



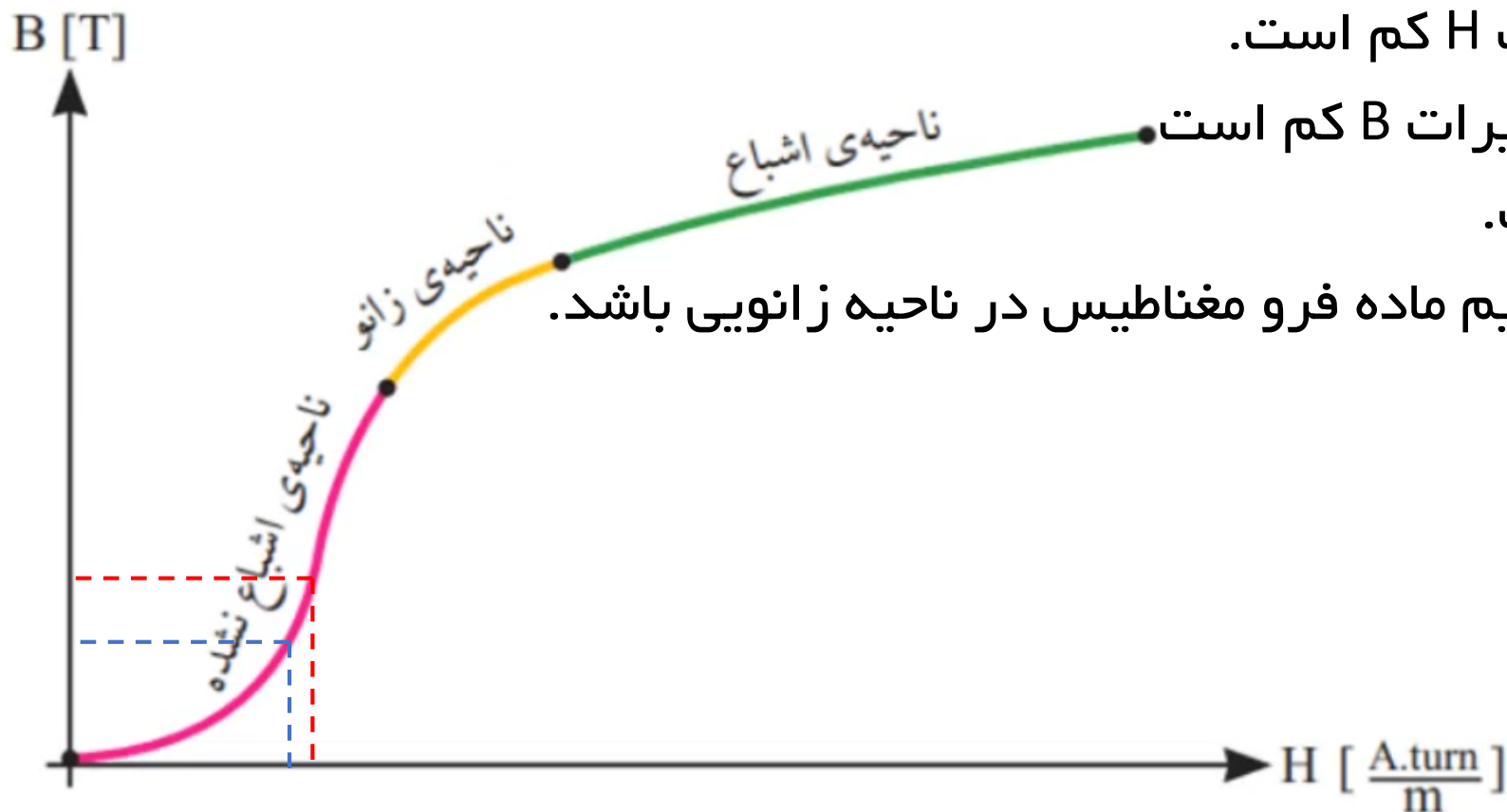
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

مبانی برق ۲

درس ۳



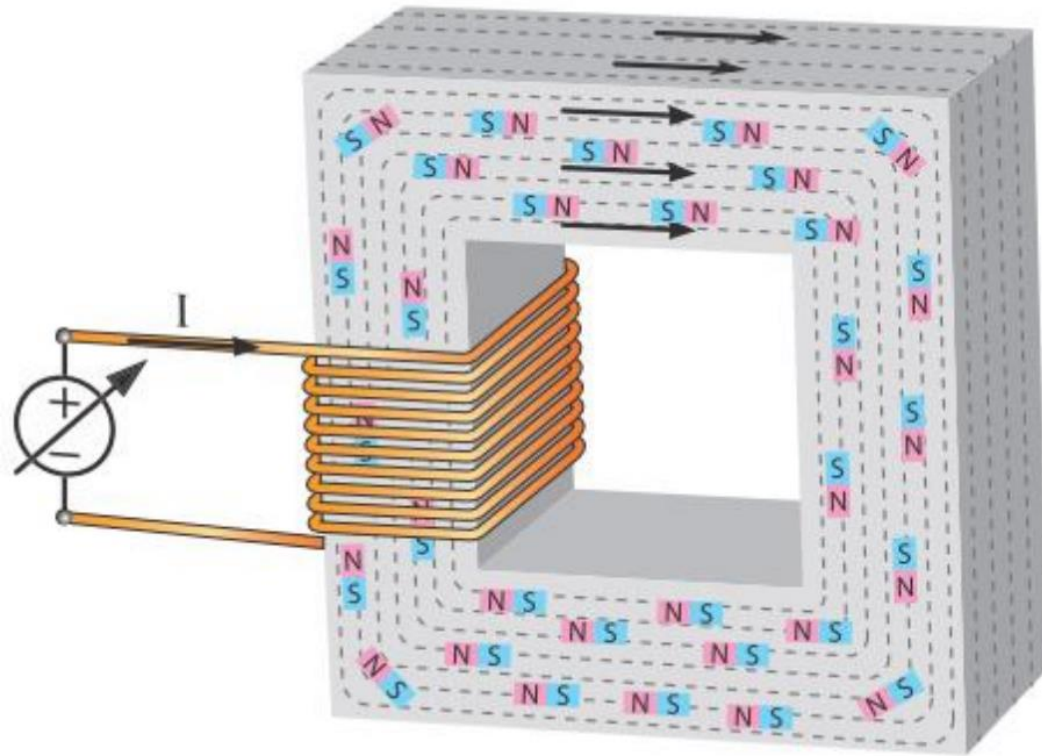
نواحی منحنی مغناطیسی مواد فرو مغناطیس



- منحنی مغناطیسی به سه ناحیه تقسیم بندی می‌شود:
- در ناحیه اشباع نشده تغییرات H کم است.
- در ناحیه اشباع با تغییر H تغییرات B کم است.
- ناحیه زانویی بین این دو است.
- در کاربردهای عملی سعی می‌کنیم ماده فرو مغناطیس در ناحیه زانویی باشد.



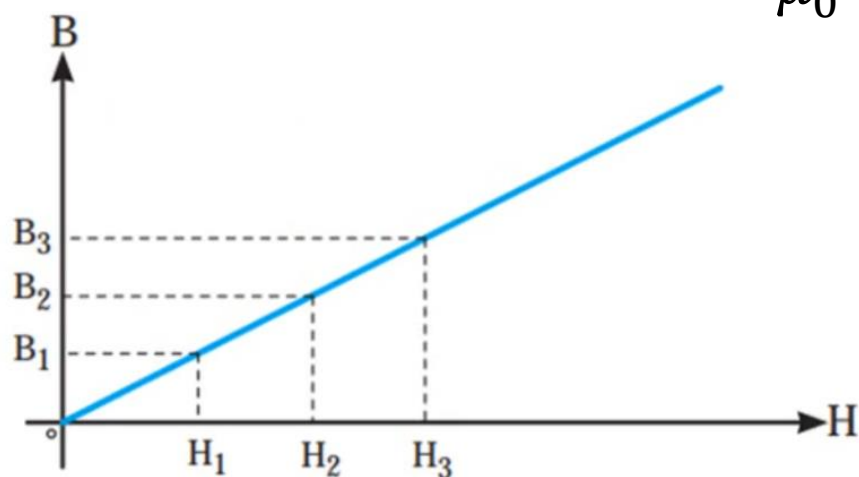
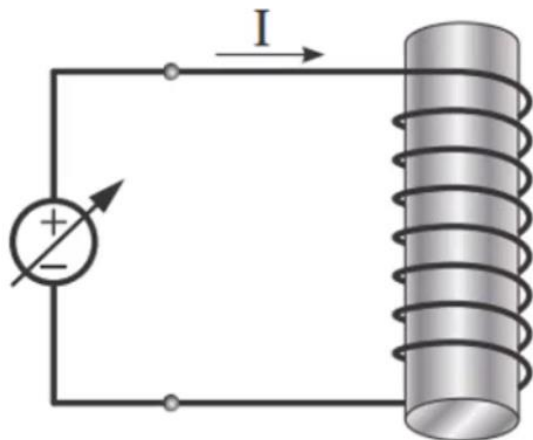
نواحی منحنی مغناطیسی مواد فرو مغناطیس



- چرا این اتفاق می افتد؟
- می توانیم ملکول های هسته را به عنوان آهنرباهای خیلی کوچک در نظر بگیریم.
- اگر جریان صفر باشد جهت آهنرباها تصادفی است.
- اگر جریان برقرار شود آهنرباها جهت میدان را می گیرند.
- در جایی که جهت گیری ها کامل شود، افزایش جریان B را بیشتر افزایش نمی دهد.



ضریب نفوذ سیم‌پیچ با هسته هوا یا خلأ



• جریان را از صفر تا حداکثر افزایش می‌دهیم.

• منحنی خطی است.

• مقدار B نسبت به H ثابت است.

• در این حالت به نسبت B به H **ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ** می‌گوییم.

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

• چگالی شار مغناطیسی در خلأ

• شدت میدان مغناطیسی در خلأ

• μ_0 ضریب نفوذ مغناطیسی در خلأ

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



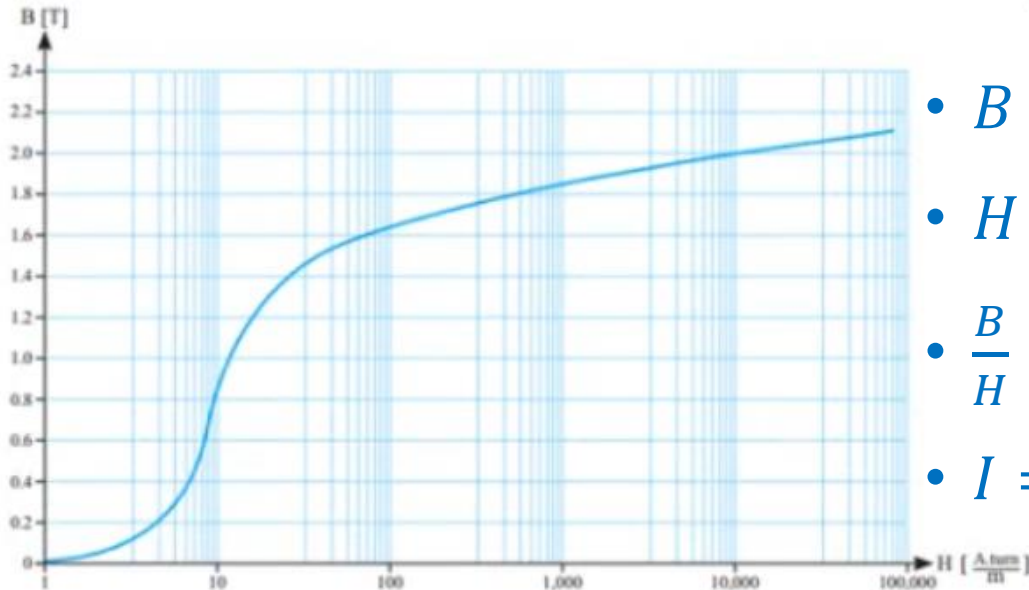
مثال



خلاً



- سیم پیچ ۱۰۰۰ دور بدون هسته با طول متوسط ۰/۱ سانتی‌متر در خلاً دارای چگالی مغناطیسی ۰/۶ تسلا است. جریان عبوری از سیم‌پیچ را بدست آورید.
- اگر هسته فولادی M-5 استفاده شود بار دیگر جریان را محاسبه کنید.



منحنی مشخصه مغناطیسی M-5

- $B = 0.6T, N = 1000, l_c = 0.1m$
- $H = \frac{NI}{l_c} = \frac{1000I}{0.1} = 10^4 I$
- $\frac{B}{H} = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \Rightarrow H = \frac{0.6}{4\pi \times 10^{-7}} = 10^4 I \Rightarrow$
- $I = \frac{150}{\pi} = 47.77$



مثال



خلاً

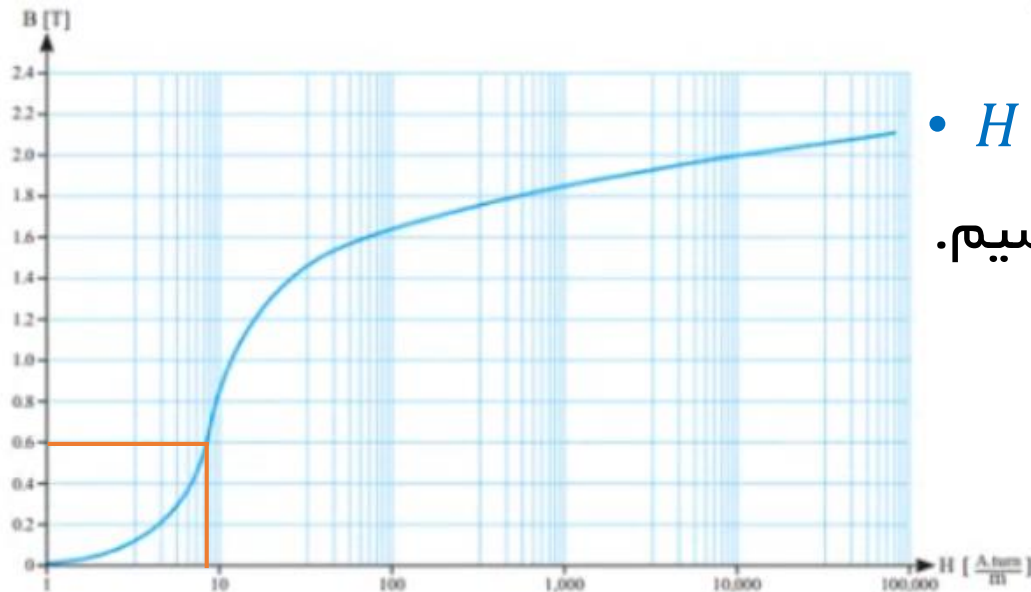


- سیم پیچ ۱۰۰۰ دور بدون هسته با طول متوسط ۱۰ سانتی‌متر در خلاً دارای چگالی مغناطیسی ۰/۶ تسلا است. جریان عبوری از سیم‌پیچ را بدست آورید.

- اگر هسته فولادی M-5 استفاده شود بار دیگر جریان را محاسبه کنید.

$$H \approx 8 \frac{A \cdot \text{Turn}}{m} = 10^4 I \Rightarrow I = 8 \times 10^{-4} A$$

پس با جریان بسیار کمتر به همان میدان مغناطیسی می‌رسیم.



منحنی مشخصه مغناطیسی M-5



ضریب نفوذ نسبی

- برای مقایسه مواد فرومغناطیس از ضریب نفوذ خلأ به عنوان معیار استفاده می‌شود.

- به نسبت **ضریب نفوذ هسته** فرومغناطیس به **ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ**، **ضریب نفوذ نسبی** می‌گویند.

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

- ضریب نفوذ نسبی واحد ندارد.

- ضریب نفوذ نسبی نشان می‌دهد که هسته فرومغناطیس **چند برابر خلأ** نفوذ مغناطیسی دارد.



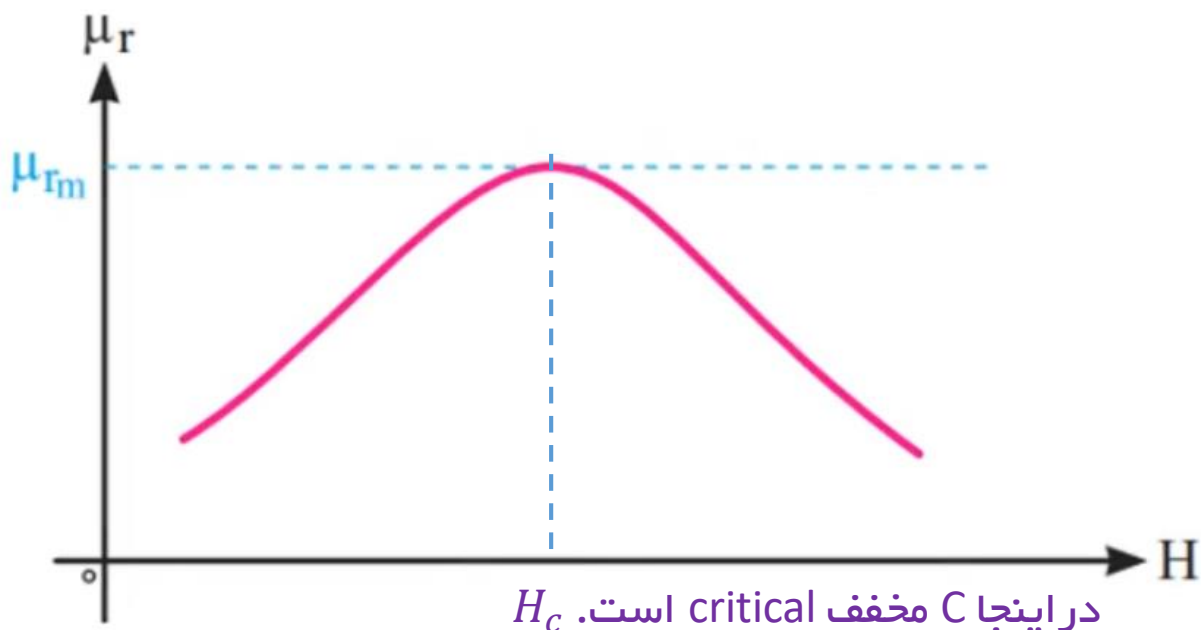
ضریب نفوذ نسبی



- اغلب سازندگان مواد فرومغناطیس برای محصولات خود منحنی ضریب نفوذ نسبی بر حسب شدت میدان مغناطیسی را ارائه می‌دهند.

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

- در اینجا محور خطی است و لگاریتمی نیست.





ضریب نفوذ نسبی



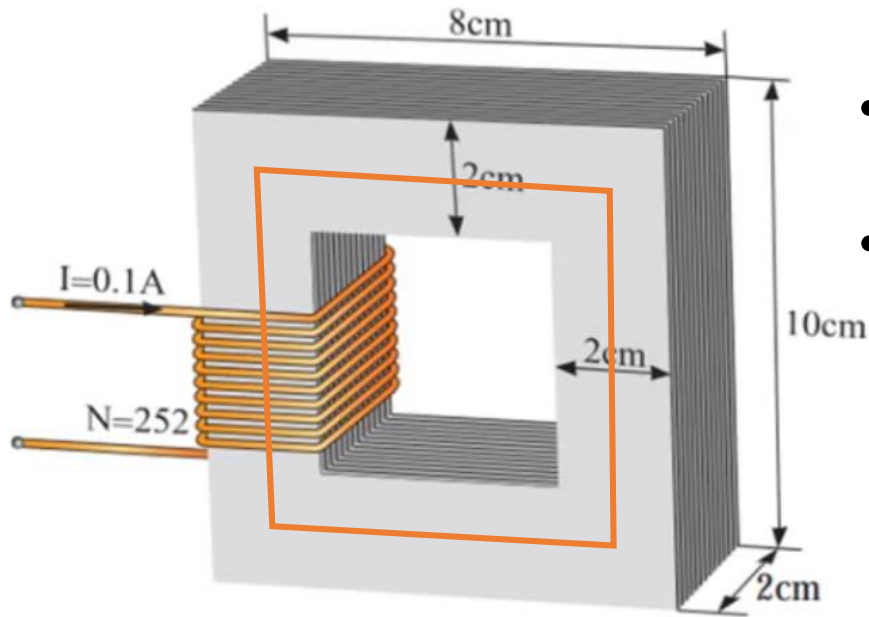
- ضریب نفوذ نسبی با افزایش فرکانس جریان سیم‌پیچ یا افزایش دما کاهش می‌یابد.
- بر اساس ضریب نفوذ نسبی، مواد مغناطیسی به سه نوع تقسیم می‌شوند:
 - دیامغناطیس
 - پارامغناطیس
 - فرومغناطیس



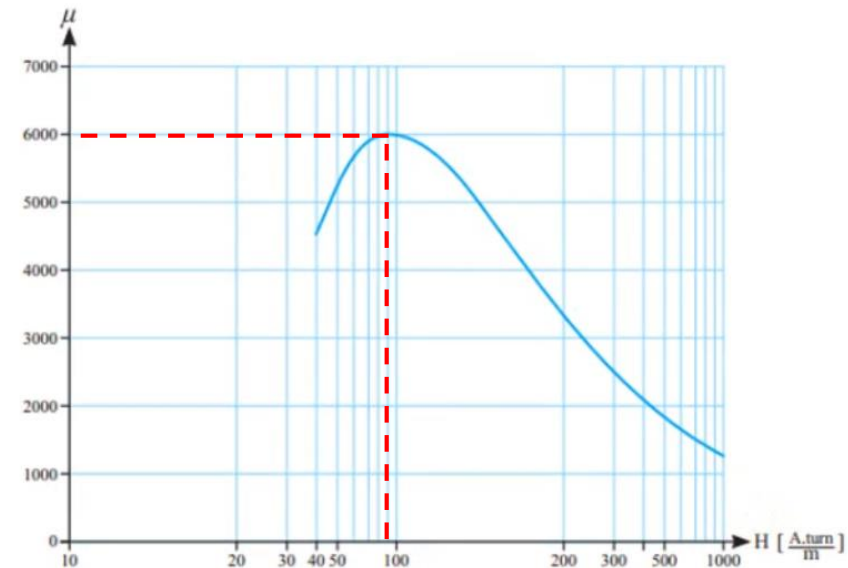
مثال



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

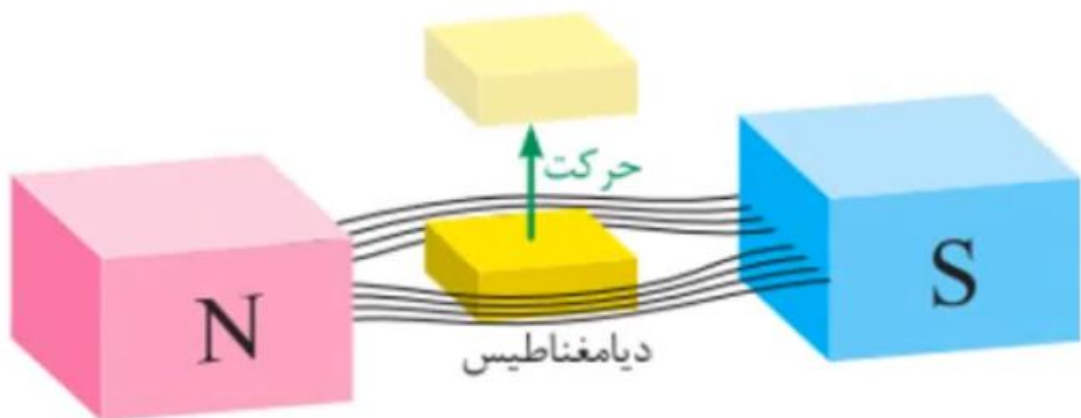


$$H = \frac{NI}{l_c} = \frac{252 \times 0.1}{(6+6+8+8)cm} = \frac{2520}{28} = 90 \frac{A.turn}{m}$$
$$\mu = 6000 \frac{wb}{A.turn.m}$$





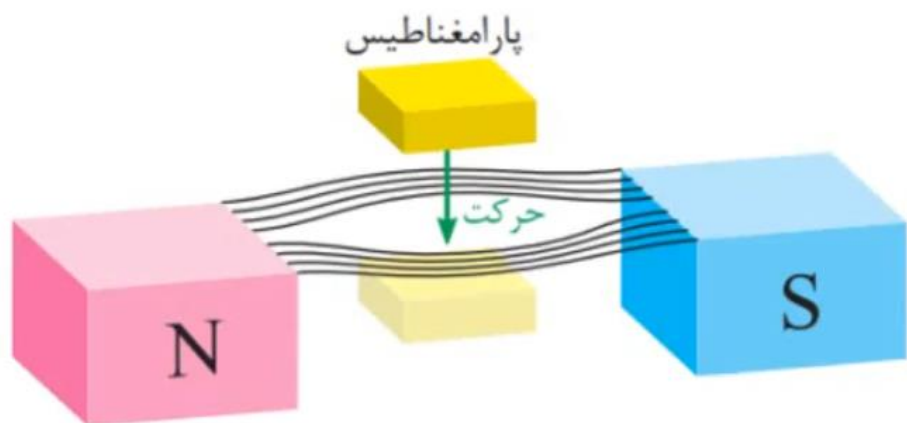
مواد دیامغناطیس



- ضریب نفوذ مواد دیامغناطیس کمی کمتر از ۱ است.
- جیوه، نقره، قلع و آب از این مواد هستند.
- شار مغناطیسی را از خود عبور نمی‌دهند.
- میدان مغناطیسی را غیر یکنواخت می‌کنند.
- از طرف میدان مغناطیسی دفع می‌شوند.



مواد پارامغناطیس



- ضریب نفوذ مواد دیامغناطیس کمی بیشتر از ۱ است.
- آلومینیوم، هوا و پلاتین از این مواد هستند.
- ملکول‌های مغناطیسی آنها می‌کوشند تا در جهت میدان مغناطیسی منظم شوند.
- به طرف ناحیه قوی میدان مغناطیسی کشیده می‌شوند.
- به آهنربا تبدیل می‌شوند و با خروج از میدان مغناطیسی خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهند.



مواد فرومغناطیس



- مواد مهم
- ضریب نفوذ نسبی مغناطیسی آنها بین ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰ است.
- آهن و آلیاژهای آن جزو این مواد هستند.
- ملکول‌های 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.



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

مقایسه ضریب نفوذ نسبی مواد مختلف

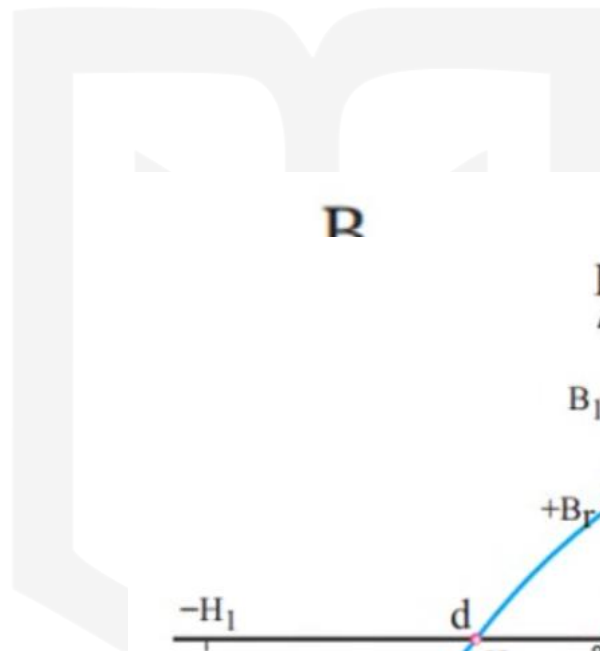
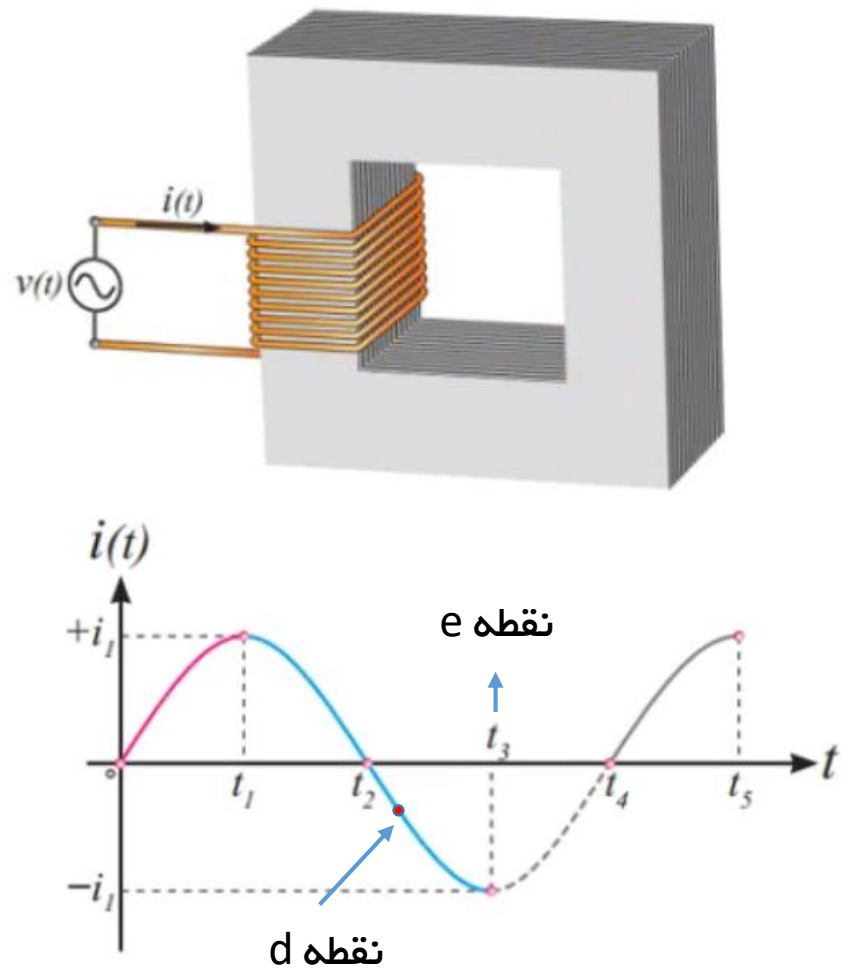


مواد دیامغناطیس		مواد پارامغناطیس		مواد فرومغناطیس	
μ_r	ماده	μ_r	ماده	μ_r	ماده
۰/۹۹۹۷۵	جیوه	۱/۰۰۰۰۰۰۰۴	هوا	تا ۶۰۰۰	آهن بدون آلیاژ
۰/۹۹۹۹۸۱	نقره	۱/۰۰۰۰۰۰۰۳	اکسیژن	تا ۶۵۰۰	فولاد الکتریکی
۰/۹۹۹۸۸	قلع	۱/۰۰۰۰۰۲۲	آلومینیم	۳۰۰۰۰۰	آهن نیکل آلیاژ
۰/۸۹۹۹۱	آب	۱/۰۰۰۰۳۶	پلاتین	۱۰۰۰۰	فریت مغناطیسی

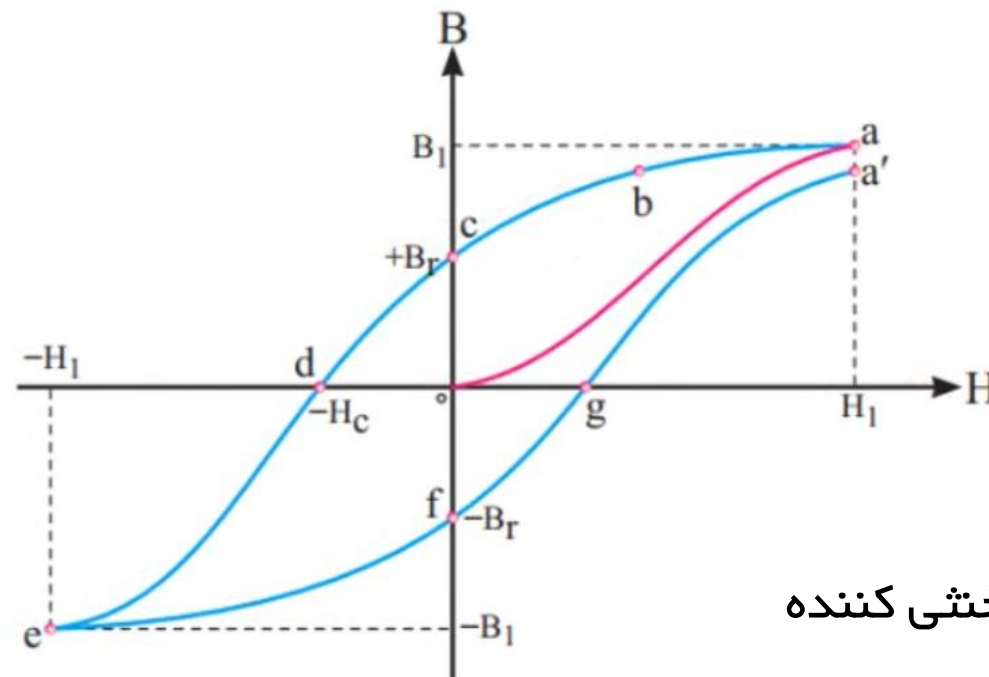
دانشگاه جیرفت



حلقه هیستریزیس



- مربوط به مواد فرومغناطیس
- B_r : چگالی شار پسماند



H_c : شدت میدان خشی کننده



حلقه هیستریزیس

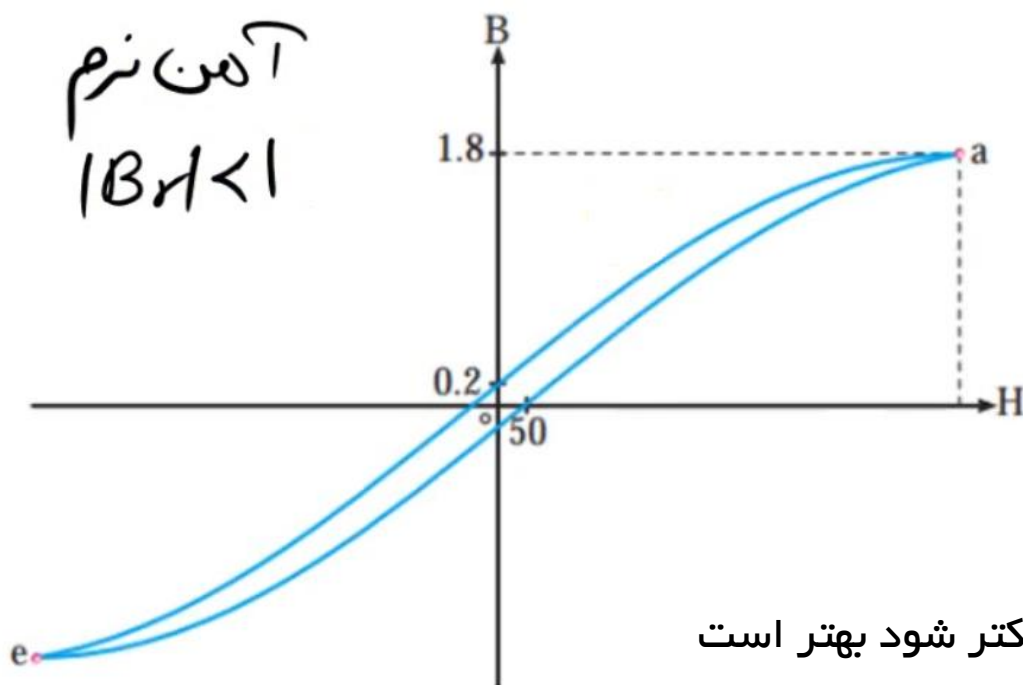
- حلقه هیستریزیس نشان می‌دهد:
- رابطه بین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان غیر خطی و چند مقداری است.
- حتی در صورت صفر بودن جریان سیم پیچ، هسته مغناطیسی است. (شار پسماند)
- جهت میدان مغناطیسی و ملکولهای مغناطیسی در هر حلقه تغییر می‌کند.
- به ازای هر سیگل جریان سیم پیچ یک حلقه ایجاد می‌شود.
- مقدار انرژی که در یک ثانیه صرف تغییر جهت میدان مغناطیسی در هسته می‌شود را به عنوان **تلفات هیستریزیس** تعریف می‌کنند.
- تلفات هیستریزیس تابع فرکانس، جریان سیم پیچ و مشخصات فیزیکی آن است.
- در ماشین‌های الکتریکی و ترانسفورماتورها برای ساخت هسته از آهن نرم استفاده می‌شود. زیرا شار پسماند در آهن نرم خیلی کوچک است و باعث کاهش تلفات هیستریزیس می‌شود.



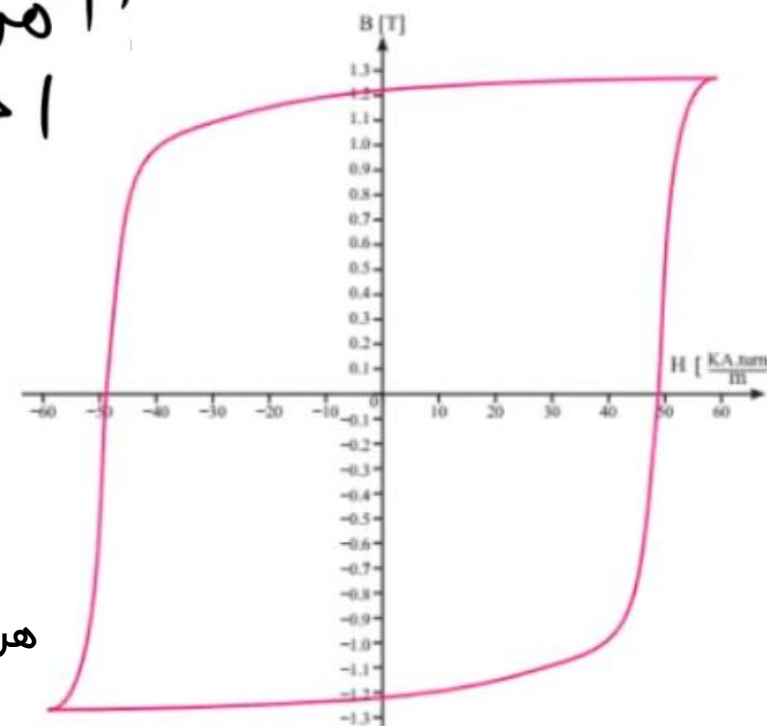
حلقه هیستریزیس



- در آهنربای دائمی، جنس هسته اغلب آلیاژی از آهن، نیکل و کبالت است (آهن سخت)



آهن سخت
 $|B_r| > 1$



هر چه B به سمت αH نزدیکتر شود بهتر است