

فیزیک الکتریسیته و مغناطیس

فصل نهم: میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

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 نهم: میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

● قانون بیو-ساوار

- نیروی بین دو سیم موازی حامل جریان

پیدا کردن میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

یکی از مهم ترین مسائل مطرح در نظریه الکترومغناطیس، یافتن میدان مغناطیسی ناشی از جریان های الکتریکی است. مانند مورد پیدا کردن میدان الکتریکی ناشی از یک توزیع بار، در اینجا نیز دو راه داریم:

نخست: استفاده از قانون بیو-ساور برای یافتن میدان مغناطیسی هر توزیع جریان

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} \quad \text{دلخواه:}$$

در این جلسه فقط قانون بیو-ساور را در نظر خواهیم گرفت.

دوم: استفاده از قانون آمپر

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_{in}$$

برای مواردی که به اندازه کافی تقارن دارند. $\Leftarrow \Leftarrow$ جلسه بعد.

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

ثابت μ_0 ثابت تراوایی مغناطیسی خلاء نام دارد و مقدار آن در سیستم یکاهای بین المللی SI برابر است با:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$

ثابت های μ_0 و ϵ_0 به سرعت نور مرتبط هستند: $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$



شکل از مبانی فیزیک و اوهانیان.

ژان-بپتیست بیو و فلیکس ساوار



ژان-بپتیست بیو (زاده ۲۱ آوریل ۱۷۷۴ - درگذشته ۳ فوریه ۱۸۶۲) فیزیک‌دان، منجم و ریاضی‌دان اهل فرانسه بود.

فلیکس ساوار (زاده ۳۰ ژوئن ۱۷۹۱ درگذشته ۱۶ مارس ۱۸۴۱) فیزیک‌دان و ریاضی‌دان اهل فرانسه بود.

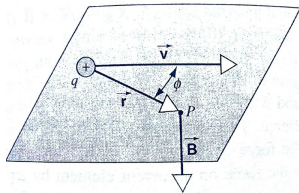
Biot - Savart law :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$



شکل ها از ویکی پدیا .

میدان مغناطیسی ناشی از بارهای متحرک



آزمایش‌ها نشان داده‌اند که بار الکتریکی در حال حرکت، یک میدان مغناطیسی در اطراف خود ایجاد می‌کند.

اندازه‌گیری‌های دقیق نشان داده‌اند که میدان مغناطیسی ایجاد شده در نقطه P که در فاصله $\vec{r}$ از بار قرار دارد، با اندازه بار q ، سرعت حرکت بار $\vec{v}$ و سینوس زاویه بین $\vec{v}$ و $\vec{r}$ متناسب است ولی با مجذور r رابطه عکس دارد؛ یعنی:

$$B \propto \frac{qv \sin \phi}{r^2}$$

شکل از فیزیک هالیدی ویرایش پنجم.

ضریب تناسب نیز برابر $\mu_0 / 4\pi$ می‌باشد.

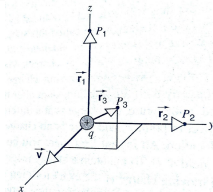
جهت میدان مغناطیسی نیز با استفاده از قانون دست راست تعیین می‌شود: فرض کنید که بار q مثبت باشد. آنگاه اگر چهار انگشت دست راست را در جهت بردار $\vec{v}$ قرار دهیم و آنها را در جهت بردار $\vec{r}$ بچرخانیم، انگشت شست جهت بردار $\vec{B}$ را نشان خواهد داد.

جمع بندی قانون بیو-ساوور برای بار در حال حرکت:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin \phi}{r^2} \quad \text{اندازه میدان:}$$

مثال از میدان مغناطیسی ذره باردار



شکل از فیزیک
هالیدی ویرایش پنجم.

یک ذره آلفا (هسته اتم هلیوم با بار $q = +2e$ که شامل دو پروتون و دو نوترون است) با سرعت $v = 1.5 \times 10^6 \text{ m/s}$ در جهت $+x$ در حال حرکت است. هنگامی که ذره در مرکز است، اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از آن در نقاط الف) $(P_1 = (0, 0, 2 \text{ cm}))$ ب) $(P_2 = (0, 2 \text{ cm}, 0))$ پ) $(P_3 = (1 \text{ cm}, 1 \text{ cm}, 1 \text{ cm}))$ را به دست آورید.

پاسخ الف) در این حالت، با توجه به اینکه سرعت در جهت $+x$ بوده و نقطه مشاهده در جهت $+z$ قرار دارد، می توان به راحتی (با استفاده از قاعده دست راست) دریافت که جهت میدان مغناطیسی در جهت $-y$ می باشد. از طرفی، با توجه به اینکه $r_1 = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0.02^2} = 0.02 \text{ m}$ ، اندازه این میدان برابر است با

$$B_1 = \frac{\mu_0 q v \sin \phi_1}{4\pi r_1^2} = 10^{-7} \frac{(2 \times 1.6 \times 10^{-19})(1.5 \times 10^6) \sin \pi/2}{0.02^2} = 1.2 \times 10^{-16} \text{ T}$$

پاسخ ب) در این حالت، با توجه به اینکه سرعت در جهت $+x$ بوده و نقطه مشاهده در جهت $+y$ قرار دارد، می توان به راحتی (با استفاده از قاعده دست راست) دریافت که جهت میدان مغناطیسی در جهت $+z$ می باشد. از طرفی، با توجه به اینکه $r_2 = r_1$ و زاویه بین دو بردار نیز همچنان $\pi/2$ است، اندازه این میدان نیز برابر میدان B_1 می باشد.

پاسخ پ) در این حالت باید اول زاویه بین دو بردار $\vec{v}$ و $\vec{r}_3 = (1 \text{ cm}, 1 \text{ cm}, 1 \text{ cm})$ را بیابیم. برای اینکار از تعریف ضرب داخلی استفاده می کنیم:

$$\begin{aligned} \cos \theta_3 &= \frac{\vec{v} \cdot \vec{r}_3}{v r_3} = \frac{v_x r_{3x} + v_y r_{3y} + v_z r_{3z}}{v r_3} \\ &= \frac{1.5 \times 10^6 \times 0.01 + 0 + 0}{1.5 \times 10^6 \sqrt{0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

مثال از میدان مغناطیسی ذره باردار

ادامه از صفحه قبل: با استفاده از ماشین حساب به راحتی می توان دریافت که

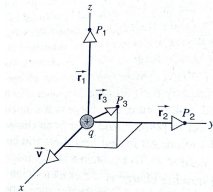
$$\cos^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) = 54.7^\circ$$

حال که زاویه بین دو بردار $\vec{r}_3$ و $\vec{v}$ را یافته ایم می توانیم مقدار میدان مغناطیسی در مکان r_3 را بیابیم:

$$B_3 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin \phi_3}{r_3^2} = 10^{-7} \frac{(2 \times 10^{-19}) (1.5 \times 10^6 \sin 54.7^\circ)}{(0.1\sqrt{3})^2} = 1.3 \times 10^{-16} T$$

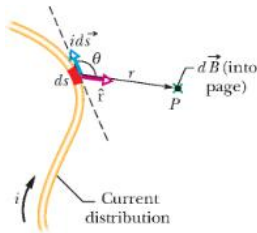
جهت $\vec{B}_3$ را می توان با استفاده از قاعده دست راست به دست آورد. بردار $\vec{B}_3$ بر صفحه شامل بردارهای $\vec{v}$ و $\vec{r}_3$ عمود است. برای پیدا کردن جهت دقیق این بردار باید از تعریف ضرب داخلی استفاده کنیم:

$$\frac{\vec{B}_3}{B_3} \propto \vec{v} \times \vec{r}_3 \propto \begin{bmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \hat{k} - \hat{j}$$



شکل از فیزیک
هالیدی ویرایش پنجم.

میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی



یک سیم حامل جریان شامل تعداد بسیار زیادی بار متحرک است. هر کدام از این بارها، بنا به بحث بالا، میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنند. با جمع بندی بر روی تک تک این میدان های مغناطیسی، می توان میدان مغناطیسی کل ناشی از جریان الکتریکی را یافت.

توجه کنید که میدان مغناطیسی یک المان بار دیفرانسیلی dq برابر است با

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dq \vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$dq\vec{v} = dq \frac{d\vec{s}}{dt} = d\vec{s} \frac{dq}{dt} = i d\vec{s} \quad \text{از طرفی داریم:}$$

بنابراین، میدان مغناطیسی دیفرانسیلی ناشی از جزء طولی $d\vec{s}$ از جریان i برابر است با

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

اندازه این دیفرانسیل میدان نیز برابر است با

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i ds \sin \theta}{r^2}$$

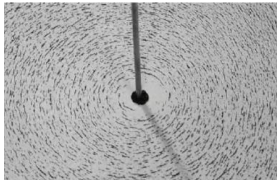
جهت میدان مغناطیسی نیز با استفاده از قانون دست راست تعیین می شود: اگر چهار انگشت دست راست را در جهت بردار $d\vec{s}$ ، که همجهت با جریان است، قرار دهیم و آنها را در جهت بردار $\vec{r}$ بچرخانیم، آنگاه انگشت شست جهت بردار $\vec{B}$ را نشان خواهد داد.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

برای پیدا کردن میدان مغناطیسی کل باید از نتیجه بالا انتگرال گرفت:

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

مثال: میدان مغناطیسی ناشی از یک سیم مستقیم بلند



آزمایش ها نشان داده اند که یک سیم حامل جریان در اطراف خود یک میدان مغناطیسی ایجاد می کند. همچنین، اندازه این میدان مغناطیسی با افزایش فاصله از سیم کاهش می یابد. به علاوه، خطوط میدان ناشی از این سیم دایره های هم مرکز هستند. شکل بالا را ببینید. قانون بیو-ساویر باید بتواند چنین رفتاری را توجیه کند.

می خواهیم اندازه میدان را در نقطه P به فاصله R از مرکز یک سیم به طول L بیابیم. قطعه ای از سیم به طول $d\vec{s}$ را در نظر بگیرید. در این صورت بردار میدان مغناطیسی دیفرانسیلی ناشی از این قطعه برابر است با:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

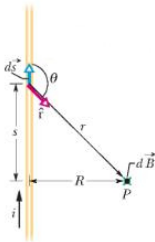
که جهت آن، با استفاده از قاعده دست راست، درون سوست. اندازه این دیفرانسیل میدان نیز برابر است با

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i ds \sin \theta}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i ds}{s^2 + R^2} \frac{R}{\sqrt{s^2 + R^2}}$$

$$\text{زیرا } \sin(\pi - \theta) = \sin \theta = R / \sqrt{s^2 + R^2}$$

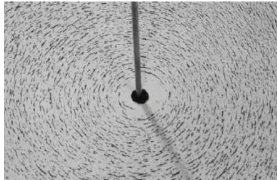
برای پیدا کردن میدان کل باید از نتیجه بالا انتگرال بگیریم:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi} i R \int_{-L/2}^{+L/2} \frac{ds}{(s^2 + R^2)^{3/2}}$$



شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی.

مثال: میدان مغناطیسی ناشی از یک سیم مستقیم بلند



• انتگرال بالا را می توان به راحتی با تغییر متغیر

$$s = R \cot \theta \quad \Rightarrow \quad ds = -R(1 + \cot^2 \theta) d\theta$$

حل کرد:

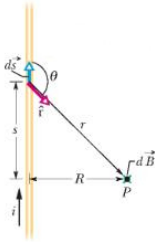
$$B = \frac{\mu_0 i R}{4\pi} \int_{-L/2}^{+L/2} \frac{ds}{(s^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 i R}{4\pi} \int \frac{-R(1 + \cot^2 \theta) d\theta}{(R^2 \cot^2 \theta + R^2)^{3/2}}$$

$$B = -\frac{\mu_0 i R^2}{4\pi R^3} \int \frac{\frac{d\theta}{\sin^2 \theta}}{\frac{1}{\sin^2 \theta}} = -\frac{\mu_0 i}{4\pi R} \int \sin \theta d\theta = \frac{\mu_0 i}{4\pi R} [\cos \theta]$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi R} \left[\frac{s}{\sqrt{s^2 + R^2}} \right]_{-L/2}^{+L/2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi R} \frac{L}{\sqrt{L^2/4 + R^2}}$$

• تمرین: اگر نقطه مشاهده به سیم بسیار نزدیک باشد و یا سیم مورد نظر بسیار طولانی باشد (در هر دو صورت رابطه $L \gg R$ برقرار است)، داریم:

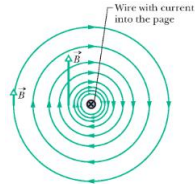
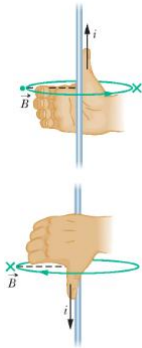
$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi R}$$



شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی.

این نتیجه بسیار مهم را اثبات کنید. نتیجه اخیر را در جلسه بعد با استفاده از قانون آمپر نیز به دست خواهیم آورد.

قانون دست راست برای پیدا کردن جهت میدان مغناطیسی سیم

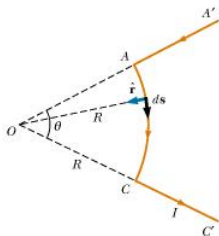


اگر انگشت شست دست راست را در جهت جریان قرار دهیم، آنگاه جهت پیچش چهار انگشت دست راست جهت میدان مغناطیسی را نشان خواهد داد.

به تفاوت رفتار میدان مغناطیسی و میدان الکتریکی دقت کنید. میدان الکتریکی یک تک بار نقطه ای، شعاعی و به سمت داخل و یا بیرون است (بسته به علامت بار) در حالی که میدان مغناطیسی یک سیم حامل جریان سیلوله ای (چرخشی) است.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی.

میدان مغناطیسی ناشی از یک سیم خمیده



شکل از مبانی فیزیک.

از رابطه اخیر واضح است که میدان مغناطیسی در مرکز یک حلقه جریان ($\theta = 2\pi$) برابر است با

$$B = \frac{\mu_0 I \times 2\pi}{4\pi R} = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

این رابطه را در ادامه به روش های دیگر نیز به دست خواهیم آورد.

۱ میدان مغناطیسی ناشی از جریان مقابل را در نقطه O بیابید.

۲ پاسخ: میدان مغناطیس ناشی از قسمت های AA' و CC' صفر است زیرا در این دو حالت $d\vec{s}$ و $\vec{r}$ همراستا هستند؛ بنابراین

$$d\vec{B}_{AA'} = d\vec{B}_{CC'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} = \vec{0}$$

۳ از طرفی، اندازه میدان ناشی از المان دیفرانسیلی $d\vec{s}$ در قسمت خمیده مدار برابر است با

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I ds R \sin \pi/2}{R^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I ds}{R^2}$$

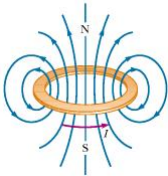
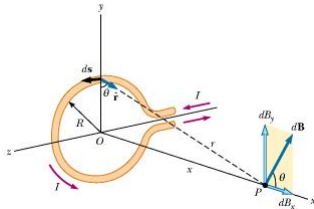
بنابراین میدان کل برابر است با

$$B = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int ds = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} [s]_0^s$$

حال، با توجه به اینکه طول کمان برابر است با $s = R\theta$ ، داریم:

$$B = \frac{\mu_0 I \theta}{4\pi R}$$

این میدان به سمت داخل صفحه کاغذ است.

میدان مغناطیسی ناشی از یک حلقه جریان به فاصله x از مرکز حلقه

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی.

میدان مغناطیسی ناشی از سیم های مستقیم در نقطه مشاهده بسیار کوچکند. چرا؟

برای پیدا کردن اندازه میدان ناشی از المان ds داریم

$$dB = \frac{\mu_0 I ds r \sin \pi/2}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{ds}{x^2 + R^2}$$

بردار $d\vec{B}$ را می توان به دو مولفه $dB_y = dB \sin \theta$ و $dB_x = dB \cos \theta$ تجزیه کرد. با جمع بندی نتایج مربوط به dB_y می بینیم که B_y در نهایت صفر می شود. چرا؟

از طرفی برای B_x داریم:

$$B_x = \int dB \cos \theta = \frac{\mu_0 I \cos \theta}{4\pi (x^2 + R^2)} \int ds$$

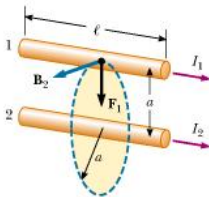
$$B_x = \frac{\mu_0 I R}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}} \int ds = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}}$$

زیرا $\int ds = 2\pi R$ در موارد خاص داریم:

$$B_x = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad \text{at } x = 0$$

$$B_x = \frac{\mu_0 I R^2}{2x^3} \quad \text{for } x \gg R$$

نیروی بین دو سیم موازی حامل جریان



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

دو سیم طولانی حامل جریان الکتریکی که در نزدیکی هم قرار دارند، به هم نیرو وارد می کنند. می خواهیم اندازه و جهت این نیرو ها را بیابیم. فرض کنید که سیم ها موازی هستند و جریان ها هم جهتند. همچنین دو سیم در فاصله a از هم قرار گرفته و جریان هایی برابر با I_1 و I_2 دارند.

اندازه میدان مغناطیسی ناشی از جریان I_2 در محل سیم ۱ برابر است با

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}$$

در حالی که اندازه میدان مغناطیسی ناشی از جریان I_1 در محل سیم ۲ برابر است با

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}$$

حال، می بینیم که جریان I_1 در میدان مغناطیسی B_2 قرار گرفته است. بنابراین، بنا به بحث فصل قبل، به چنین جریانی نیرویی برابر با

$$\vec{F}_1 = I_1 \vec{l} \times \vec{B}_2 \Rightarrow F_1 = I_1 l B_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi a}$$

وارد می شود. جهت این نیرو، بنا به قاعده دست راست، به سمت پایین است.

به همین صورت می توان نیروی وارد بر سیم ۲ را یافت:

$$\vec{F}_2 = I_2 \vec{l} \times \vec{B}_1 \Rightarrow F_2 = I_2 l B_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi a}$$

که هم اندازه با $\vec{F}_1$ ولی جهت آن به سمت بالاست.

نتیجه گیری: دو سیم موازی حامل جریان همدیگر را با نیرویی همسان جذب و یا دفع می کنند. اگر جریان ها هم جهت باشند دو سیم همدیگر را جذب کرده و اگر جریان ها در خلاف جهت هم باشند همدیگر را دفع می کنند (یعنی قانون سوم نیوتن برقرار است).

نکات مهم این درس

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

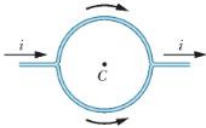
- ۱ قانون بیو-ساوار چه کمیتی را به دست می دهد؟
- ۲ قانون بیو-ساوار را برای یک بار متحرک بنویسید و جهت میدان مغناطیسی را با استفاده از قانون دست راست بیان کنید.
- ۳ قانون بیو-ساوار را برای یک جریان الکتریکی بنویسید و جهت میدان مغناطیسی را با استفاده از قانون دست راست بیان کنید.
- ۴ مقدار ثابت تراوایی مغناطیسی را بنویسید.
- ۵ قاعده دست راست برای پیدا کردن میدان مغناطیسی ناشی از یک سیم مستقیم را بیان کنید.
- ۶ وابستگی شعاعی تغییرات میدان از یک سیم مستقیم بینهایت چگونه است؟
- ۷ نیروی بین دو سیم مستقیم بینهایت چگونه است؟ جهت این نیروها چگونه به دست می آید؟

اگر درباره هرکدام 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.



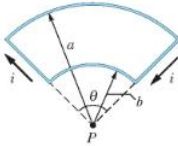
تمرین



قانون بیو-ساواری: اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از جریان
مقابل را در نقطه C بیابید.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

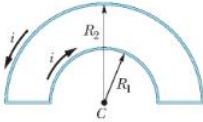
تمرین



قانون بیو-ساوار: اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از جریان مقابل را در نقطه P بیابید.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

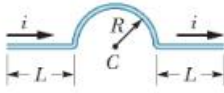
تمرین



قانون بیو-ساواری: اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از جریان
مقابل را در نقطه C بیابید.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین



قانون بیو-ساوار: اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از جریان مقابل را در نقطه C بیابید.

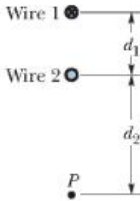
شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

قانون بیو-ساوار:

اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از دو جریان درونسوی I_1 و برونسوی I_2 را در نقطه P بیابید.

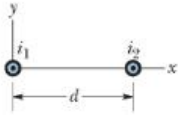
فرض کنید که $I_2 > I_1$.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

قانون بیو-ساواری:



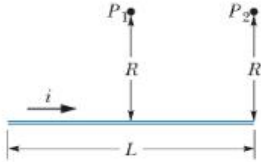
الف) اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از دو جریان برونسوی مقابل را در نقطه P روی محور افقی و به فاصله x از مرکز بیابید.

ب) اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از دو جریان برونسوی مقابل را در نقطه Q روی محور عمودی و به فاصله y از مرکز بیابید.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

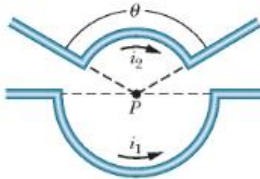
قانون بیو-ساوار:

الف) اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از جریان I را در نقطه P_1 بیابید.ب) اندازه و جهت میدان مغناطیسی ناشی از جریان I را در نقطه P_2 بیابید.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

قانون بیو-ساوار:

اندازه و جهت میدان مغناطیسی را در نقطه P بیابید.فرض کنید که $i_2 > i_1$.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

قانون بیو-ساوار:

فرض کنید که جریان i در این سیم ها وجود دارد. اندازه و جهت میدان مغناطیسی را در مرکز در هر دو حالت بیابید.

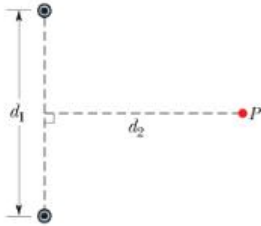


شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

قانون بیو-ساواری:

فرض کنید که جریان i در این سیم ها به صورت برونسو وجود دارد. اندازه و جهت میدان مغناطیسی را در نقطه P بیابید.

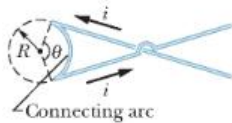


شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

قانون بیو-ساوار:

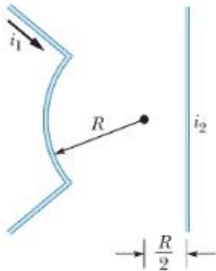
فرض کنید که جریان i در این سیم ها وجود دارد. اندازه و جهت میدان مغناطیسی را در مرکز حلقه بیابید.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

قانون بیو-ساوار:

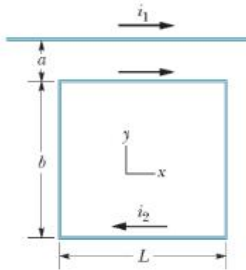
اندازه و جهت میدان مغناطیسی را در مرکز حلقه (نقطه مشکی)
(بیابید.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین

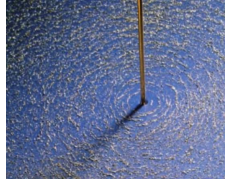
نیروی وارد بر جریان ها:

سیم شامل جریان i_1 یک سیم مستقیم و بینهایت است. اندازه و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر حلقه جریان i_2 از طرف سیم i_1 را بیابید.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

مبحث بعدی: میدان مغناطیسی ناشی از جریان



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_{in} \quad \text{قانون آمپر}$$

می تواند میدان مغناطیسی را، در مواردی که به اندازه کافی تقارن دارند، به راحتی به دست دهد. این قانون بسیار شبیه به قانون گوس در الکتریسیته است. در جلسه بعد موارد استفاده از این قانون را مطالعه می کنیم.



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

