

فیزیک الکتریسیته و مغناطیس

فصل هشتم: میدان مغناطیسی

حسین شناور

گروه فیزیک، دانشکده علوم



دانشگاه هرمزگان

- این مجموعه درس در ایام همه گیری کرونا در بهار سال ۱۳۹۹ و با سرعتی بیش از حد معمول تهیه شده است؛ بنابراین، امکان وجود اشتباهات در این ارائه وجود دارد.
- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی را به آدرس ایمیل من ارسال کنید تا در ویرایش های بعدی تصحیحات لازم اعمال شوند:

h.shenavar@gmail.com

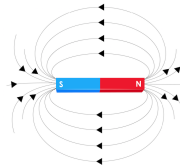
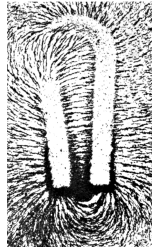
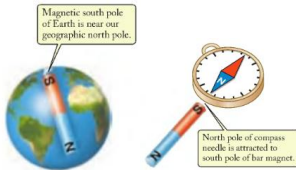
● ۱ فصل هشتم: میدان مغناطیسی

● مغناطیس

- نیروی وارد بر سیم حامل جریان

● گشتاور وارد بر حلقه جریان

پدیده های مغناطیسی اطراف ما



شفق قطبی- مثالی زیبا از تاثیرات میدان مغناطیسی زمین



برای دیدن شفق قطبی از آسمان فنلاند اینجا را کلیک کنید.

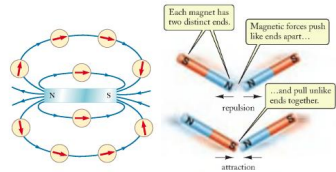
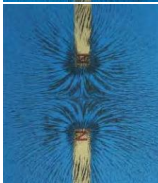
برای دیدن شفق قطبی از ایستگاه فضایی بین المللی اینجا را کلیک کنید.

دلیل شفق قطبی: ذرات باردار خروجی از خورشید (بادهای خورشیدی) به سمت کره زمین حرکت کرده و در میدان مغناطیسی زمین به دام می افتند. نیروی مغناطیسی وارد شده به این بارها باعث می شود که آنها شتاب گرفته و در نواحی شمالگان و جنوبگان با مولکول های جو برخورد و آنها را برانگیخته کنند. آنگاه، ترازهای اتمی ناپایدار ذرات برانگیخته با تابش فوتون هایی به تراز پایه خود منتقل شده و در نتیجه شفق قطبی بوجود می آید.

برای دیدن انیمیشنی از چگونگی رخداد این پدیده اینجا را کلیک کنید.



میدان مغناطیسی



شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی.

قطب های همنام آهنربا همدیگر را دفع و قطب های غیرهمنام همدیگر را جذب می کنند. بنابراین، میدان مغناطیسی بین قطب های غیر همنام قوی تر و میدان مغناطیسی بین قطب های همنام ضعیف تر می شود.

خطوط میدان مغناطیسی از قطب شمال (N) آهنربا شروع شده و به قطب جنوب (S) آن ختم می شوند. میدان مغناطیسی را با $\vec{B}$ نشان می دهند. میدان در نزدیکی قطبین بسیار قوی تر است.

بار مغناطیسی (تک قطبی مغناطیسی) تاکنون مشاهده نشده است. میدان مغناطیسی همیشه در اثر حضور دوقطبی ها، چهار قطبی ها و ... مغناطیسی و یا جریان الکتریکی بوجود می آید.

قانون گوس در مغناطیس: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$

مقایسه کنید با قانون گوس در الکتریسته: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{in} / \epsilon_0$

آزمایش ها نشان داده اند که میدان مغناطیسی می تواند به بارهای متحرک، جریان های الکتریکی و مغناطیس های دیگر نیرو وارد کند. در ادامه می خواهیم نیروی وارد شده بر دو مورد اول را بررسی کنیم.

قراردادی برای جهت میدان های درون سو و برون سو به صفحه کاغذ



Vector into
page



"arrow feathers"

Vector out
of page

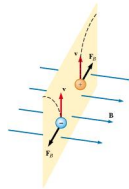
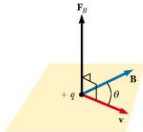


"arrowhead"

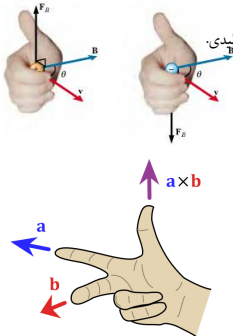
شکل ها از نت.

- بردارهای درون سو به صفحه کاغذ را با علامت $\otimes$ نشان می دهیم که یادآور قسمت بردار تیر (پیکان) است
- بردارهای برون سو از صفحه کاغذ را با علامت $\odot$ نشان می دهیم که یادآور قسمت جلوی تیر (پیکان) است

بار متحرک در میدان مغناطیسی



شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی.



آزمایش های متعدد نشان داده اند که به هر بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی نیرویی وارد می شود. شفق قطبی یکی از پدیده هایی است که در اثر اعمال نیرو به بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی اتفاق می افتد.

همچنین، این آزمایش ها نشان داده اند که نیروی مورد نظر با اندازه بار الکتریکی q ، اندازه سرعت ذره $|v|$ ، اندازه میدان مغناطیس $|\vec{B}|$ و سینوس زاویه بین این دو بردار متناسب است:

$$|\vec{F}_B| = qvB \sin \theta$$

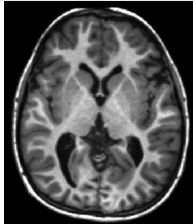
جهت نیروی $\vec{F}_B$ توسط قاعده دست راست تعیین می شود: اگر بار q مثبت باشد، آنگاه اگر چهار انگشت دست راست را در جهت بردار سرعت قرار دهیم، و آنها را به سمت بردار میدان مغناطیسی بچرخانیم، انگشت شست جهت نیروی مغناطیسی وارد بر بار q را نشان می دهد:

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

نیروی وارد شده به بار منفی در جهت عکس نیروی وارد شده به بار مثبت خواهد بود.

واحد میدان مغناطیسی و اندازه های معمول آن

At surface of neutron star	10^8 T
Near big electromagnet	1.5 T
Near small bar magnet	10^{-2} T
At Earth's surface	10^{-4} T
In interstellar space	10^{-10} T
Smallest value in magnetically shielded room	10^{-14} T



شکل ها از مبانی فیزیک
هالیدی و ویکی پدیا.

● واحد میدان مغناطیسی

$$T = \frac{N s}{C m} = \frac{N}{A m}$$

می باشد که آن را تسلا می نامند. تسلا، برای محاسبات روزمره، واحد نسبتا بزرگی است. بنابراین، معمولا از گوس استفاده می کنیم که رابطه آن با تسلا به صورت $G = 10^{-4} T$ می باشد.

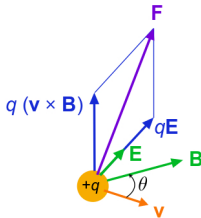
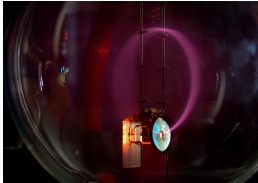
● برخی مقادیر معمول میدان مغناطیسی را در جدول بالا می بینید.

● یکی از موارد استفاده از میدان مغناطیسی، کاربرد آن در دستگاه

MRI : Magnetic Resonance Imaging

می باشد که بر اساس رزونانس مغناطیسی هسته ها کار می کند. شکل های بالا را ببینید.

میدان مغناطیسی و الکتریکی ترکیب شده – نیروی لورنتز



شکل ها از ویکی پدیا.

در صورتی که هر دو میدان الکتریکی و مغناطیسی در فضا وجود داشته باشند، آنگاه هر دو میدان به بار الکتریکی نیرو وارد می کنند. نیروی کل در این حالت برابر است با مجموع نیروهای الکتریکی و مغناطیسی:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

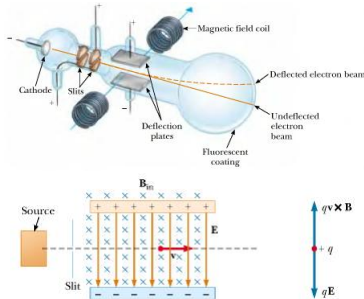
این نیرو را نیروی لورنتز می نامند.

مسیر حرکت ذره تحت تاثیر نیروی لورنتز را می توان با حل معادله زیر به دست آورد:

$$m\vec{a} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

به مثال زیر از نیروی لورنتز دقت کنید ↓↓↓↓ .

نیروی لورنتز- اندازه گیری نسبت بار به جرم الکترون



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

$$\frac{e}{m} = \frac{2yEL}{B^2 L^2} \quad \text{نسبت بار به جرم الکترون:}$$

این کمیت را می توان به راحتی با استفاده از اندازه گیری های نسبتا ساده آزمایشگاهی به دست آورد.

تأمین از دستگاهی مشابه شکل مقابل برای اندازه گیری نسبت e/m استفاده کرده است.

آزمایش تأمین برای اندازه گیری نسبت بار به جرم الکترون: می توان نسبت بین میدان های الکتریکی و مغناطیسی و همچنین سرعت اولیه الکترون را به صورتی انتخاب کرد که نیروی کل وارد بر بار الکتریکی دقیقا برابر با صفر باشد:

$$e\vec{E} + e\vec{v} \times \vec{B} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{E}{B}$$

دو شکل مقابل را ببینید.

حال اگر میدان مغناطیسی را حذف کنیم، آنگاه یک نیروی الکتریکی ثابت با اندازه eE به الکترون وارد می شود. در این صورت، الکترون با شتاب ثابت $a = eE/m$ حرکت خواهد کرد که در آن m جرم الکترون است.

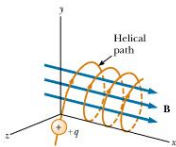
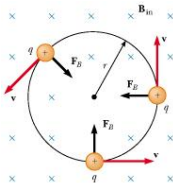
اگر پارامتر y را به عنوان جابه جایی الکترون در طول L در نظر بگیریم، آنگاه داریم:

$$y = \frac{1}{2}at^2 \quad t = \frac{L}{v}$$

بنابراین،

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{eEL^2}{2mv^2} = \frac{eEL^2}{2m(E/B)^2}$$

حرکت ذره در میدان مغناطیسی ثابت- فرکانس سیکلوترون



اگر ذرات در صفحه ای عمود بر میدان مغناطیسی حرکت کنند، آنگاه نیرویی مغناطیسی باعث می شود که ذره مورد نظر یک حرکت دایروی با سرعت ثابت داشته باشد. در این صورت، بنا به قانون دوم نیوتن داریم:

$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

از اینجا می توان شعاع حرکت ذره و فرکانس آن را به صورت زیر پیدا کرد:

$$r = \frac{mv}{qB} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{v/r}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi m}$$

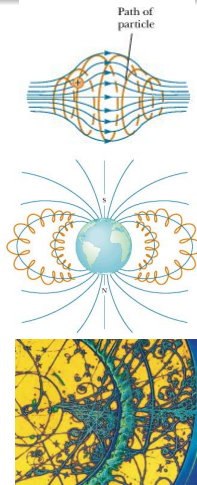
این محاسبات با فرض سرعت های غیرنسبیتی ($v \ll c$) درست هستند.

اگر ذرات در صفحه عمود بر میدان مغناطیسی حرکت نکنند، آنگاه تصویر حرکت آنها در جهت عمود بر $\vec{B}$ همچنان دایروی است، ولی ذره مولفه حرکتی در راستای بردار میدان مغناطیسی هم خواهد داشت. همچنین، سرعت در راستای میدان ثابت خواهد بود. چرا؟ شکل پایین را ببینید.

اگر بار الکتریکی به صورت شتابدار حرکت کند، آنگاه تابش خواهد کرد. این موضوع را در مبحث الکترومغناطیس به صورت دقیق تری بررسی خواهیم کرد.

شکل ها از میانی فیزیک.

حرکت ذره در میدان های مغناطیسی غیر ثابت – اختیاری



اگر میدان مغناطیسی در فضا ثابت نباشد، آنگاه باید دسته معادله بسیار کلی تر

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = q \vec{v} \times \vec{B} = q \begin{bmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{bmatrix}$$

را حل کنیم. این یک دسته معادله دیفرانسیل جفت شده مرتبه دوم است که (مثل هر معادله دیفرانسیل دیگر) به شرایط اولیه مناسب نیاز دارد.

اگر علاوه بر میدان مغناطیسی، میدان الکتریکی هم حضور داشته باشد، آنگاه باید معادله کلی تر

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = q \vec{E} + q \vec{v} \times \vec{B} = q \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} + q \begin{bmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{bmatrix}$$

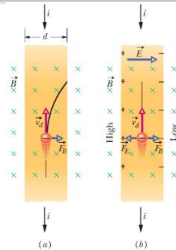
را حل کنیم.

اگر به فکر یادگیری محاسبات عددی (با استفاده از فرترن، پایتون، C، متمیتیکا، متلب و ...) هستید، توصیه می‌کنم از حل معادلات بالا شروع کنید.

با حل این دسته معادلات، می‌توانید حرکت ذرات در پدیده شفق قطبی را تا حد بسیار خوبی شبیه سازی کنید.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی.

تشخیص حامل های جریان - اثر هال



حامل های بار درون رسانا می توانند توسط میدان مغناطیسی منحرف شوند. این پدیده راهی را برای تعیین علامت و چگالی حامل های بار فراهم می کند. بررسی زیر اولین بار توسط "هال" ارائه شده و اثر هال نام دارد.

یک نوار مسی شامل جریان i را در میدان مغناطیسی قرار می دهیم. در این صورت، میدان مغناطیسی باعث می شود که الکترون ها به سرعت به سمت راست سیم منتقل شوند.

نبود الکترون ها در سمت چپ و فزونی آنها در سمت راست، باعث می شود که میدان الکتریکی $\vec{E}_H$ ایجاد شده و در نهایت جریان عرضی الکترون ها متوقف شود:

$$q\vec{E}_H + q\vec{v}_d \times \vec{B} = \vec{0}$$

یعنی نیروی کل وارد بر الکترون ها در نهایت صفر می شود. در اینجا $\vec{v}_d$ سرعت سوق الکترون هاست در حالی که $\vec{E}_H$ میدان الکتریکی ناشی از جابه جایی عرض بار است.

اینکه پتانسیل سمت چپ نسبت به سمت راست بالاتر است، نشان می دهد که حامل بار منفی (الکترون) است. مقدار این پتانسیل برابر $\Delta V_H = E_H w$ می باشد که w عرض سیم است. اگر پتانسیل سمت چپ نسبت به سمت راست پایین تر بود، آنگاه حامل بار مثبت می بود.

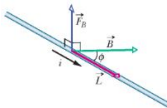
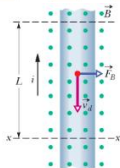
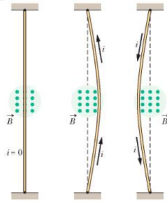
پیدا کردن چگالی حامل های بار رسانا با استفاده از اثر هال: می دانیم که $v_d = j/ne$ که در آن j چگالی جریان و n چگالی حامل های بار است (رجوع کنید به فصل پنجم). همچنین، اگر ضخامت t نوار باشد، آنگاه با استفاده از رابطه بالا داریم:

$$E_H = v_d B \Rightarrow E_H = \frac{\Delta V_H}{w} = v_d B = \frac{j}{ne} B = \frac{i}{wtne} B$$

بنابراین، چگالی حامل های بار با استفاده از رابطه $n = \frac{iB}{et\Delta V_H}$ به دست می آید.

شکل ها از مبانی فیزیک.

نیروی وارد بر سیم حامل جریان



سیم حامل جریان شامل بارهای الکتریکی متحرک است؛ بنابراین، در یک میدان مغناطیسی به یک سیم حامل جریان نیرو وارد می شود. شکل رو به رو را ببینید. می خواهیم مقدار و جهت این نیرو را به دست آوریم.

نیروی مغناطیسی وارده بر N حامل بار در رسانا برابر است با (شکل وسط):

$$\vec{F}_B = -Ne\vec{v}_d \times \vec{B} = -nALe\vec{v}_d \times \vec{B}$$

از طرفی داریم: $nAev_dL = iL$. بنابراین، نیروی وارد بر یک سیم حامل جریان i به طول L در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ برابر است با:

$$\vec{F}_B = i \vec{L} \times \vec{B} \quad F_B = i L B \sin \phi$$

در اینجا، بردار $\vec{L}$ برداری است که اندازه آن برابر با L و جهت آن همجهت با i می باشد. جهت $\vec{F}_B$ را می توان با استفاده از قاعده دست راست پیدا کرد.

نیروی وارد بر المان جریانی به طول $d\vec{L}$ برابر است با:

$$d\vec{F}_B = i d\vec{L} \times \vec{B} \quad dF_B = i dL B \sin \phi$$

به مثال زیر دقت کنید.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی.

نیروی وارد بر یک نیم دایره بسته جریان

جریان I در یک مدار بسته نیم دایره شکل را در نظر بگیرید. مدار در میدان مغناطیسی قرار دارد. نشان دهید که نیروی کل وارد شده به این مدار بسته صفر است.

می توان به راحتی نشان داد که نیروی وارد بر قسمت مستقیم سیم در پایین مدار برابر است با ($L = 2R$):

$$\vec{F}_1 = I \vec{L} \times \vec{B} \quad \Rightarrow \quad F_1 = I L B \sin \frac{\pi}{2} = 2IRB$$

با استفاده از قاعده دست راست درمی یابیم که جهت نیروی $\vec{F}_1$ برون سواست.

ولی نمی توان به همین راحتی نیروی وارده بر قسمت منحنی مدار را محاسبه کرد زیرا زاویه بین جهت جریان و میدان مغناطیسی مدام در حال تغییر است. مانند گذشته، مسائلی که مشمول تغییر هستند را با روش المان ها حل می کنیم.

المان $d\vec{L}$ به طول $dL = R d\theta$ را از مدار انتخاب کرده و اندازه نیروی وارد بر آن را می یابیم:

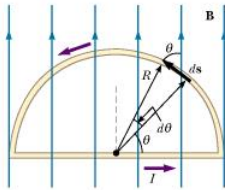
$$d\vec{F}_\gamma = I d\vec{L} \times \vec{B} \quad \Rightarrow \quad dF_\gamma = I dL B \sin \theta = I R B \sin \theta d\theta$$

با استفاده از قاعده دست راست درمی یابیم که جهت نیروی $d\vec{F}_\gamma$ درون سواست.

برای پیدا کردن نیروی کل وارد بر نیم دایره باید از رابطه بالا انتگرال بگیریم:

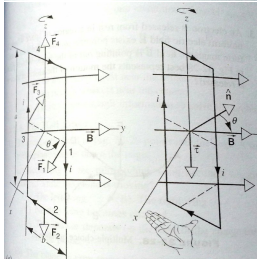
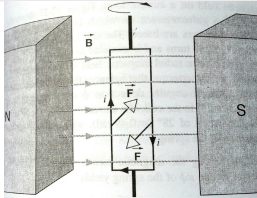
$$F_\gamma = I R B \int_0^\pi \sin \theta d\theta = I R B [-\cos \theta]_0^\pi = 2 I R B$$

که البته درون سواست. بنابراین نیروی کل برابر صفر است: $\vec{F}_1 + \vec{F}_\gamma = \vec{0}$



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

گشتاور وارد بر حلقه جریان



شکل ها از فیزیک هالیدی.

اعمال نیرو به قطعات یک حلقه می تواند باعث دوران حلقه شود. برای توصیف این دوران لازم است گشتاور وارد بر قطعات حلقه را حساب کنیم $\downarrow\downarrow\downarrow$.

یادآوری گشتاور: $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$.

به قطعات ۲ و ۴ حلقه نیرویی برابر با

$$F_2 = F_4 = ibB \sin(\theta \pm \pi/2) = ibB \cos \theta$$

وارد می شود. هرچند، این قطعات هیچ سهمی در گشتاور ندارند زیرا نیروی وارده از طرف آنها به محور دوران وارد می شود.

به قطعات ۱ و ۳ حلقه نیرویی برابر با

$$F_1 = F_3 = iaB \sin \pi/2 = iaB$$

وارد می شود. گشتاور وارد بر این قطعات برابر است با

$$\tau_1 = \tau_3 = F_1 \frac{b}{2} \sin \theta$$

که البته هم جهت هم هستند. بنابراین گشتاور کل برابر است با

$$\tau = \tau_1 + \tau_3 = 2F_1 \frac{b}{2} \sin \theta = i(ab) B \sin \theta$$

در حالت کلی، اگر مساحت حلقه بسته ای برابر A باشد و حلقه شامل N دور سیم باشد،

آنگاه می توان ثابت کرد که گشتاور مغناطیسی وارد بر این حلقه برابر است با

$$\vec{\tau} = N i \vec{A} \times \vec{B}$$

مان دو قطبی مغناطیسی



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

قرارداد مربوط به جهت بردار مساحت $\vec{A}$: جهت بردار مساحت $\vec{A}$ با توجه به جهت جریان و با استفاده از قاعده دست راست تعیین می شود؛ به این صورت که، اگر چهار انگشت دست راست را در راستای سیم قرار داده و در جهت جریان بچرخانیم، آنگاه انگشت شست در جهت $\vec{A}$ خواهد بود.

مان دو قطبی مغناطیسی: کمیت

$$\vec{\mu} = N i \vec{A}$$

در بسیاری از روابط مغناطیس وارد می شود. این کمیت را مان دو قطبی مغناطیسی می نامند. ناگفته پیداست که $\vec{\mu}$ همجهت با $\vec{A}$ می باشد.

با استفاده از مفهوم مان دو قطبی مغناطیسی، می توان گشتاور مغناطیسی وارد بر هر حلقه را به صورت

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

نوشت که جهت آن با استفاده از قاعده دست راست معلوم می شود.

می توان به حلقه درون میدان مغناطیسی یک انرژی پتانسیل وابسته کرد. با جمع بستن (انتگرال گیری) کارهای دیفرانسیلی وابسته به این حلقه در دوران آن، یعنی $dW = \vec{\tau} \cdot d\vec{\theta}$ ، انرژی پتانسیل کل به صورت

$$U(\theta) = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

به دست می آید.

نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید ویژگی های مهم میدان مغناطیسی را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

- ۱ چند پدیده مغناطیسی روزمره را نام ببرید.
- ۲ طرز کار آهنربا را بیان کنید.
- ۳ خطوط میدان مغناطیسی چطور رسم می شوند؟
- ۴ قطب های همنام و ناهمنام آهنربا چطور به هم نیرو وارد می کنند؟
- ۵ قانون گوس در مغناطیس را بنویسید. مفهوم این قانون را بیان کنید.
- ۶ نیروی وارد بر یک بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی چطور توصیف می شود؟ اندازه و جهت این نیرو چگونه است؟
- ۷ قاعده دست راست را بیان کنید.
- ۸ واحد میدان مغناطیسی چیست؟
- ۹ نیروی لورنتز چیست؟ نسبت بار به جرم الکترون (آزمایش تامسون) چگونه معلوم می شود؟
- ۱۰ سیکلوترون چیست؟ فرکانس سیکلوترون چیست؟
- ۱۱ چگونه می توان با استفاده از اثر هال، علامت حامل های بار و چگالی آنها را یافت؟
- ۱۲ نیروی وارد بر یک سیم حامل جریان را بنویسید. جهت این نیرو چگونه تعیین می شود؟
- ۱۳ گشتاور وارد بر یک حلقه جریان را بنویسید. جهت این گشتاور چگونه تعیین می شود؟

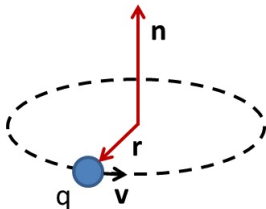
اگر درباره هر کدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، لطفا درس را یک بار دیگر مرور کنید.

فراموش نکنیم که بهترین راه برای جذب مفاهیم ریاضی و فیزیک، حل مساله است. به همین دلیل سعی کنید دانسته های خود را با حل سوال زیر محک زده و تقویت کنید.



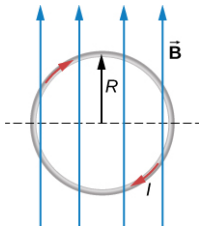
تمرین

در اثر نیروی مغناطیسی، یک بار الکتریکی $q = -8\mu C$ با جرم نیم گرم و سرعت $v = 150\text{ m/s}$ بر روی دایره ای به شعاع $r = 25\text{ cm}$ می چرخد. اندازه و جهت میدان مغناطیسی را بیابید.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

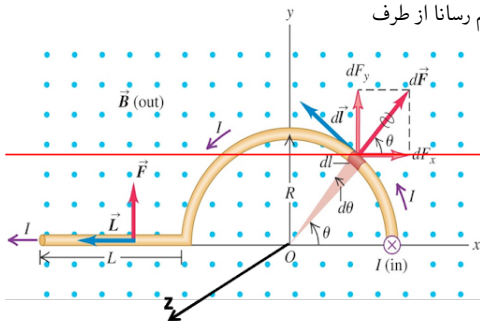


در شکل مقابل، جریان I و میدان مغناطیسی B هر دو در صفحه xy قرار دارند. ثابت کنید که نیروی وارد بر حلقه از طرف میدان مغناطیسی برابر صفر است.

شکل از نت.

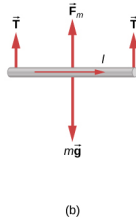
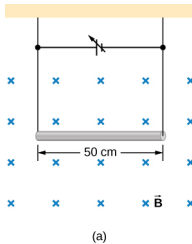
تمرین

در شکل مقابل، اندازه و جهت نیروی وارد بر سیم رسانا از طرف میدان مغناطیسی را بیابید.



شکل از نت.

تمرین



رسانایی به طول 50 cm و وزن 10 g از دو سیم دیگر، مطابق شکل، آویزان است. فرض کنید که میدان مغناطیسی برابر $T/5$ باشد.

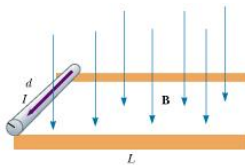
الف) نیروی مغناطیسی وارد بر رسانا (یعنی $\vec{F}_m$) به سمت بالاست، چرا؟

ب) اگر جریان گذرنده از رسانا برابر I باشد، اندازه این نیرو را بیابید.

پ) جریان I چقدر باشد تا رسانا در هوا معلق بماند؟ (یعنی نیروهای کشش T در دو سیم مجاور صفر شوند).

شکل از نت.

تمرین



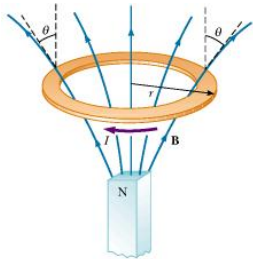
میله ای به طول d ، مطابق شکل مقابل، حامل جریان I می باشد. فرض کنید جرم میله m است و در ابتدا در حال سکون قرار دارد.

الف) اندازه و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر این میله را بیابید.
ب) سرعت نهایی میله در انتهای مسیر (یعنی وقتی طول L را سپری کرده است) بیابید. فرض کنید که در جهت حرکت هیچ نیرویی، به جز نیروی مغناطیسی، به میله وارد نمی شود.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

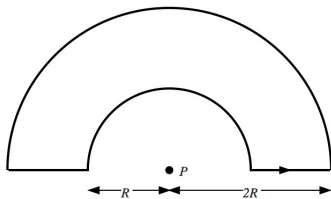
در شکل مقابل، اندازه و جهت نیروی وارد بر حلقه از طرف میدان مغناطیسی را بیابید.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

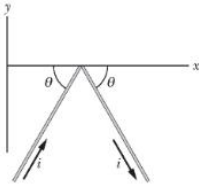
تمرین

در شکل مقابل، اگر میدان مغناطیسی درون سوی $\vec{B}$ را داشته باشیم، و حلقه شامل جریان پادساعتگرد I باشد، اندازه و جهت نیروی وارد بر حلقه از طرف میدان مغناطیسی را بیابید.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

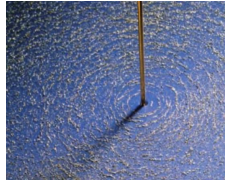
تمرین



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

در شکل مقابل، طول هر کدام از سیم ها یک متر است و $\theta = \pi/3$. همچنین این سیم ها شامل جریان $A = 10$ هستند. الف) اگر یک میدان مغناطیسی یکنواخت یک تسلا در جهت مثبت محور z (یعنی برون سو) موجود باشد، نیروی وارد بر مجموعه و جهت آن را بیابید. ب) اگر یک میدان مغناطیسی یکنواخت یک تسلا در جهت مثبت محور x (یعنی به سمت راست) موجود باشد، نیروی وارد بر مجموعه و جهت آن را بیابید.

مبحث بعدی: میدان مغناطیسی ناشی از جریان



یکی از منابع مهم میدان مغناطیسی جریان الکتریکی است. در فصل بعد می آموزیم که چگونه می توان میدان ناشی از یک جریان مشخص را به دست آورد.

مانند مورد پیدا کردن میدان الکتریکی ناشی از یک توزیع بار، در اینجا نیز دو راه داریم: اول استفاده از قانون بیو-سوار برای یافتن هر توزیع جریانی. دوم: استفاده از قانون آمپر برای مواردی که به اندازه کافی تقارن دارند.

نقش قانون بیو-سوار در مغناطیس مانند نقش قانون کولن در الکتروستاتیک است در حالی که نقش قانون آمپر مشابه قانون گوس است.



شکل از مبانی فیزیک و اوهانیان.

مراجع

- ❶ Halliday, D., R. Resnick, and K. S. Krane. "Physics, 5th edn." (2002).
- ❷ Halliday, David, Robert Resnick, and Jearl Walker; Fundamentals of physics, 10th edn. John Wiley & Sons, 2014.
- ❸ Ohanian, Hans C., and John T. Markert. Physics for engineers and scientists, 3th edn. 2007.
- ❹ Young, Hugh D., Roger A. Freedman, and Albert Lewis Ford. Sears and Zeman-sky's university physics, 13th edn. Pearson education, 2006.

با سپاس از توجه شما