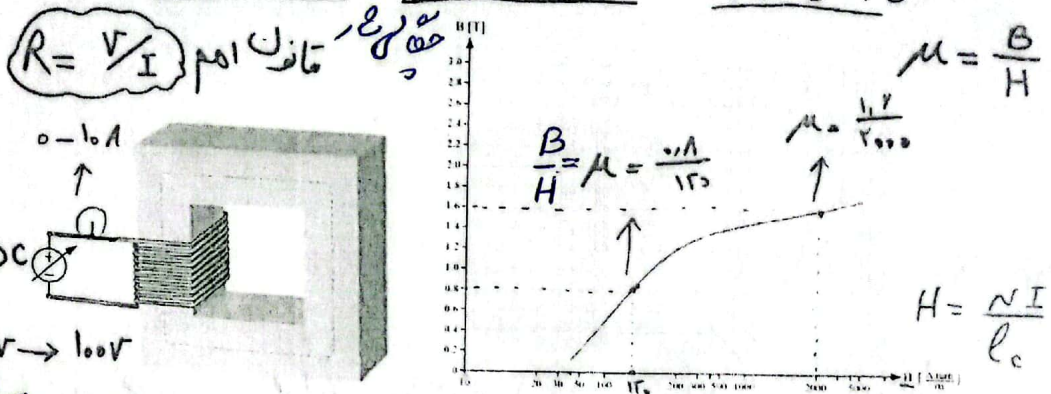


# ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته فرومغناطیس

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



منبع  
 در این صورت DC  
 به تغییر دهنده چون تغییر کند  
 در این صورت تغییر دهنده چون تغییر کند

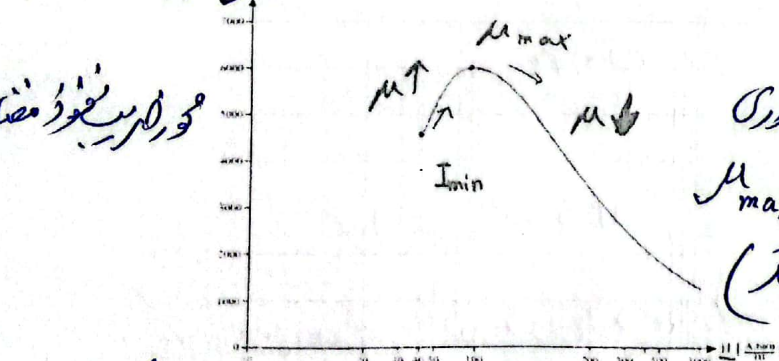
نکته: محور H را می توان مقدار زیاد است که در یک (واحد) نوشته ایم  
 نکته: به نوعی به مقدار محور مقدار در حقیقت نسبت به نسبت  
 آن بصورت رابطه بنویسیم فرض کنید N (تعداد دور) و یا (طول هسته) نسبت به تغییر کند  
 افزایش H هم خودشان افزایش می دهند و خواهد بود پس نسبت میدان مغناطیسی با افزایش و کاهش  
 تغییر می کنند پس به عنوان الکتریسیته را بنویسیم

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

## ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته فرومغناطیس

آموزش مبانی مهندسی برق ۲

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



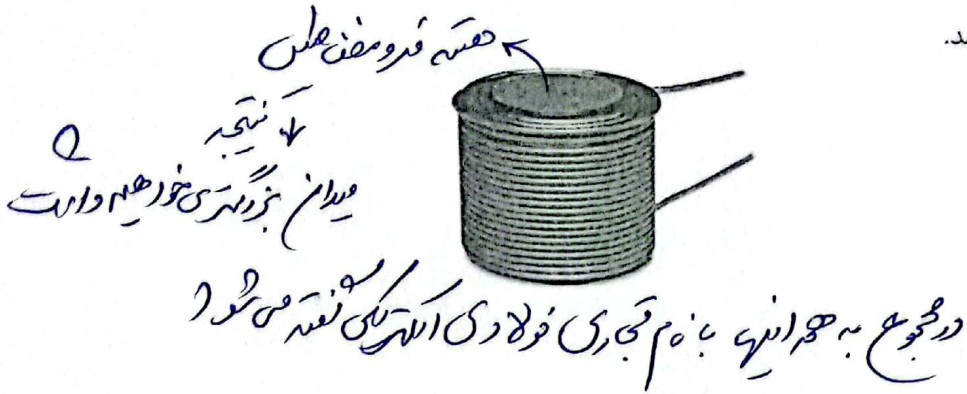
• ضریب نفوذ یک پارامتر متغیر است.

ضریب میدان مغناطیسی (به نوعی به مقدار) از یک مقدار  
 شروع می شود و به یک مقدار ماکزیمم  $\mu_{max}$   
 (این افزایش و افزایش H اتفاق می افتد)

در این افزایش H رو به کاهش می کند  
 ابتدا به نسبت ضریب نفوذ مغناطیسی نسبت به مقدار در مدار الکتریکی است و هم الکتریکی است  
 مقدار آن هم دارند ولی حالا متوجه شدیم که ضریب نفوذ مغناطیسی مقدار آن هم خواهد داشت

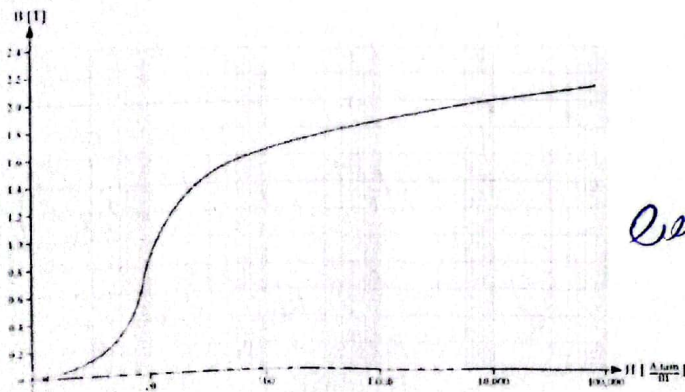
## ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته فرومغناطیس

- 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 ماشین های الکتریکی به کار می رود.



نمودار ضریب نفوذ M-5

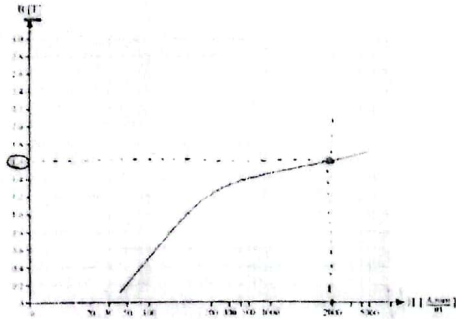
گفته می شود که در ضریب نفوذ پذیری به لایه ها

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

### 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؟



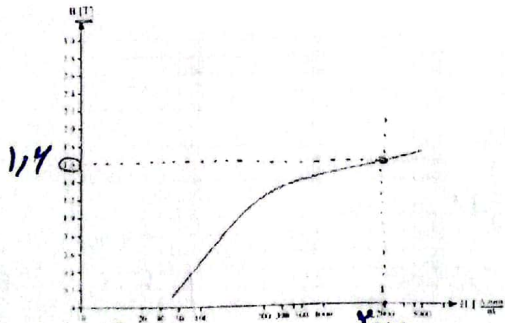
### مثال در صفحه

- 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؟

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

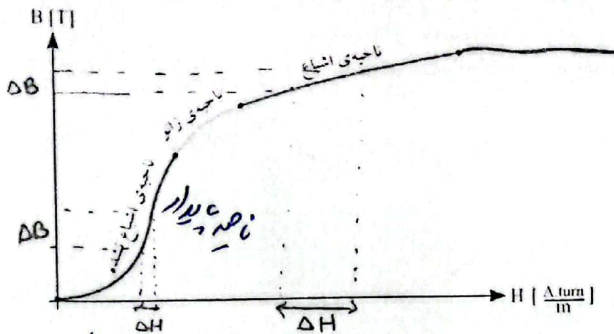
$$B = 1.14 \text{ T} = 1.14 \times 10^4 \text{ G} = 11400 \text{ G}$$



مقدار  $H$  در  $2000 \frac{\text{A.turn}}{\text{m}}$  مشخص شد. در سطح  $H$  از محور عمود بر  $H$  یک عمود رسم میکنیم تا منحنی را قطع کند و از آن نقطه یک عمود رسم میکنیم تا محور  $B$  را قطع کند.  $B = 1.14 \text{ T}$  شد.

### نواحی منحنی مغناطیسی مواد فرومغناطیسی

• منحنی مغناطیسی به سه ناحیه تقسیم بندی می شود:



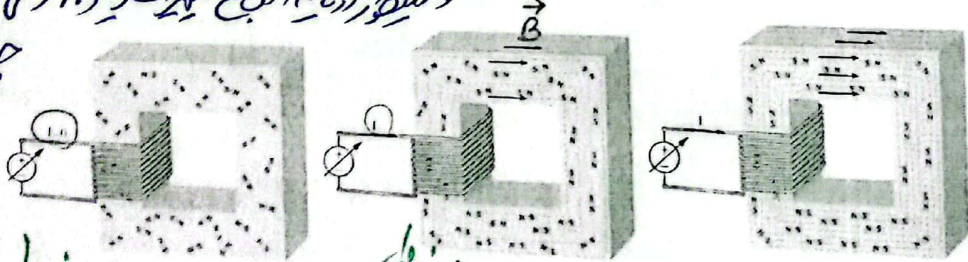
تغییر کم  $H$  باعث تغییرات کم  $B$  می شود  
 تغییرات کوچک  $H$  باعث تغییرات بزرگ  $B$  می شود  
 سطح کشیدار و فرود رفتن  $H$  را در ناحیه زانو  
 قرار بدهند چون تغییرات  $B$  نسبت به  $H$  کمترین حالت  
 را دارد

افزایش تغییرات زیاد  $H$  مقدار  $B$  تغییرات کمی دارد

نکته: نواحی اشباع شده و اشباع نشده نواحی بهره برداری هستند

### نواحی منحنی مغناطیسی مواد فرومغناطیسی

• چرا این اتفاق می افتد؟  
 چرا در ناحیه اشباع شده تغییرات کم  $H$  باعث تغییرات زیادی در  $B$  می شود  
 و عکسطور در ناحیه اشباع نشده  $H$  و  $B$  تغییرات کمی دارند  
 چندانی نمی کنند



فرض کنیم که در ناحیه اشباع شده  $B$  به  $H$  متناسب است  
 یعنی در ناحیه اشباع شده  $B$  متناسب با  $H$  است  
 یعنی  $B \propto H$   
 با فرض اینکه هسته از مواد فرومغناطیسی تشکیل شده است  
 سطح کشیدار مثل آهن پاره ها که عمده  
 مواد مغناطیسی هستند می باشد و اطراف هسته تغییرات  $B$  کم است

با اعمال جریان در سیم پیچ  
 مغناطیس شدن هسته  
 بوجود می آید و مغناطیس شدن  
 آنقدر جهت میدان قرار می گیرند

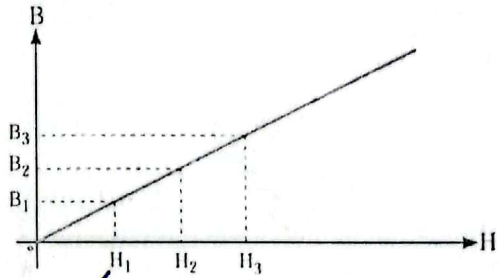
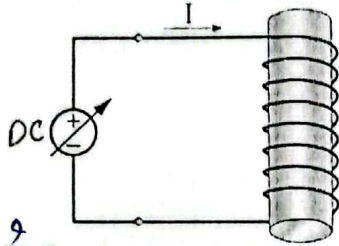
$$I \uparrow \Rightarrow H \uparrow \Rightarrow B \propto H$$

حال: افزایش خیلی زیاد  $H$  باعث افزایش  $B$  کم می شود  
 فرد مغناطیس در جهت میدان قرار می گیرند  
 دیگر افزایش  $I$  تغییراتی در  $B$  بوجود نمی آورد  
 یعنی  $H$  افزایش پیدا می کند ولی  $B$  ثابت می ماند

ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته هوا در خلا

در هوا در خلا

• جریان الکتریکی را به آرامی از صفر تا مقدار حداکثر افزایش می دهیم.



لا، فرض روی هوا بسته شدن  
 منبع DC را از صفر تا یک مقدار کم افزایش می دهیم  
 با افزایش منبع DC چون I هم از صفر تا یک  
 مقدار کم می رود

بر خلاف شمشیر مواد فرم مغناطیسی فنی یک خط  
 صاف خواهد بود یعنی همگام با خط است  
 پس در نسبت به B هم مقدار به هم خواهد بود

و هر مقدار افزایش H به همان نسبت افزایش B را خواهد داشت

ضریب نفوذ سیم پیچ با هسته هوا در خلا

• به نسبت B به H در این شرایط ضریب نفوذ مغناطیسی خلا می گوئیم.

ضریب نفوذ مغناطیسی خلا  $\mu_0 = \frac{B_0}{H_0}$

B چگالی فوران مغناطیسی در خلا

H شدت میدان مغناطیسی در خلا

$\mu_0$  ضریب نفوذ مغناطیسی خلا

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

چون فرض خطی است پس علاوه بر هم مقدار ثابت  
 خواهد داشت

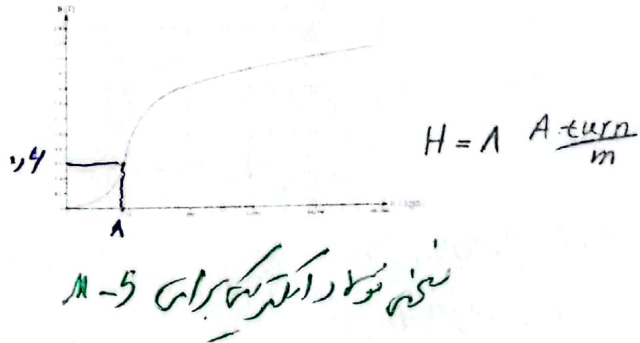
$$R = \frac{V}{I}$$

یا مستقیم  
 $\left. \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \right\} R$

رشته سیم پیچ هسته هوا یک سیم پیچ است  
 یک مقاومت است و نسبت  $\frac{V}{I}$  یک مقدار ثابت  
 حاصل R است

### 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.



آموزش مبانی مهندسی برق ۲

$$B = 0.6 \text{ T} \quad N = 1000 \quad l_c = 10 \text{ cm}$$

$$H = \frac{NI}{l_c} = \frac{1000 \times I}{0.1} = 10^4 I \leftarrow$$

$$\frac{B}{H} = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \Rightarrow H = \frac{0.6}{4\pi \times 10^{-7}} = \frac{6 \times 10^6}{4\pi} = \frac{3 \times 10^6}{2\pi}$$

$$10^4 I = \frac{3 \times 10^6}{2\pi} \Rightarrow I = \frac{300}{2\pi} = \frac{150}{\pi} = 47.77 \text{ A}$$

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

طبق متن M-5

۱۱۸ میلی آمپر

### ضریب نفوذ نسبی

- برای مقایسه مواد فرومغناطیس از ضریب نفوذ جلا به عنوان معیار استفاده می شود.
- به نسبت ضریب نفوذ هسته فرومغناطیس به ضریب نفوذ مغناطیسی جلا، ضریب نفوذ نسبی می گویند.
- ضریب نفوذ نسبی واحد ندارد.
- ضریب نفوذ نسبی نشان می دهد که هسته فرومغناطیس چند برابر جلا نفوذ مغناطیسی دارد.

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

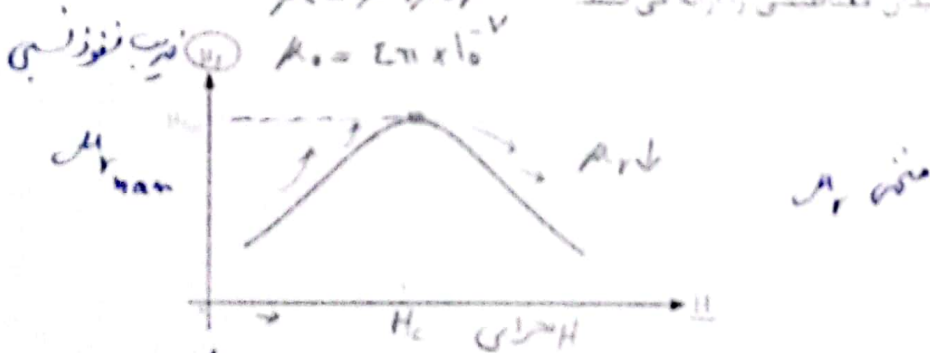
### ضریب نفوذ نسبی

- اغلب کارخانه ها، برای محصولات فرومغناطیس خود سطحی ضریب نفوذ نسبی بر

حسب شدت میدان مغناطیسی را ارائه می کند.

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

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



با افزایش  $H$  مقدار  $\mu_r$  افزایش می یابد و به  $\mu_r$  بحرانی مقدار  $\mu_r$  می رسد و نقطه  $H_c$  این نقطه است بعد از آن هر چه مقدار  $H$  از  $H_c$  بزرگتر شود  $\mu_r$  شروع به کاهش می کند این نقطه مثل منحنی  $\mu_r$  و نقطه  $H_c$  منحنی  $\mu_r$  نقطه  $H_c$  در اغلب ماشین های الکتریکی در قسمت هسته آنها سه گوشه کشیده در این نقطه قرار می گیرند تا  $\mu_r$  را کم کرده و این سه گوشه را حذف کنند.

## ضریب نفوذ نسبی

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

دسته دسته تقسیم بندی می شوند:  $\omega = 50\text{Hz}$  و دسته دسته تقسیم بندی می شوند:

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

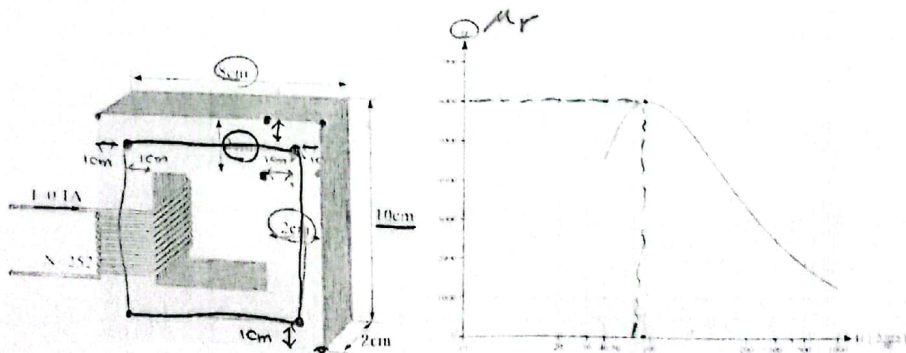
• دیامغناطیس

• پارامغناطیس

• فرومغناطیس

## مثال

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



$H = 90$   
 همان مقدار که در اصل هسته بدست می آید  
 که ضریب نفوذ نسبی برابر با ۴۰۰۰ است



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

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

$$H = \frac{252 \times 0.1}{28 \times 10^{-2}} = \frac{2520}{28} = 90 \text{ A.turn/m}$$

$$\mu_r = 4000$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times 4000 = 28\pi \times 10^{-6} \frac{\text{wb}}{\text{A.turn.m}}$$

### 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. چون ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی کمی دارند.

• میدان مغناطیسی را غیر یکنواخت می کنند. چون خطوط میدان را نمی فرستند عبور دهند و در جهت خود را عقب می رانند.

• از طرف میدان مغناطیسی دفع می شوند. مثلا از بورد آهنی که میدان مغناطیسی را می فرستد.



تقریباً مستند به مواد عایق هستند چون اکثر یکدیگر را از خود عبور نمی دهند

مواد دیامغناطیس خطوط میدان مغناطیسی را از خود عبور نمی دهند و به سمت خود عبور می دهند

پس متوجه می شویم اینها از این مواد است که نمی شود

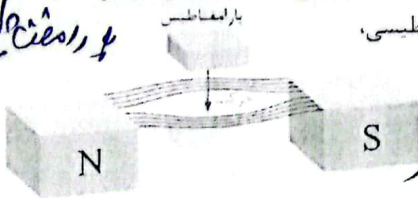
### مواد پارامغناطیس

- ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی مواد پارامغناطیس کمی بیشتر از یک می‌باشد.
- آلومینیوم، هوا و پلاتین از این مواد هستند.

- مولکول‌های مغناطیسی آنها می‌کوشند تا در جهت میدان مغناطیسی منظم شوند.

- به طرف ناحیه قوی میدان مغناطیسی کشیده می‌شوند. بهر برعکس - به آهنربا تبدیل می‌شوند و با خروج از میدان مغناطیسی، خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهند.

در مغناطیس‌ها، ذرات کوچک که به علت جذب مواد پارامغناطیس در جهت میدان مغناطیس می‌شوند



در داخل میدان آهنربا قرار می‌گیرد

در اغلب آهن و آلیاژها، از مواد فرومغناطیس است که در دسترس است  
مواد فرومغناطیس مثل فولاد و آلومینیوم ۵-۸

- ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی مواد فرومغناطیس بین ۲۰۰۰ تا ۸۰,۰۰۰ 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.

در یک میدان مغناطیسی

○ 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.

در یک میدان مغناطیسی و آهنربا تبدیل می‌شوند

به داشتن جریان آهنربا، یک میدان مغناطیسی بزرگ ایجاد می‌کند

## مقایسه ضریب نفوذ نسبی مواد مختلف

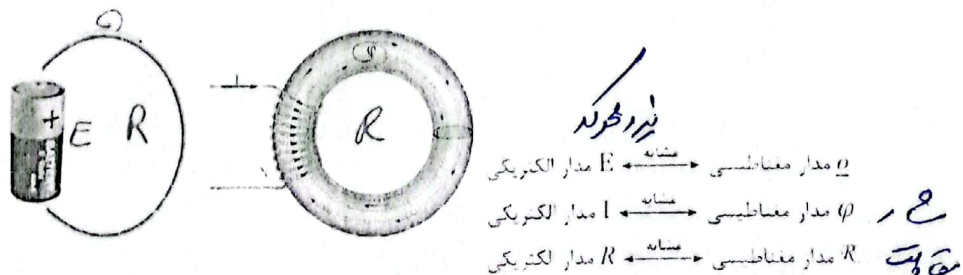
خلا  $\mu_r = 1$

مواد دیامغناطیس		مواد پارامغناطیس		مواد فرومغناطیس	
$\mu_r$	ماده	$\mu_r$	ماده	$\mu_r$	ماده
۰/۹۹۹۷۵	جیوه	۱/۰۰۰۰۰۰۰۲	هوا	۶۰۰۰	آهن بدون آلیاژ
۰/۹۹۹۹۸۱	نقره	۱/۰۰۰۰۰۰۰۳	اکسیژن	۶۵۰۰	فولاد لکتریکی
۰/۹۹۹۹۸۸	فلز	۱/۰۰۰۰۰۰۲۲	آلمینیوم	۳۰۰۰۰۰	آهن نیکل آلیاژ
۰/۸۹۹۹۹۱	آب	۱/۰۰۰۰۰۰۲۶	پلاستیک	۱۰۰۰۰	فريت مغناطیسی

چون  $\mu_r$  در مواد آهنی بسیار بزرگ است  
برای آن آرایش را فقط در نظر میگیریم

## مدارهای مغناطیسی

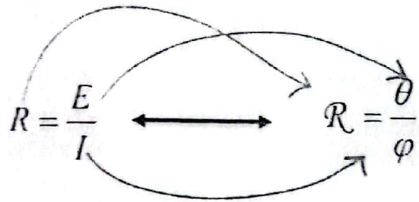
• مدار مغناطیسی شامل حداقل یک مسیر بسته برای عبور شار مغناطیسی است.



مسیر بسته

همه در جهت عبور از خودشان میروند  
یعنی به جهت بسته است

## مدارهاى مغناطيسى



• قانون اهم مغناطيسى

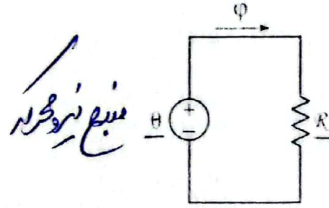
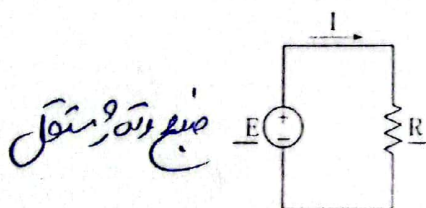
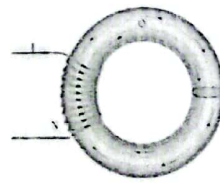
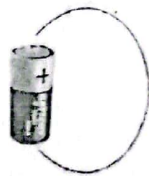
در اين رابطه:

$\theta$  نيروى محرکه مغناطيسى سيم پيچ بر حسب [A.turn]

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

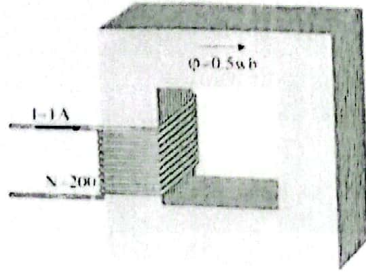
$\mathcal{R}$  مقاومت مغناطيسى هسته بر حسب  $\left[ \frac{\text{A.turn}}{\text{wb}} \right]$

## مدارهاى مغناطيسى



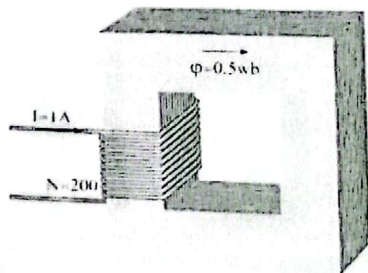
مثال

• مقاومت مغناطیسی هسته زیر را بدست آورید.



مثال

• مقاومت مغناطیسی هسته زیر را بدست آورید.



$$\varphi = 0.5 \text{ wb}$$

$$R = \frac{\mathcal{O}}{\varphi} = \frac{NI}{\varphi} = \frac{200 \times 1}{0.5}$$

$$R = 400 \text{ A turn/wb}$$

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

مقاومت الکتریکی و الکتریکی با هم متفاوت است فیزیکی بودن عنصر بودن  
 با هم متفاوت است و با هم متفاوت است فیزیکی بودن عنصر بودن

کول امتیاز  
 سطح مقطع  
 $R = \rho \frac{l}{A}$   
 مقاومت ویژه

## مدارهای مغناطیسی

محاسبه مقاومت مغناطیسی

$$\left. \begin{aligned} B = \frac{\varphi}{A} \Rightarrow \varphi = B \cdot A \\ \mu = \frac{B}{H} \Rightarrow B = \mu H \\ B = \mu_0 \mu_r H \end{aligned} \right\} \varphi = \mu_0 \mu_r H \cdot A$$

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{R} = \frac{\theta}{\varphi} \Rightarrow \mathcal{R} = \frac{NI}{\mu_0 \mu_r H A} \\ H = \frac{NI}{\ell_c} \Rightarrow \frac{\ell_c}{H} = \frac{NI}{H} \end{aligned} \right\} \mathcal{R}_c = \frac{\ell_c}{\mu_0 \mu_r A}$$

نیز می توانیم به روش دیگر نیز به دست آوریم.

## مدارهای مغناطیسی

محاسبه مقاومت مغناطیسی

$$\mathcal{R}_c = \frac{\ell_c}{\mu_0 \mu_r A}$$

در این رابطه:

$\ell_c$  طول متوسط هسته بر حسب [m]

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[ \frac{wb}{A \cdot turn} \right]$  ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ بر حسب

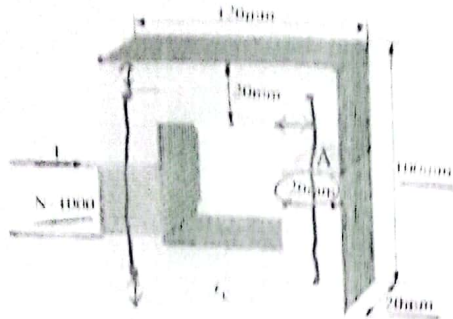
$\mu_r$  ضریب نفوذ نسبی هسته بدون واحد

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

$\mathcal{R} (R_0)$  مقاومت مغناطیسی هسته بر حسب  $\left[ \frac{A \cdot turn}{wb} \right]$

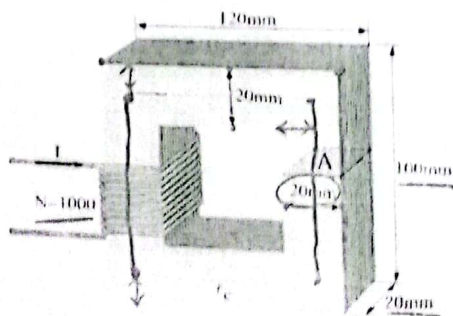
### مثال

• اگر شار مغناطیسی مدار زیر برابر ۴ میلی وبر باشد، جریان سیم پیچ را محاسبه کنید.  
 $\mu_r = 6000$       $\pi = 3$



### مثال

• اگر شار مغناطیسی مدار زیر برابر ۴ میلی وبر باشد، جریان سیم پیچ را محاسبه کنید.  
 $\mu_r = 6000$       $\pi = 3$



$$\varphi = \sum mwb = \sum \mu_0^{-1} wb$$

$$l_c = 2 \times (100 - 2 \times 10) + 2 \times (120 - 20)$$

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

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

$$\theta = NI \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow I = \varphi = \sum mwb \\ R = 1.158 \times 10^3 \end{array} \right.$$

$$R = \frac{l_c}{\mu_r \rho r A} = \frac{0,136}{5\pi \times 10^{-7} \times 9000 \times 0,02 \times 0,02}$$

$$R = \frac{0,136}{12 \times 10^{-7} \times 2,8} = \frac{47 \times 10^3}{12 \times 2,8} = \frac{3 \times 10^3}{2,8} = 1,07 \times 10^3$$

$$R = \frac{\theta}{\varphi} = \frac{N I}{\varphi} \Rightarrow I = \frac{R \varphi}{N} = \frac{1,07 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-3}}{100}$$

$$I = 21,4 \times 10^{-3} = \underline{21,4 \text{ mA}}$$