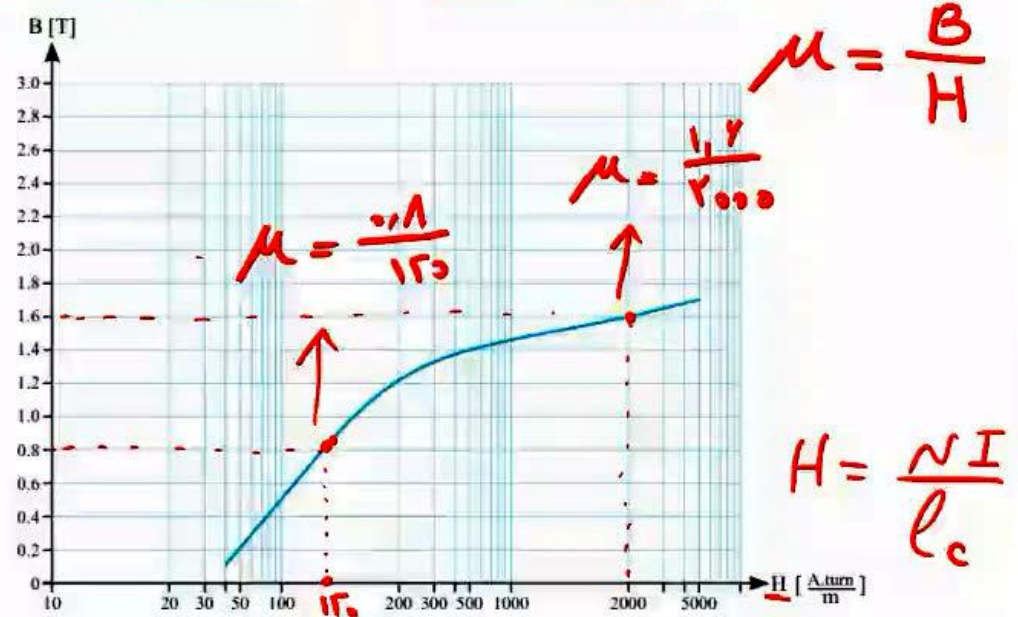
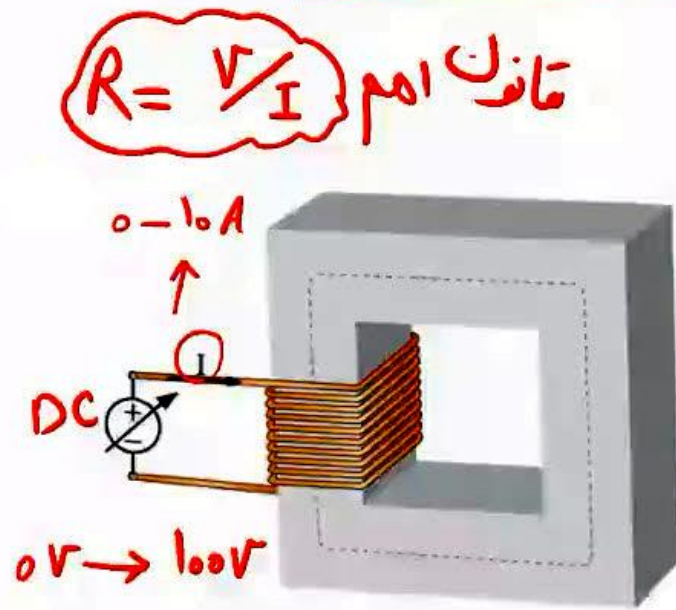


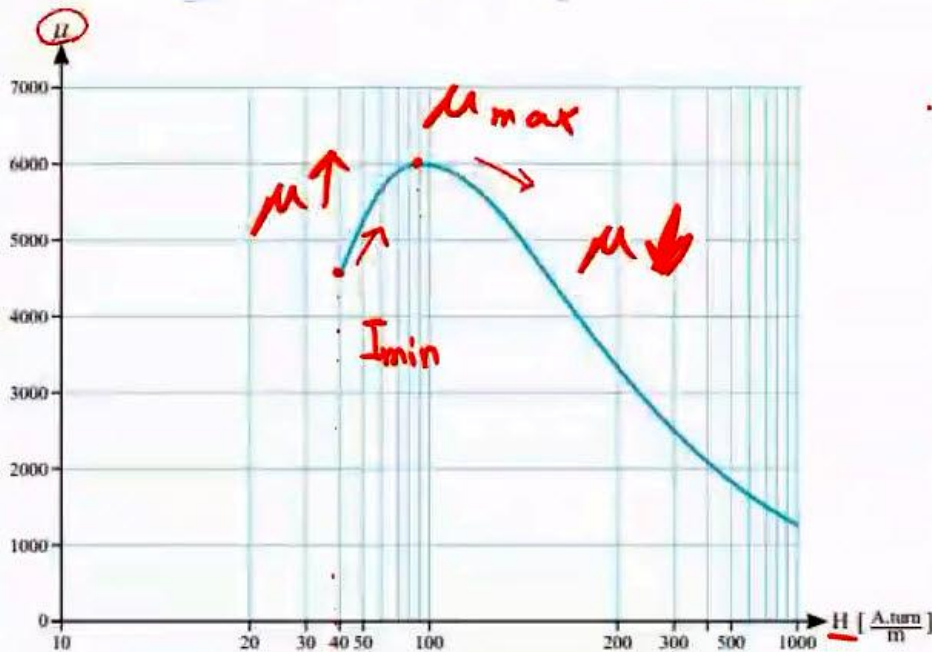
## ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته فرومغناطیس

• منحنی چگالی شار بر حسب شدت میدان مغناطیسی را منحنی مغناطیسی می گویند.



## ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته فرومغناطیس

• در هر نقطه نسبت چگالی شار به شدت میدان برابر ضریب نفوذ مغناطیسی است.



• ضریب نفوذ یک پارامتر متغیر است.

## ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته فرومغناطیس

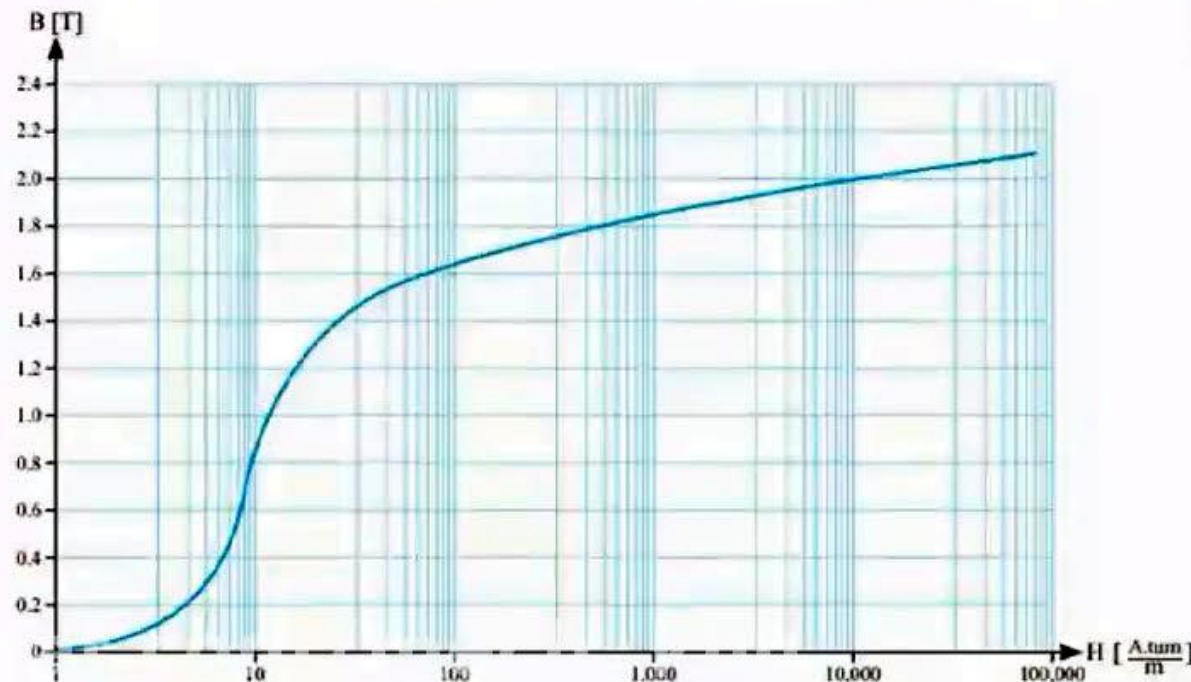
- متداول ترین مواد فرومغناطیس معمولاً از آهن و آلیاژهای آهن و کبالت، تنگستن، نیکل و فلزات دیگر ساخته می شوند و با نام های تجاری فولاد الکتریکی عرضه می شوند.



## ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته فرومغناطیس

• فولاد الکتریکی M-5 ماده فرومغناطیس متداولی است که در ساخت ماشین‌های

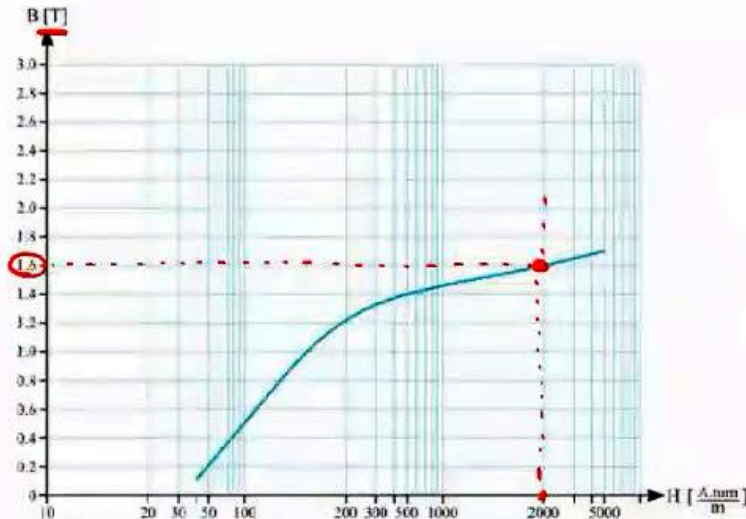
الکتریکی به کار می‌رود.



## مثال

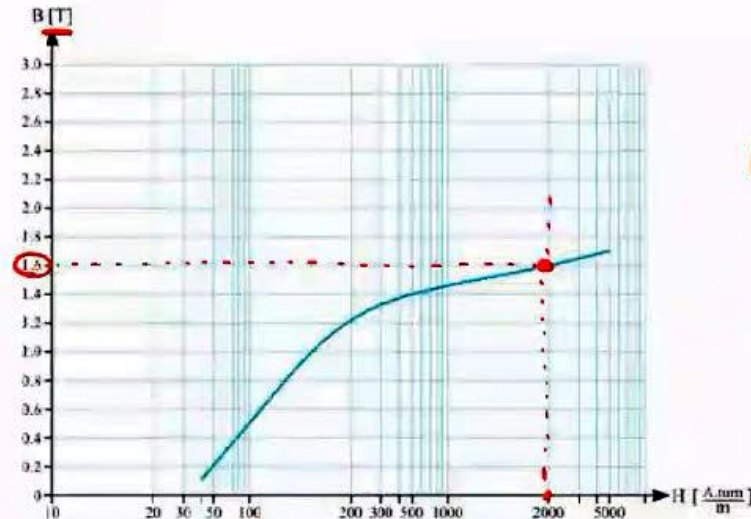
- یک سیم پیچ ۲۰۰ حلقه‌ای حامل جریان ۱ آمپر بر روی هسته آهنی با منحنی مغناطیسی شکل زیر قرار گرفته است. طول متوسط هسته ۱۰ سانتی متر است.

چگالی شار مغناطیسی چند گاوس است؟



## مثال

- یک سیم پیچ ۲۰۰ حلقه‌ای حامل جریان ۱ آمپر بر روی هسته آهنی با منحنی مغناطیسی شکل زیر قرار گرفته است. طول متوسط هسته ۱۰ سانتی متر است.



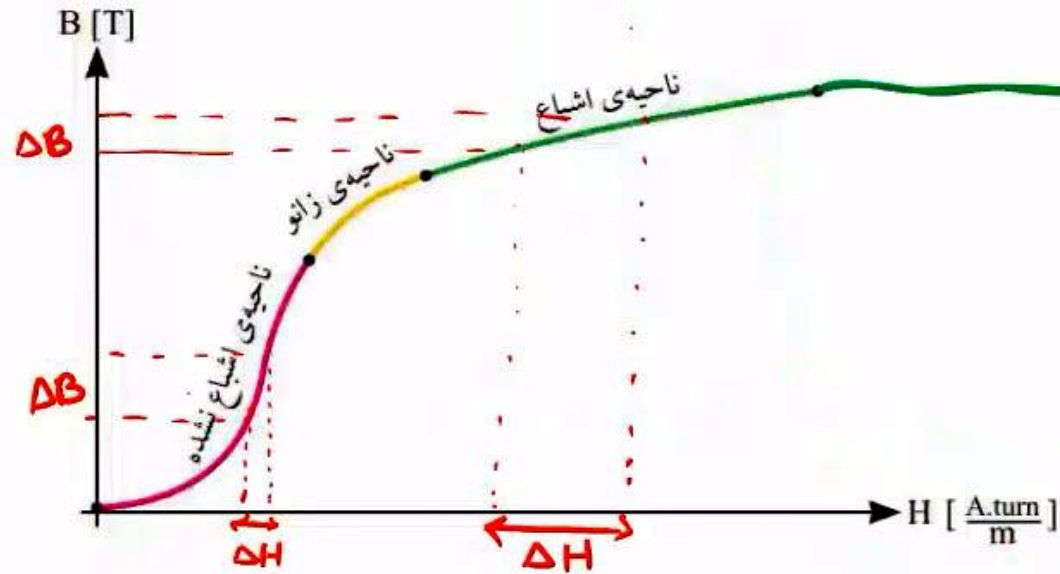
چگالی شار مغناطیسی چند گاوس است؟

$$H = \frac{NI}{l_c} = \frac{200 \times 1}{0.1} = 2000 \text{ A.turn/m}$$

$$B = 1.6 \text{ T} = 1.6 \times 10^4 \text{ G} = 16000 \text{ G}$$

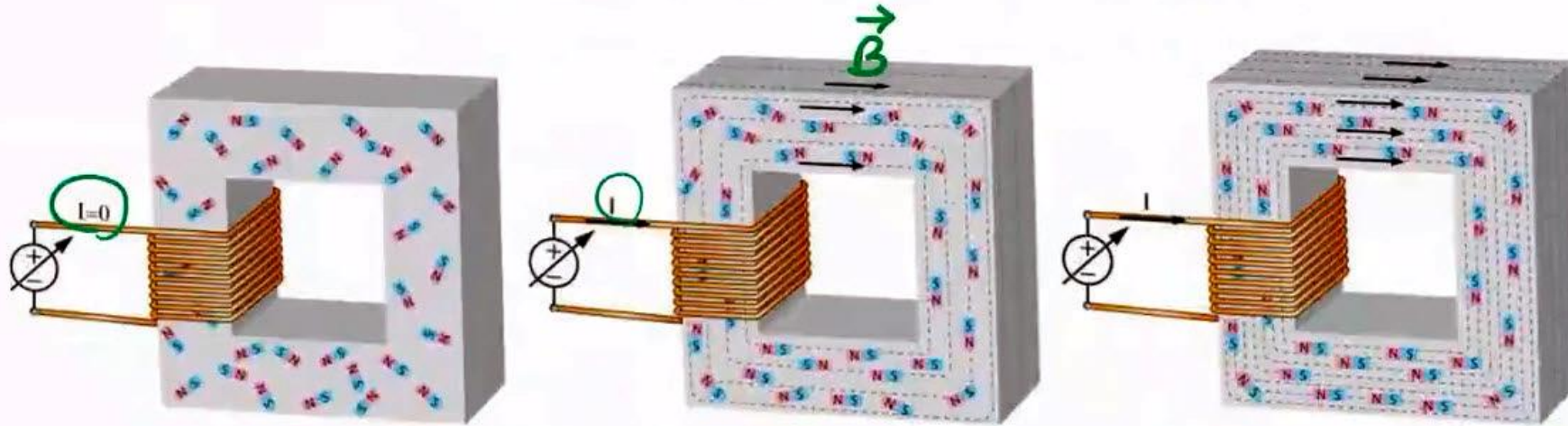
## نواحی منحنی مغناطیسی مواد فرومغناطیس

- منحنی مغناطیسی به سه ناحیه تقسیم بندی می شود:



# نواحی منحنی مغناطیسی مواد فرومغناطیس

• چرا این اتفاق می افتد؟

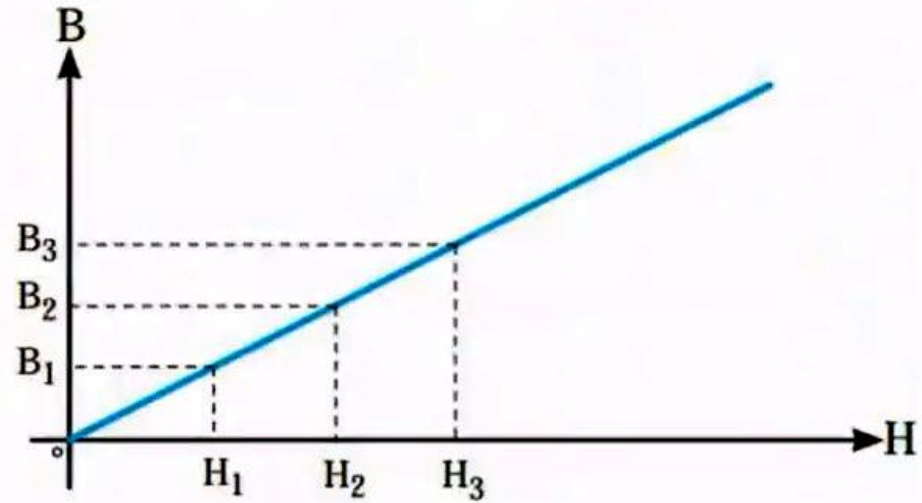
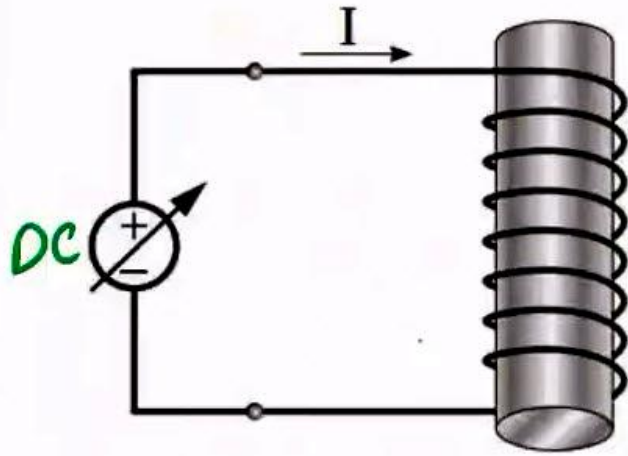


$$I \uparrow \quad H \uparrow \Rightarrow B = \mu_0 \mu_r H$$



## ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته هوا در خلا

- جریان الکتریکی را به آرامی از صفر تا مقدار حداکثر افزایش می‌دهیم.



## ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته هوا در خلا

• به نسبت B به H در این شرایط **ضریب نفوذ مغناطیسی خلا** می‌گوییم.

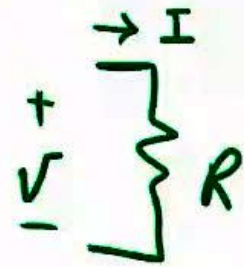
$$\mu_0 = \frac{B_0}{H_0}$$

B<sub>0</sub> چگالی فوران مغناطیسی در خلا

H<sub>0</sub> شدت میدان مغناطیسی در خلا

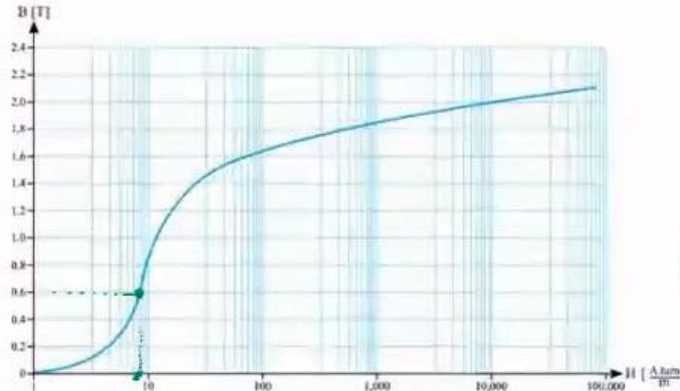
μ<sub>0</sub> ضریب نفوذ مغناطیسی خلا

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[ \frac{wb}{A \cdot \text{turn} \cdot m} \right]$$


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

## مثال

- سیم پیچ ۱۰۰۰ دور بدون هسته با طول متوسط ۱۰ سانتی متر در خلا دارای چگالی شار مغناطیسی ۰/۶ تسلا است. جریان عبوری از سیم پیچ را بدست آورید.
- اگر هسته فولاد الکتریکی M-5 استفاده شود بار دیگر جریان را محاسبه کنید.



$$H = l \frac{A \cdot \text{turn}}{m}$$

$$B = 0,4 \text{ T} \quad N = 1000 \quad l_c = 10 \text{ cm}$$

$$H = \frac{NI}{l_c} = \frac{1000 \times I}{0,1} = 10^4 I \quad \leftarrow$$

$$\frac{B}{H} = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \Rightarrow H = \frac{0,4}{4\pi \times 10^{-7}} = \frac{4 \times 10^4}{4\pi} = \frac{10^4}{\pi}$$

$$10^4 I = \frac{10^4}{\pi} \Rightarrow I = \frac{10^4}{10^4 \pi} = \frac{10^0}{\pi} = 0,318 \text{ A}$$

$$H = 10^4 I \Rightarrow I = 10^{-4} H = 100 \mu\text{A}$$

## ضریب نفوذ نسبی

- برای مقایسه مواد فرومغناطیس از ضریب نفوذ خلا به عنوان معیار استفاده می‌شود.
- به نسبت **ضریب نفوذ هسته فرومغناطیس** به **ضریب نفوذ مغناطیسی خلا**، ضریب نفوذ نسبی می‌گویند.
- ضریب نفوذ نسبی واحد ندارد.
- ضریب نفوذ نسبی نشان می‌دهد که هسته فرومغناطیس چند برابر خلا نفوذ مغناطیسی دارد.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

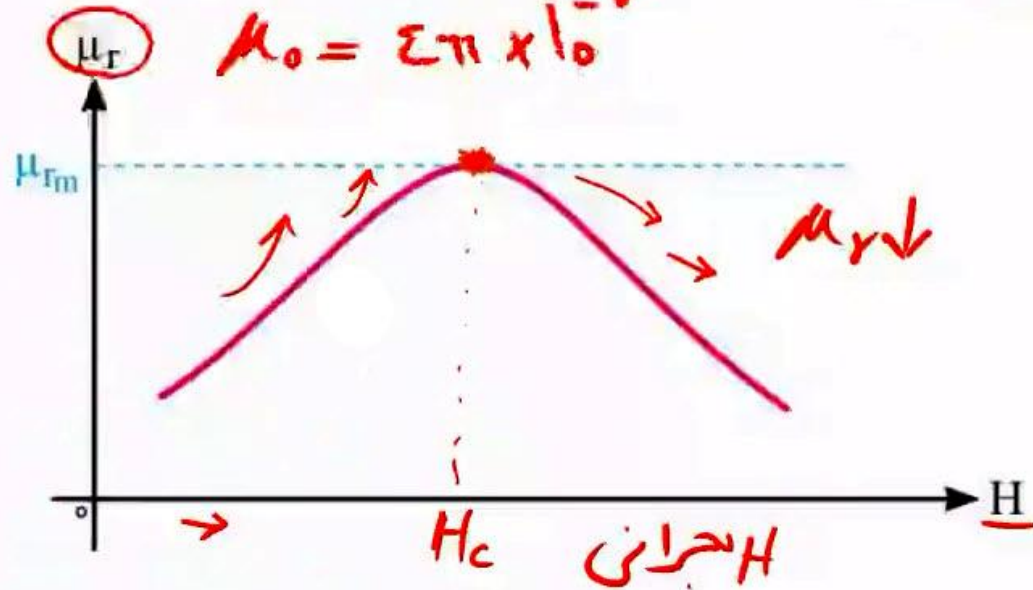
## ضریب نفوذ نسبی

- اغلب کارخانه‌ها، برای محصولات فرومغناطیس خود منحنی ضریب نفوذ نسبی بر

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

حسب شدت میدان مغناطیسی را ارائه می‌کنند.



## ضریب نفوذ نسبی

• ضریب نفوذ نسبی با افزایش فرکانس جریان سیم پیچ و یا افزایش دمای سیم پیچ کاهش می یابد.

۵۰۴۳

• بر اساس ضریب نفوذ نسبی مواد مغناطیسی به سه دسته تقسیم بندی می شوند:

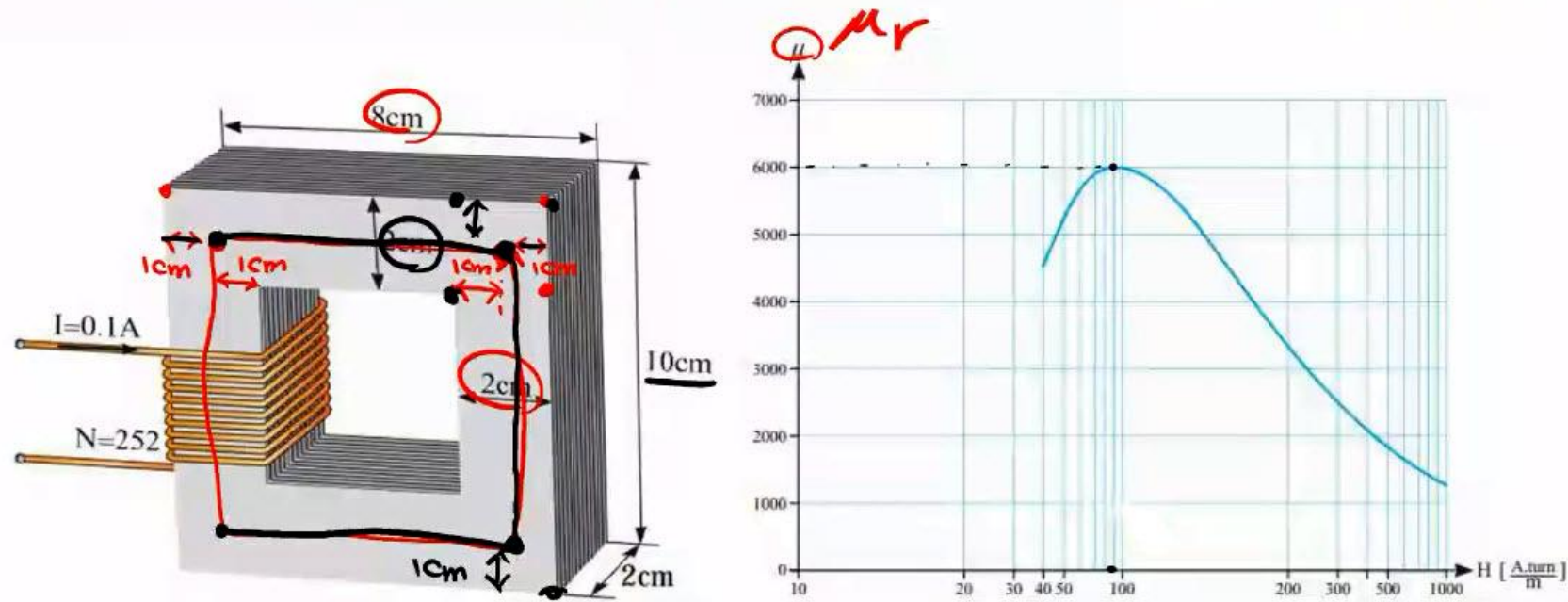
• دیامغناطیس

• پارامغناطیس

• فرومغناطیس

## مثال

- ضریب نفوذ مغناطیسی هسته فولاد مورق شکل زیر را بدست آورید.





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

$$l_c = (1 - 2 \times 1) \times 2 + (10 - 2 \times 1) \times 2 = 12 + 16 = 28 \text{ cm}$$

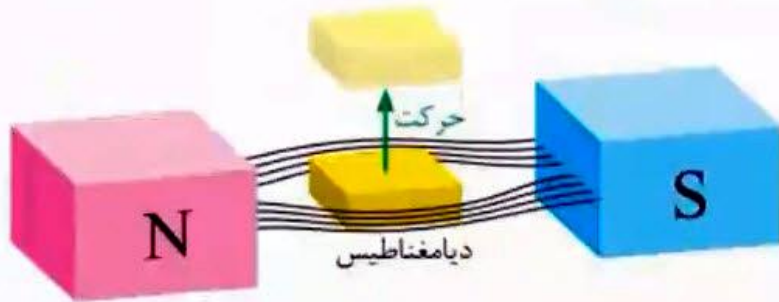
$$H = \frac{200 \times 0,1}{28 \times 10^{-2}} = \frac{2000}{28} = 71,4 \text{ A.turn/m}$$

$$\mu_r = 4000$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times 4000 = 5,024 \times 10^{-3} \frac{\text{Wb}}{\text{A.turn.m}}$$

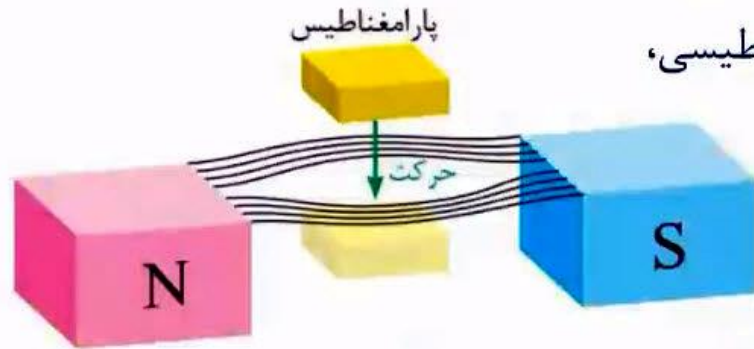
## مواد دیامغناطیس $\mu_r < 1$

- ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی مواد دیامغناطیس کمی کمتر از یک می باشد.
- **جیوه، نقره، قلع و آب** از این مواد هستند.
- فوران مغناطیسی را از خود عبور نمی دهند.
- میدان مغناطیسی را غیر یکنواخت می کنند.
- از طرف میدان مغناطیسی دفع می شوند.



## مواد پارامغناطیس

- ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی مواد پارامغناطیس کمی بیشتر از یک می باشد.
- آلومینیوم، هوا و پلاتین از این مواد هستند.
- مولکول های مغناطیسی آنها می کوشند تا در جهت میدان مغناطیسی منظم شوند.
- به طرف ناحیه قوی میدان مغناطیسی کشیده می شوند.
- به آهنربا تبدیل می شوند و با خروج از میدان مغناطیسی، خاصیت آهنربایی خود را از دست می دهند.



## مواد فرومغناطیس

- ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی مواد فرومغناطیس بین ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰ هزار است.
- آهن و آلیاژهای آن جز این مواد هستند.
  - مولکول‌های مغناطیسی آنها در جهت میدان مغناطیسی منظم می‌شوند و به بالاترین درجه همسویی می‌رسند.
  - به طرف ناحیه قوی میدان مغناطیسی کشیده می‌شوند و جذب قطب‌ها می‌شوند.
  - به آهنربا تبدیل می‌شوند و با خروج از میدان مغناطیسی، خاصیت آهنربایی خود را از دست نمی‌دهند.

## مقایسه ضریب نفوذ نسبی مواد مختلف

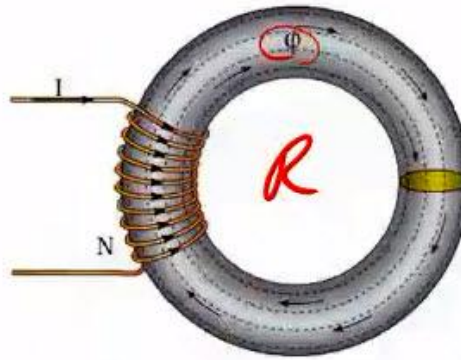
$$\mu_r = 1$$

حلاً

مواد دیامغناطیس		مواد پارامغناطیس		مواد فرومغناطیس	
$\mu_r$	ماده	$\mu_r$	ماده	$\mu_r$	ماده
۰/۹۹۹۷۵	جیوه	$1/00000004 \approx 1$	<u>هوا</u>	تا ۶۰۰۰	آهن بدون آلیاژ
۰/۹۹۹۹۸۱	نقره	۱/۰۰۰۰۰۰۰۳	اکسیژن	تا ۶۵۰۰	فولاد الکتریکی
۰/۹۹۹۸۸	قلع	۱/۰۰۰۰۰۲۲	آلومینیم	۳۰۰۰۰۰	آهن نیکل آلیاژ
۰/۸۹۹۹۱	آب	۱/۰۰۰۰۳۶	پلاتین	۱۰۰۰۰	فریت مغناطیسی

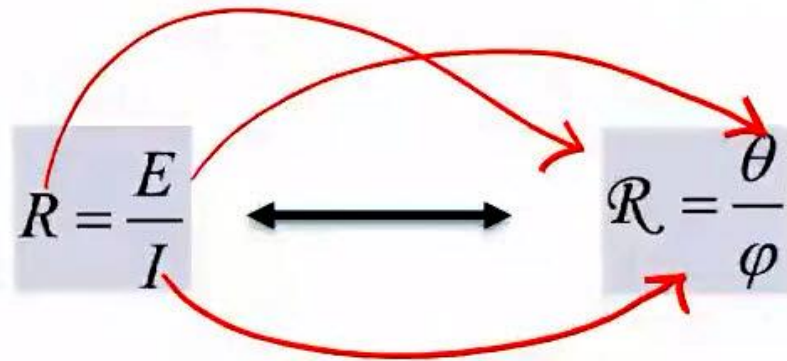
## مدارهای مغناطیسی

- مدار مغناطیسی شامل حداقل یک مسیر بسته برای عبور شار مغناطیسی است.



$\theta$  مدار مغناطیسی  $\longleftrightarrow$  مشابه  $E$  مدار الکتریکی  
 $\varphi$  مدار مغناطیسی  $\longleftrightarrow$  مشابه  $I$  مدار الکتریکی  
 $\mathcal{R}$  مدار مغناطیسی  $\longleftrightarrow$  مشابه  $R$  مدار الکتریکی

## مدارهای مغناطیسی



• قانون اهم مغناطیسی

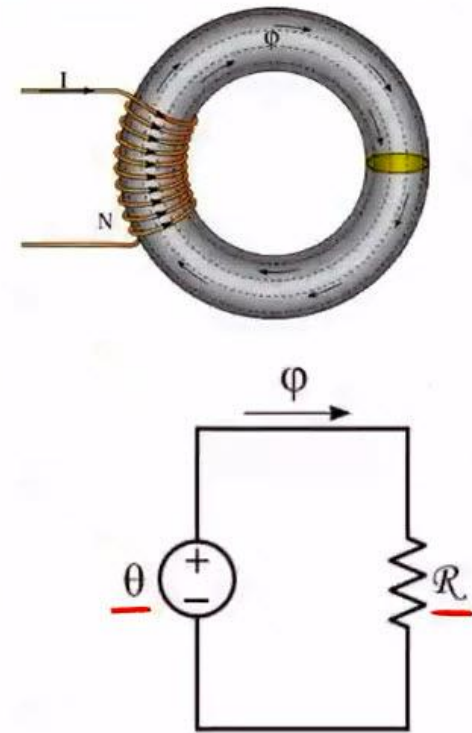
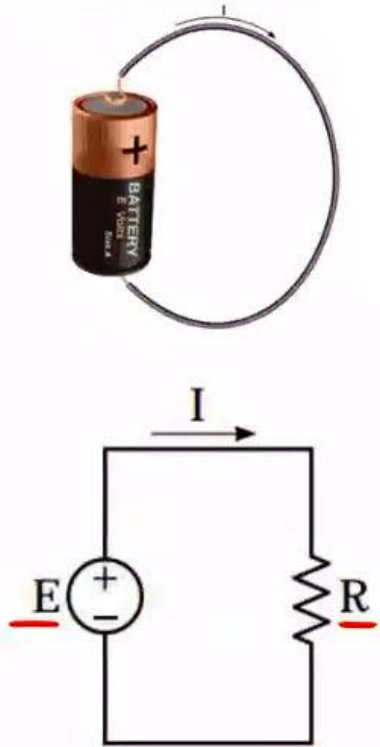
در این رابطه:

$\theta$  نیروی محرکه مغناطیسی سیم‌پیچ بر حسب [A.turn]

$\phi$  فوران مغناطیسی هسته بر حسب [wb]

$\mathcal{R}$  مقاومت مغناطیسی هسته بر حسب  $\left[ \frac{A.turn}{wb} \right]$

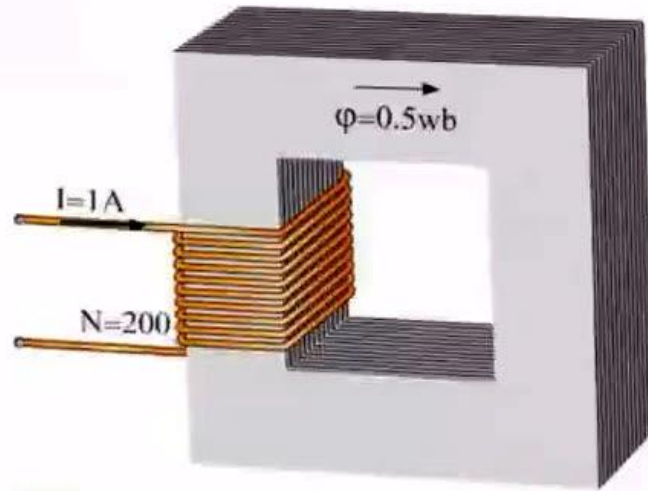
## مدارهای مغناطیسی





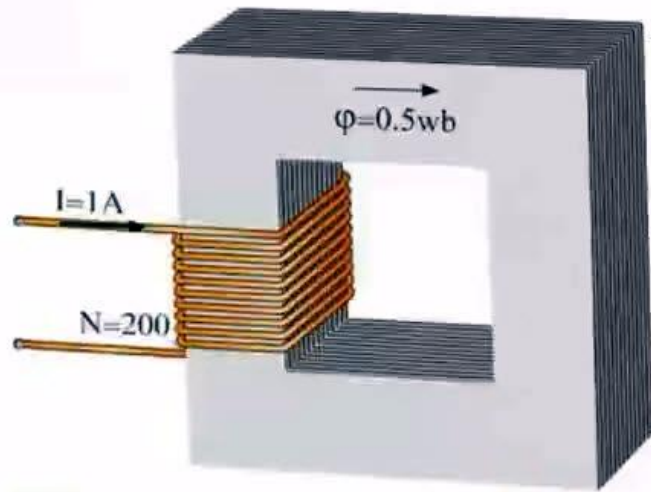
## مثال

- مقاومت مغناطیسی هسته زیر را بدست آورید.



## مثال

• مقاومت مغناطیسی هسته زیر را بدست آورید.



$$\varphi = 0,5 \text{ wb}$$

$$R = \frac{\mathcal{L}}{\varphi} = \frac{NI}{\varphi} = \frac{200 \times 1}{0,5}$$

$$R = \epsilon_{00} \text{ A.turn/wb}$$

$$\text{---} R \text{---} \quad \text{---} \quad R = \rho \frac{l}{A}$$

## مدارهای مغناطیسی

$$\left. \begin{array}{l} B = \frac{\varphi}{A} \Rightarrow \varphi = B.A \leftarrow \\ \mu = \frac{B}{H} \Rightarrow B = \mu H \\ B = \mu_0 \mu_r . H \end{array} \right\} \varphi = \mu_0 \mu_r . H . A$$

$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{R} = \frac{\theta}{\varphi} \Rightarrow \mathcal{R} = \frac{NI}{\mu_0 \mu_r H . A} \\ H = \frac{NI}{l_c} \Rightarrow \underline{l_c} = \frac{NI}{H} \end{array} \right\} \mathcal{R}_c = \frac{l_c}{\mu_0 \mu_r A}$$

• محاسبه مقاومت مغناطیسی

## مدارهای مغناطیسی

$$R_c = \frac{l_c}{\mu_o \mu_r A}$$

• محاسبه مقاومت مغناطیسی

در این رابطه:

$l_c$  طول متوسط هسته بر حسب [m]

$\mu_o$  ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ بر حسب  $\left[ \frac{wb}{A.turn.m} \right]$   $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$

$\mu_r$  ضریب نفوذ نسبی هسته بدون واحد

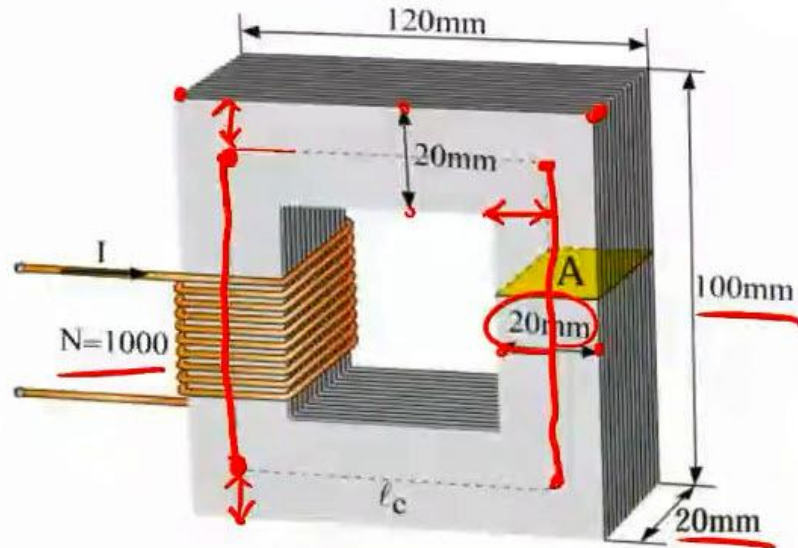
A سطح مقطع هسته بر حسب [m<sup>2</sup>]

$R$  (Ro) مقاومت مغناطیسی هسته بر حسب  $\left[ \frac{A.turn}{wb} \right]$

## مثال

• اگر شار مغناطیسی مدار زیر برابر ۴ میلی وبر باشد، جریان سیم پیچ را محاسبه کنید.

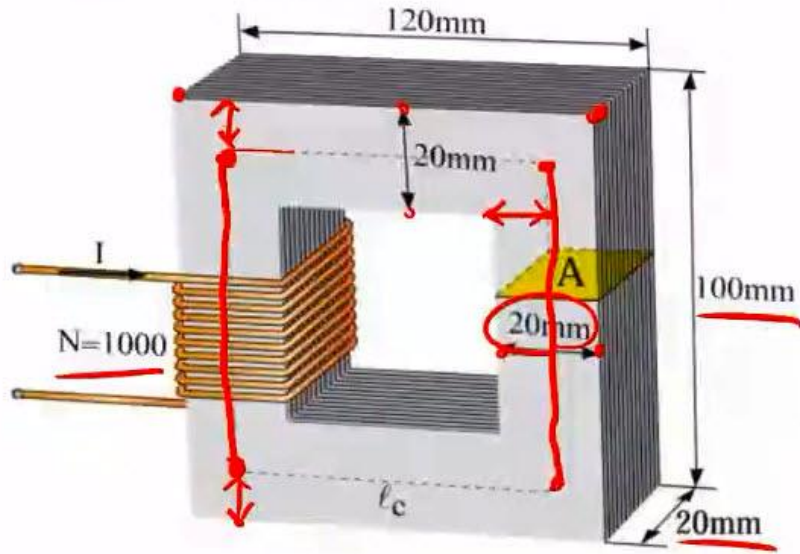
$$\mu_r = 6000 \quad \pi = 3$$



## مثال

• اگر شار مغناطیسی مدار زیر برابر ۴ میلی وبر باشد، جریان سیم پیچ را محاسبه کنید.

$$\mu_r = 6000 \quad \pi = 3$$



$$\varphi = \Sigma m w b = \Sigma \times 10^{-3} \text{ wb}$$

$$l_c = 2 \times (100 - 2 \times 10) + 2 \times (120 - 2 \times 10)$$

$$l_c = 140 + 200 = 340 \text{ mm}$$

$$l_c = 0.34 \text{ m}$$

$$\theta = N I \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow I = \varphi = \Sigma m w b \\ R = 1.25 \times 10^9 \end{array} \right.$$

$$R = \frac{l_c}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{0,24}{\epsilon \pi \times 10^{-9} \times 9000 \times 0,02 \times 0,02}$$

$$R = \frac{0,24}{12 \times 10^{-9} \times 2, \epsilon} = \frac{\cancel{24} \times 10^9}{12 \times 2, \epsilon} = \frac{2 \times 10^9}{2, \epsilon} = 1,28 \times 10^9$$

$$R = \frac{\theta}{\varphi} = \frac{N I}{\varphi} \Rightarrow I = \frac{R \varphi}{N} = \frac{1,28 \times 10^9 \times \epsilon \times 10^{-12}}{10}$$

$$I = 0,128 \times 10^{-1} = \underline{0,0128 A}$$