فصل اول

الکترومغناطیس

هدف‌های رفتاری

پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- الکترومغناطیس را تعریف کند.
- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را تعریف کند.
- رابطه میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را توضیح دهد.
- میدان مغناطیسی اطراف سیم‌پیچ حامل جریان را تعریف کنید.
- رابطه میدان مغناطیسی اطراف سیم‌پیچ حامل جریان را توضیح دهد.
- کمیت‌های مغناطیسی را نام ببرد.
- نیروی محرکه مغناطیسی را تعریف کند.
- رابطه نیروی محرکه مغناطیسی را توضیح دهید.
- شدت میدان مغناطیسی را تعریف کند.
- رابطه شدت میدان مغناطیسی را توضیح دهد.
- فوران مغناطیسی را تعریف کند و واحدهای آن را نام ببرید.
- چگالی میدان مغناطیسی را تعریف کند و رابطه آن را توضیح دهد.
- ضریب نفوذ میدان مغناطیسی و رابطه آن را توضیح دهد.
- ضریب نفوذ میدان مغناطیسی در خلاء را تعریف کند و عدد خاص آن را بیان کند.
- ضریب نفوذ میدان مغناطیسی نسبی را تعریف کند و رابطه آن را توضیح دهد.
- ضریب نفوذ نسبی را در مواد مختلف با یک‌دیگر مقایسه کند.
- منحنی مغناطیسی مواد را توضیح دهد و با استفاده از آن اطلاعات مورد نیاز را استخراج کند.
- پس‌ماند مغناطیسی را تعریف کند.
- اثر و منحنی هیسترزیس را توضیح دهد.
- منحنی هیسترزیس را در مواد مغناطیسی سخت، نرم و فریت توضیح دهد.

- منحنی‌های هیسترزیس را در مواد مغناطیسی سخت، نرم و فریت مقایسه کند.
- مدارهای مغناطیسی را تعریف کند و اجزای آن را نام ببرد.
- مقاومت مغناطیسی را تعریف کند و رابطه آن را توضیح دهد.
- مقاومت مغناطیسی یک مدار مغناطیسی با فاصله هوایی را تعریف کند و رابطه آن را توضیح دهد.
- اجزای یک مدار مغناطیسی ساده را با یک مدار الکتریکی ساده مقایسه کند.
- روابط حاکم بر مدار مغناطیسی ساده را با مدار الکتریکی ساده مقایسه کند.
- یک مدار مغناطیسی ساده را به یک مدار الکتریکی ساده تبدیل و شکل آن را رسم کند.
- روابط حاکم بر مدار مغناطیسی ساده را با کمک قانون نیروی محرکه مغناطیسی تحلیل نماید.
- روابط حاکم بر مدار مغناطیسی ساده با فاصله هوایی را به کمک قانون نیروی محرکه مغناطیسی تحلیل نماید.
- کاربردهایی از الکترومغناطیس را بیان کند.
- پرسش‌های مربوط به این فصل را پاسخ دهد.
- تمرین‌های مربوط به این فصل را حل نماید.

مقدمه

در جهان امروز، بشر به طرز عجیبی به الکتریسته وابسته می‌باشد و بدون آن، زندگی بشر متمدن تقریباً غیرممکن است. اما باید خاطر نشان ساخت که پدیده جادویی مغناطیس نیز نقش بسیار عمده‌ای در زندگی بشر ایفا می‌کند. بدون پدیده مغناطیس لوازم الکتریکی و الکترومکانیکی از قبیل موتورهای الکتریکی، ترانسفورمرها و ژنراتورها قادر به کار نخواهند بود. به‌طور کلی می‌توان گفت با آن که بشر به الکتریسیته وابستگی شدید پیدا کرده است ولی در بیش‌تر موارد بدون پدیده مغناطیس قادر به استفاده از الکتریسیته نخواهد بود و بدون پدیده مغناطیس زندگی بشر متمدن غیرممکن خواهد بود.

در سال ۱۸۲۰ میلادی فیزیک‌دان دانمارکی به نام اورستد[۱] برای اولین بار متوجه شد که جریان الکتریکی می‌تواند آثار مغناطیسی بوجود آورد. این کشف مهم دو علم الکتریسیته و مغناطیس را به یک‌دیگر مربوط ساخت. برای تشریح رابطه بین جریان الکتریکی و مغناطیس نظریه‌ای به‌وجود آمده است که به آن نظریه الکترو مغناطیس[۲] می‌گویند. تأثیر میدان مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان بر عقربه قطب‌نما در شکل (۱ ـ ۱) نشان داده شده است.

شکل ۱ ـ ۱

مشاهده می‌شود عقربه قطب‌نما، عمود بر هادی

۱. Oersted
۲. Electro Magnets

جریان قرار می‌گیرد. وقتی جهت جریان الکتریکی در هادی تغییر داده شود عقربه نیز می‌گردد و جهت آن تغییر می‌کند.

یکی از حوزه‌هایی که انتظار می‌رود فناوری نانو[1] اثر فراوانی بر پیشرفت آن داشته باشد، مغناطیس‌ها و مواد مغناطیسی است. با ورود فناوری نانو به علم و صنعت مغناطیس، بهبود زیادی در کیفیت مغناطیس‌ها ایجاد شده است و مغناطیس‌هایی با ابعاد کوچک و نیروی مغناطیسی بزرگ ساخته شده‌اند.

هانس کریستن اورستد

داروساز، فیزیک‌دان و اندیشمند نابغه دانمارکی در سال ۱۷۷۷ دیده به جهان گشود. پدرش داروخانه داشت، بنابراین او در کودکی با بسیاری از مواد آشنایی پیدا کرد که این آشنایی سبب تحصیل در همین رشته شد. وی در سال ۱۷۹۹ در سن ۲۲ سالگی به اخذ درجه دکترا در داروشناسی نایل گردید. و در سال ۱۸۰۶ با سمت استاد عالی استخدام شد و در سال ۱۸۲۹ به ریاست موسم پلی‌تکنیک کپنهاگن منصوب گردید.

منبع: کتاب زندگی‌نامه دانشمندان جهان

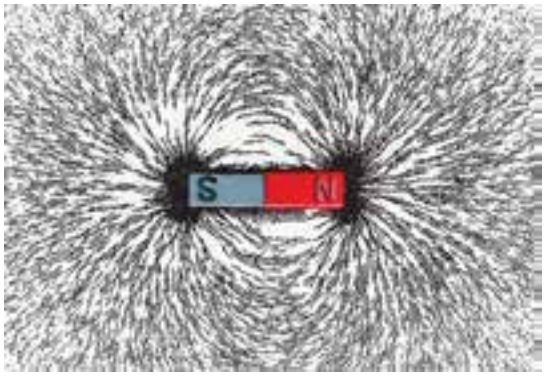
۱ ـ ۱ ـ میدان مغناطیسی

در فضای اطراف یک آهن‌ربا یا مغناطیس طبیعی خاصیتی وجود دارد که ذرات آهن را به خود جذب می‌کند به این فضا «میدان مغناطیسی»[2] می‌گویند.

میدان مغناطیسی بر قطب‌نما تاثیر می‌گذارد و باعث انحراف آن می‌شود پس با حرکت دادن یک قطب‌نما در اطراف یک آهن‌ربا می‌توان به وجود میدان مغناطیسی پی برد. شکل (۲ ـ ۱)

شکل ۲ ـ ۱

با قرارداد دادن یک مقوا بر روی یک آهن‌ربا و پاشیدن براده‌های آهن به روی مقوا می‌توان خطوط نیروی میدان مغناطیسی را مشاهده کرد. شکل (۳ ـ ۱)



شکل ۳ ـ ۱

هر خط نیروی میدان مغناطیسی را یک ماکسول[3] (max) می‌گویند.

۱. NanoTechnoligy ۲. Magnetic Field ۳. Max well

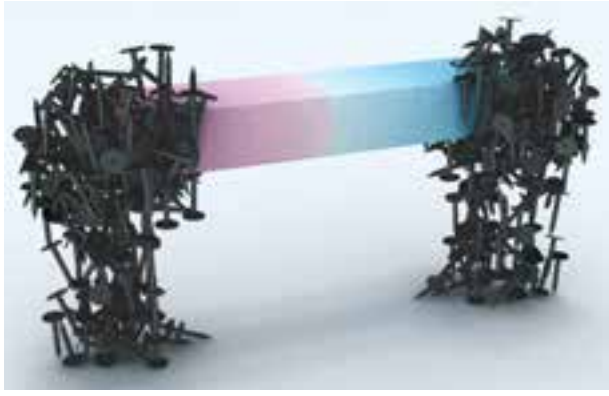
ماکسول

جیمز کلارک ماکسـول در ۱۳ نوامبر سال ۱۸۳۱ در ادینبرای اسکاتلند متولد شـد از کودکی به ریاضیات و فیزیک علاقه فراوان داشـت در سـال ۱۸۴۷ وارد دانشـگاه ادینبرا شـد و در ۱۸۵۰ به دانشـگاه کمبریج رفت و در سـال ۱۸۵۴ از تحصیل فراغت یافت.

ماکسـول از سال ۱۸۵۶ تا ۱۸۶۵ استاد کالج مارشال در آبردین و کالج کینگ لندن بود، وی در سـال ۱۸۷۳ کتابی به نام دوره الکتریسـته و مغناطیس منتشر کرد و بلافاصله به سمت استاد کرسی فیزیک دانشگاه انتخاب شد. ولی عمر وی کوتاه بود در سال ۱۸۷۹ در سن ۴۹ سالگی وفات یافت.

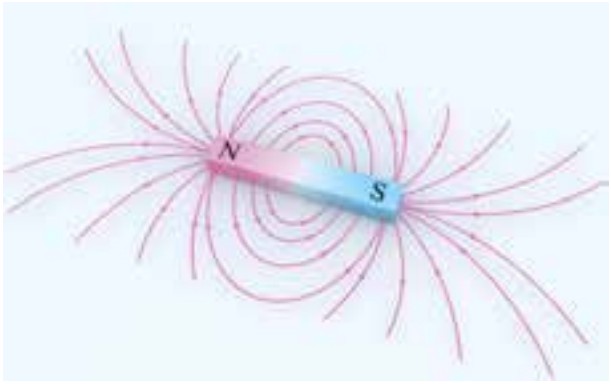
منبع www.roshd.ir

خطوط نیروی میدان مغناطیسی در دو نقطه معین از میدان مغناطیسـی دارای فشردگی بیش‌تری نسبت به سایر نقاط اسـت این نقاط را قطب‌های مغناطیسی[1] می‌نامند و با حروف N و S آن‌ها را نشـان می‌دهند. اثر جذب در قطب‌های میدان مغناطیسـی بسیار قوی‌تر از سایر نقاط میدان مغناطیسی است. شکل (۴ ـ ۱)



شکل ۴ ـ ۱

خطوط نیروی میدان مغناطیسی هیچگاه یک‌دیگر را قطع نمی‌کنند. بنا به قرارداد از قطب N بیرون می‌آیند و پس از امتداد در فضای اطراف آهن‌ربا به قطب S وارد می‌شوند. شکل (۵ ـ ۱)



شکل ۵ ـ ۱ خطوط نیروی میدان مغناطیسی

۲ ـ ۱ ـ فوران مغناطیسی

در شـکل (۳ ـ ۱) خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک آهـن‌ربا نمایش داده شده است. به مجموع خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک مغناطیسی یا آهن‌ربا «فوران» یا «شار مغناطیسی[2]» می‌گویند و آن را با φ نشان می‌دهند[3].

واحد فوران مغناطیسی ولت.ثانیه $(v.sec)$ است که اصطلاحاً به آن وِبر wb می‌گویند. یک وبر[4] برابر با 10^8

۱. Magnetic poles ۲. Magnetic Flux ۳. در برخی کتب آن را Flow می‌نامند. ۴. Weber

خط نیروی میدان مغناطیسی یا ماکسول است. پس:

$$۱[v.sec]=۱[wb]=۱۰^{۸}[max] \qquad (۱-۱)$$

واحد رایج فوران مغناطیسی وبر wb است و واحد کوچک‌تر آن میلی وبر mwb می‌باشد. یک وبر برابر با $۱۰^{۳}$ میلی وبر است. یعنی:

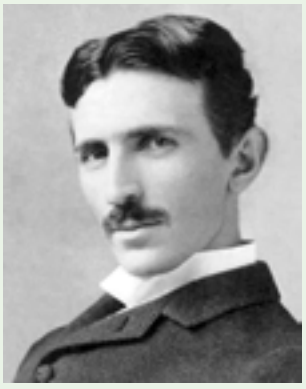
$$۱[wb]=۱۰^{۳}[mwb] \qquad (۱-۲)$$

ویلهم وبر

ویلهم وبر در سال ۱۷۹۵ میلادی در آلمان به دنیا آمد. وی فیزیکدان بود که شهرتش به مطالعات در زمینه مغناطیس مربوط می‌شود. وبر در سال ۱۸۷۸ میلادی دیده از جهان فرو بست.

منبع www.wikipedia.com

نیکولا تسلا



نیکولا تسلا در سال ۱۸۵۶ در امپراتوری اتریش ـ مجارستان متولد شد و در سال ۱۸۸۴ به عنوان یک فیزیکدان به ایالات متحده آمریکا مهاجرت کرد. او پیشگام تولید، انتقال و استفاده از جریان الکتریکی متناوب شد. در سال ۱۸۸۸ شرکت وستینگهاوس امتیاز تسلا شامل موتور و ژنراتور الکتریکی را خرید و این شرکت از سیستم جریان متناوب تسلا برای روشنایی استفاده کرد.

تسلا در طی زندگی‌اش یک میراث حقیقی از اختراعات به جای گذاشت که امروزه هنوز جذاب هستند. جهان به افتخار نام او نام واحد چگالی شار مغناطیسی را تسلا گذاشت. نیکولا تسلا در سال ۱۹۴۳ در اتاق یک هتل در شهر نیویورک دیده از جهان فرو بست.

مثال ۱ ـ ۱ ـ فوران مغناطیسی یک آهن‌ربا ۲/۵ میلی وبر mwb است. فوران این آهن‌ربا چند ماکسول max است؟

حل:

ـ با استفاده از تناسب، واحد فوران را به وبر تبدیل می‌کنیم.

$$\frac{۱wb}{\varphi}=\frac{۱۰^{۳}mwb}{۲/۵mwb}$$

$$\varphi=\frac{۲/۵\times۱}{۱۰^{۳}}$$

$$\varphi=۲/۵\times۱\times۱۰^{-۳}$$

$$\varphi=۲/۵\times۱۰^{-۳}[wb]$$

ـ یک وبر برابر با $۱۰^{۸}$ خط نیروی میدان مغناطیسی یا ماکسول max است.

$$\frac{۱ wb}{۲/۵\times۱۰^{-۳}}=\frac{۱۰^{۸} max}{\varphi}$$

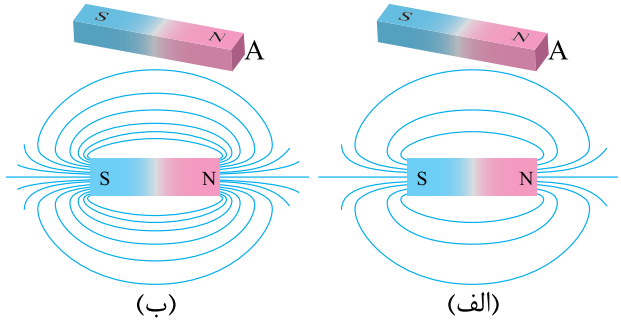
$$\varphi=\frac{۲/۵\times۱۰^{-۳}\times۱۰^{۸}}{۱}$$

$$\varphi=۲/۵\times۱۰^{۵}=۲۵۰۰۰۰\,[max]$$

یـا به عبارتی در اطراف ایـن آهن‌ربا ۲۵۰۰۰۰ خط نیروی میدان مغناطیسی وجود دارد.

۳ ـ ۱ ـ چگالی فوران مغناطیسی

دو آهن‌ربا با ابعاد مشابه و فوران‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ ماکسـول که سـطح مقطع قطب آن‌ها با A مشـخص می‌باشد در شکل (۶ ـ ۱) نشان داده شده است.



(ب) (الف)

شکل ۶ ـ ۱

میدان مغناطیسـی آهن‌ربای شـکل (الف ـ ۶ ـ ۱) در سـطح مقطع قطب خود ۱۰۰۰ و میدان مغناطیسی آهن‌ربای شکل (ب ـ ۶ ـ ۱) در سطح مقطع خود ۲۰۰۰ خط نیرو جای داده اسـت. سـطح مقطع قطب A هـر دو آهـن‌ربـا برابر اسـت، امـا آهـن‌ربـای شکل (ب ـ ۶ ـ ۱) خطوط نیروی مغناطیسـی یا فوران مغناطیسی بیش‌تری در سطح مقطع قطب A خود جای داده است. به عبارتی فوران مغناطیسـی در سطح مقطع قطب A آهن‌ربای شـکل (ب ـ ۶ ـ ۱) نسـبت به شکل (الف ـ ۶ ـ ۱) فشرده و متراکم‌تر می‌باشد، لذا میدان مغناطیسی آن قوی‌تـر اسـت. در واقع میدان مغناطیسـی این دو آهن‌ربـا با یک‌دیگر تفاوت دارند. برای نشـان دادن این تفاوت کمیتی به نام چگالی فوران مغناطیسی»[۱] تعریف می‌شود و آن را با B نشان می‌دهند.

چگالی فوران مغناطیسـی B کمیتی است که تراکم یا فشـردگی خطوط میدان مغناطیسی در سطح مقطع A را نشـان می‌دهد. اگر سـطح مورد نظر واحد انتخاب شـود، «فوران عبـوری از واحد سـطح را چگالی فوران مغناطیسی» تعریف می‌کنند.

چگالی فوران مغناطیسـی از رابطه (۳ ـ ۱) به‌دست می‌آید.

$$B=\frac{\varphi}{A} \qquad (۱-۳)$$

در این رابطه:

φ فوران مغناطیسی بر حسب وبر wb

A مسـاحت مقطعی که فوران مغناطیسـی φ از آن می‌گذرد بر حسب مترمربع $m^{۲}$

B چـگـالی فـوران مـغناطیسـی بـر حـسب وبر بر مترمربع $\left[\frac{wb}{m^{۲}}\right]$

واحـد چگالی فوران مغناطیسـی B وبر بر مترمربع $\left[\frac{wb}{m^{۲}}\right]$ است که اصطلاحاً به آن تسلا[۲] [T] می‌گویند و واحد کوچک‌تر آن ماکسـول بر سانتی‌مترمربع $\left[\frac{max}{cm^{۲}}\right]$ اسـت که اصطلاحاً به آن گاوس[۳] [G] گفته می‌شـود.

پس:

$$۱\left[\frac{wb}{m^{۲}}\right]=۱\,[T]=۱۰^{۴}\,[G] \qquad (۱-۴)$$

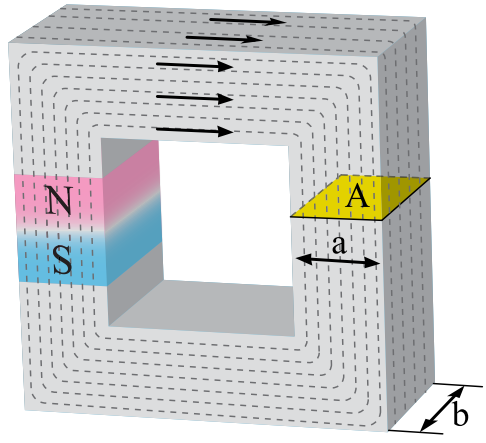
۱. Magnetic flux Density ۲. Tesla ۳. Gauss

گاوس

کارل فردریش گاوس در سال ۱۷۷۷ میلادی در آلمان به دنیا آمد. معاصرانش او را سلطان ریاضیدانان می‌نامیدند. استعداد ریاضی گاوس از دوران کودکی ظاهر شـد. خود او، وقتی دوران کودکی‌اش را به یاد می‌آورد، به شـوخی می‌گفت: «من شـمردن را پیش از حرف زدن یـاد گرفتم» او آموزش عالی خود را در دانشـگاه گوتینگن گذراند. بعدها به مدت ۵۰ سـال، کرسـی اسـتادی همین دانشگاه را به عهده داشت. گاوس در سال ۱۸۵۵ درگذشت.

منبع www.hupaa.com

مثـال ۲ ـ ۱ ـ آهـن‌ربایـی با فوران مغناطیسـی $0/02\ mwb$ مطابق شکل (۷ ـ ۱) در نظر است. چگالی فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند گاوس می‌باشـد؟ در صورتی‌کـه $b=20\ mm$ و $a=10\ mm$ باشد.



شکل ۷ ـ ۱

حل:

ـ سطح مقطع A برابر است با:

$$A = a.b = 10\times 20 = 200\ \left[mm^2\right]$$

ـ واحد سطح مقطع به متر مربع تبدیل می‌شود:

$$\frac{1m}{A} = \frac{10^6\ mm^2}{200\ mm^2}$$

$$A = \frac{200\times 1}{10^6} = 200\times 10^{-6} = 2\times 10^{-4}\left[m^2\right]$$

ـ واحد فوران مغناطیسی به وبر تبدیل می‌شود:

$$\frac{1wb}{\varphi} = \frac{10^3\ mwb}{0/02\ mwb}$$

$$\varphi = \frac{0/02\times 1}{10^3} = 0/02\times 10^{-3} = 2\times 10^{-5}\ [wb]$$

ـ از رابطه (۳ ـ ۱) چگالی فوران مغناطیسی به‌دست می‌آید:

$$B = \frac{\varphi}{A} = \frac{2\times 10^{-5}}{2\times 10^{-4}} = 0/1\left[\frac{wb}{m^2}\right] = [T]$$

ـ واحـد چگالی فوران مغناطیسـی به گاوس تبدیل می‌شود:

$$\frac{1T}{0/1T} = \frac{10^4 G}{B}$$

$$B = \frac{0/1\times 10^4}{1} = 0/1\times 10^4 = 1000\ [G]$$

پرسش ۱ ـ ۱

پرسش‌های کامل کردنی

۱ـ نظریه الکترومغناطیس رابطه ..... و ..... را تشریح می‌کند.

۲ـ میدان مغناطیسی بر قطب‌نما تأثیر ..... .

۳ـ به مجموع خطوط نیروی مغناطیسی اطراف یک مغناطیس ..... یا ..... گویند.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ـ در فضای اطراف یک آهن‌ربا خاصیتی وجود دارد که ذرات آهن را به خود جذب می‌کند.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ـ واحد فوران ولت ثانیه یا تسلا است.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ـ قطب‌های مغناطیسی را تعرف کنید؟

۲ـ چگالی فوران مغناطیسی را تعریف کنید؟

۳ـ واحد هر یک از کمیت‌های زیر را بنویسید.

الف ـ فوران

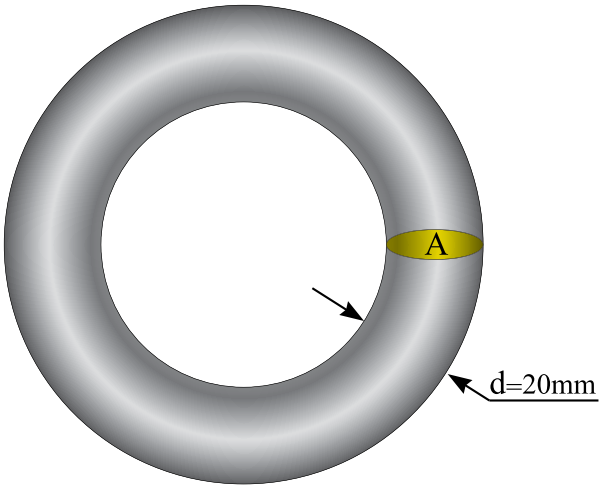
ب ـ چگالی فوران مغناطیسی

ج ـ خطوط نیروی مغناطیسی

تمرین ۱ ـ ۱

۱ـ یک آهن‌ربا ۴۰۰۰۰۰ خط نیروی میدان مغناطیسی دارد. فوران این آهن‌ربا چند میلی وبر است؟

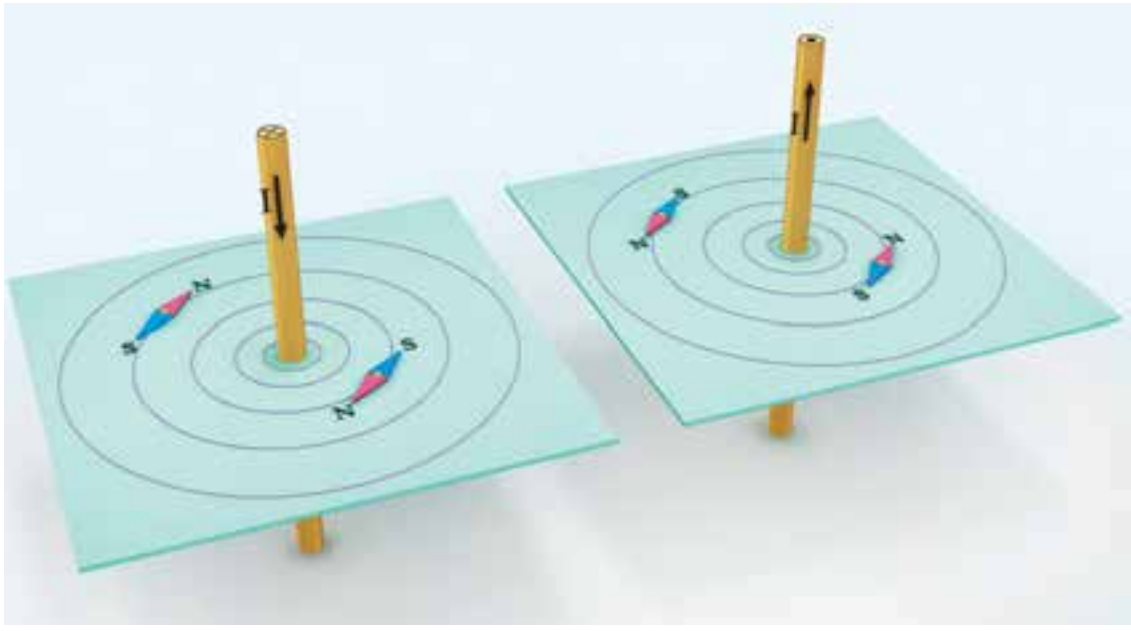
۲ـ آهن‌ربایی با چگالی فوران مغناطیسی ۱۰۰۰۰ G مطابق شکل (۸ ـ ۱) در نظر است. فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند میلی وبر است.



شکل ۸ ـ ۱

۴ ـ ۱ ـ میدان مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی

جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی تولید می‌کند. اورستد اولین کسی بود که به بررسی ارتباط بنیادی میان جریان الکتریکی و مغناطیس پرداخت و نظریه الکترومغناطیس را ارایه کرد. وی برای تشریح این نظریه با قرار دادن یک عقربه مغناطیسی در تمام نقاط مختلف اطراف یک هادی حامل جریان مطابق شکل (۹ ـ ۱) مشاهده کرد عبور جریان الکتریکی باعث انحراف عقربه مغناطیسی می‌شود. و با تغییر جهت جریان الکتریکی در هادی جهت عقربه‌های مغناطیسی تغییر می‌کند.



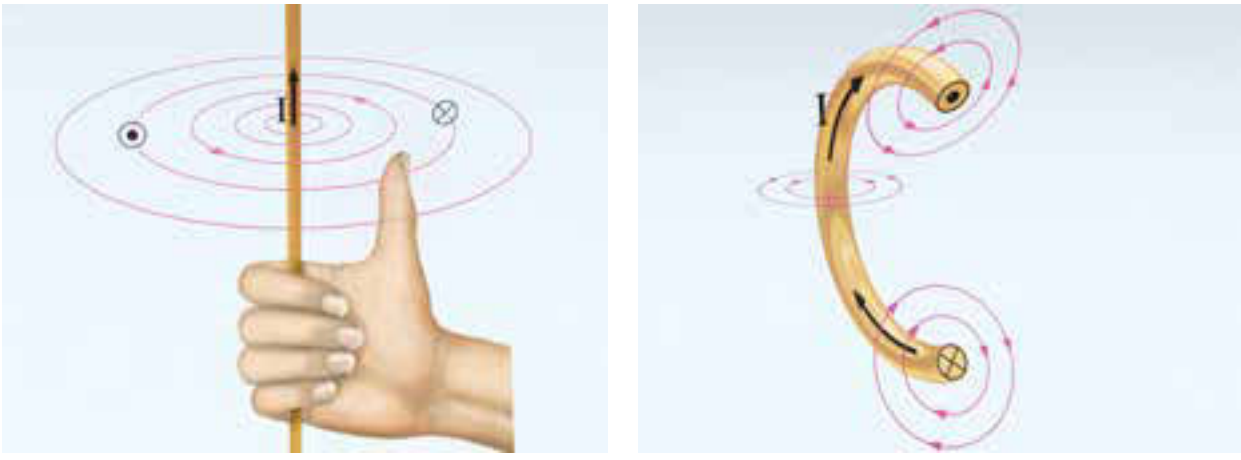
شکل ۹ ـ ۱

جهت میدان الکترومغناطیسی به جهت جریان الکتریکی بستگی دارد.

۵ ـ ۱ ـ جهت میدان الکترو مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی

برای تعیین جهت میدان الکترومغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی علاوه بر استفاده از عقربه مغناطیسی مطابق شکل (۹ ـ ۱) می‌توان از قانون شست[1] نیز استفاده کرد. برای این منظور مطابق شکل (۱۰ ـ ۱) باید شست دست راست را در جهت جریان الکتریکی هادی قرار داد تا بقیه انگشتان به‌صورت بسته جهت میدان الکترومغناطیسی را نشان دهند.

مشاهده می‌کنید مانند جهت جریان می‌توان جهت میدان مغناطیسی را نیز به کمک نقطه (•) و ضربدر(×) مشخص کرد.

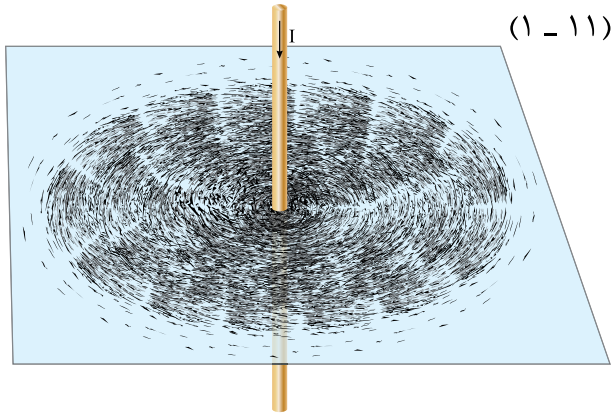


شکل ۱۰ ـ ۱

۱. Thumb Rule

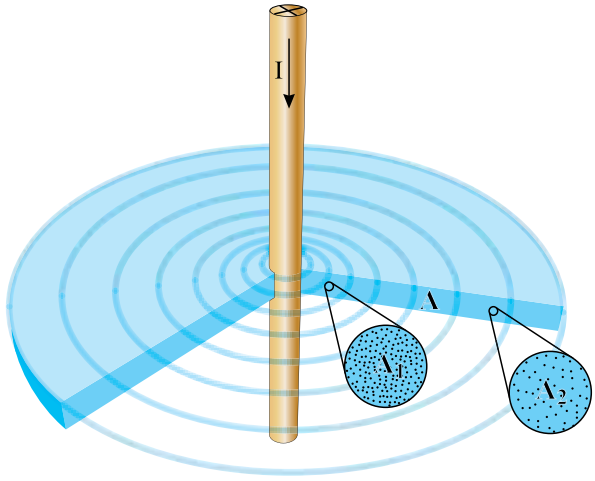
۶ ـ ۱ ـ چگالی فوران مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان الکتریکی

اورستد در ادامه آزمایش‌های خود، هادی حامل جریان الکتریکی را از میان یک صفحه‌ی مقوایی عبور داد و بر روی صفحه مقوایی براده‌های آهن پاشید. شکل (۱۱ ـ ۱)



شکل ۱۱ ـ ۱

وی مشاهده کرد براده‌های آهن در مسیرهای دایره‌ای منظم شدند و هرچه از هادی فاصله می‌گیرند از فشردگی آن‌ها کاسته می‌شود و این پدیده در سرتاسر طول هادی صادق است. برای درک این پدیده برشی از فضای اطراف هادی در سطح مقطع A در شکل (۱۲ ـ ۱) نشان داده شده است.

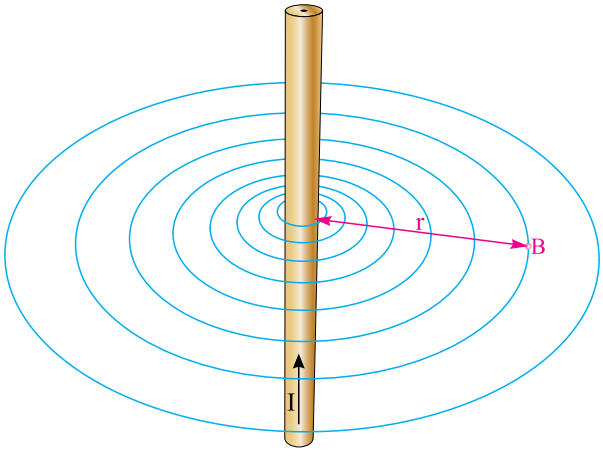


شکل ۱۲ ـ ۱

دو ناحیه A_1 و A_2 با مقاطع مساوی به فاصله r_1 و r_2 از هادی در سطح مقطع A بزرگ‌نمایی شده‌اند. چگالی فوران مغناطیسی ناحیه A_2 که در فاصله دورتری نسبت به ناحیه A_1 از هادی واقع است کم‌تر می‌باشد. پس با افزایش فاصله از هادی حامل جریان، میدان مغناطیسی ضعیف‌تر می‌شود و چگالی فوران مغناطیسی B کاهش می‌یابد.

۷ ـ ۱ ـ مقدار چگالی فوران مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی

آمپر[۱] و ماکسول دانشمندانی بودند که ثابت کردند چگالی فوران مغناطیسی B اطراف هادی حامل جریان با شدت جریان الکتریکی هادی نسبت مستقیم و با فاصله از هادی نسبت عکس دارد. و رابطه (۵ ـ ۱) را برای تعیین مقدار چگالی فوران مغناطیسی B در نقطه‌ای به فاصله r از یک هادی حامل جریان به شدت I را بر اساس شکل (۱۳ ـ ۱) ارائه کردند.



شکل ۱۳ ـ ۱

۱. Ampere