سیم‌پیچ با هسته فرومغناطیس



- در هر نقطه نسبت چگالی شار به شدت میدان برابر ضریب نفوذ مغناطیسی است.
- ضریب نفوذ یک پارامتر متغیر است.
- با افزایش جریان ابتدا  $\mu$  بیشتر و سپس کمتر می‌شود.





# ضرب نفوذ سیم پیچ با هسته فرومغناطیس



- متداول ترین مواد فرومغناطیس معمولاً از آهن و آلیاژهای آهن و کبالت، تنگستن، نیکل و فلزات دیگر ساخته می شوند و با نامهای تجاری فولاد الکتریکی عرضه می شوند.

- فولاد الکتریکی M-5 ماده فرومغناطیس متداولی است که در ساخت ماشین های الکتریکی به کار می رود.

وزارت علوم، تحقیقات

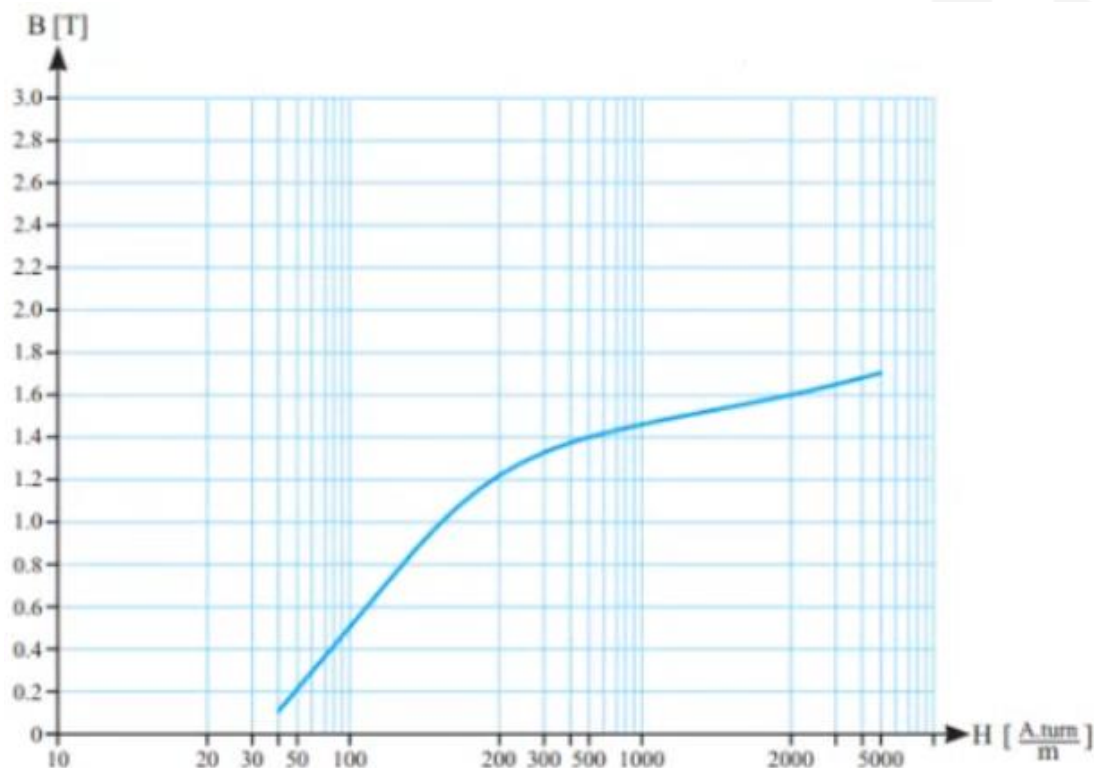
دانشگاه جیرفت



# مثال



- یک سیم پیچ ۲۰۰ حلقه‌ای حامل جریان یک آمپر بر روی هسته آهنی با منحنی مغناطیسی شکل زیر قرار گرفته است. طول متوسط هسته ۱۰ سانتی متر است چگالی شار مغناطیسی چند گاوس است؟



$$H = \frac{NI}{\ell_c} = \frac{NI}{\ell_c} = \frac{200 \times 1}{0.1} = 2000 \frac{\text{A.turn}}{\text{m}}$$
$$B = 1.6 \text{ T} = 16000 \text{ G}$$



# مثال



- اگر سیم پیچ مثال قبل از جنس فولاد الکتریکی M-5 باشد، بار دیگر چگالی شار مغناطیسی را محاسبه کنید.
- برای تولید چگالی شار مغناطیسی ۲ تسلا، جریان سیم پیچ را محاسبه کنید.

$$H = \frac{NI}{\ell_c} = \frac{NI}{\ell_c} = \frac{200 \times 1}{0.1} = 2000 \frac{A \cdot turn}{m}$$

