

فیزیک الکتريسيته و مغناطيس

فصل دوازدهم: القاییدگی

حسين شناور

گروه فیزیک، دانشکده علوم



دانشگاه هرمزگان

- این مجموعه درس در ایام همه گیری کرونا در بهار سال ۱۴۰۰ 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 دوازدهم: القاییدگی
- القاییدگی و القاگرا
- محاسبه القاییدگی
- انرژی مغناطیسی

یادآوری قوانین ماکسول (در فضای تهی)

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Gauss's law

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

Gauss's law in magnetism

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Faraday's law

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

Ampère–Maxwell law

شکل از مبانی فیزیک.

دسته معادلات بالا به قوانین الکترومغناطیس ماکسول مشهور هستند. این معادلات (به علاوه نیروی لورنتز و نسبت خاص) اساس توصیف فرایندهای الکترومغناطیسی هستند و طیف بسیار گسترده ای از پدیده های را توصیف می کنند. در واقع معادلات ماکسول در توصیف تمام پدیده های روزمره، علمی و فنی (به جز گرانش) سهم دارند. این معادلات، در ریز مقیاس، فیزیک ذرات تشکیل دهنده ماده را به دقت پیش بینی کرده و در بزرگ مقیاس تابش زمینه کیهانی و توزیع ماده در جهان را به دست می دهند.

یادآوری قانون القای فارادی



اندازه نیروی محرکه القایی در یک مدار برابر است با آهنگ تغییر در شار مغناطیسی نسبت به زمان:

$$|\mathcal{E}| = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|$$

در اینجا نیروی محرکه القایی برابر است با انتگرال میدان الکتریکی روی حلقه بسته مورد نظر؛ یعنی

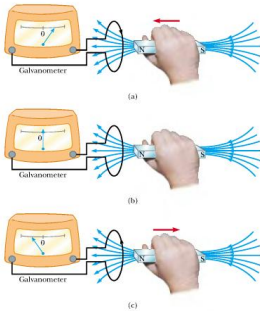
$$\mathcal{E} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی: شار میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی به صورتی است که با تغییر شار عامل القا مقابله می‌کند. شکل مقابل را ببینید.

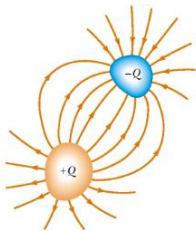
جمع بندی قانون القای فارادی: هرگاه میزان شار مغناطیسی که از یک مدار بسته می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییرات شار مغناطیسی متناسب است:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

شکل‌ها از ویکی‌پدیا و مبانی فیزیک.



یادآوری: ظرفیت خازن



شکل از مبانی هالیدی.

خازن انرژی الکتریکی را در خود ذخیره می کند.

ظرفیت خازن C : میزان باری که خازن در یک اختلاف پتانسیل مشخص ΔV ذخیره می کند:

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

ظرفیت خازن مستقل از بار الکتریکی و یا اختلاف پتانسیل دو سر خازن است!

ظرفیت خازن فقط به هندسه و نوع ماده دی الکتریک خازن ربط دارد.

واحد ظرفیت $F = C/V$ است که آن را فاراد می نامیم. واحد های معمول ظرفیت:

$$\mu F = 10^{-6} F$$

$$n F = 10^{-9} F$$

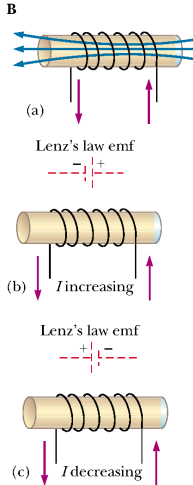
$$p F = 10^{-12} F$$

انرژی ذخیره شده در خازن:

$$U = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2 = \frac{1}{2} q \Delta V$$

حضور ماده دی الکتریک در بین صفحات خازن، ظرفیت خازن را به اندازه κ_e (ظریف دی الکتریک ماده) افزایش می دهد.

خود القاگر



همانگونه که خازن انرژی الکتریکی را در خود ذخیره می کند، القاگر انرژی مغناطیسی را در خود ذخیره خواهد کرد. توانایی یک جزء مدار برای ذخیره انرژی مغناطیسی را القایدگی می نامند. این کمیت (مانند ظرفیت) فقط به مشخصات هندسی قطعه (و نوع ماده درون آن) بستگی دارد.

در شکل مقابل (بالا) جریان از یک سیملوله در حال عبور است. حضور جریان باعث بوجود آمدن میدان (و بنابراین شار مغناطیسی) در سیملوله می شود. مقدار جریان را افزایش می دهیم. بنا به قانون آمپر، افزایش جریان باعث افزایش میدان مغناطیسی و بنابراین افزایش شار مغناطیسی می شود.

طبق قانون القای فارادی، در این حالت نیروی محرکه ای در سیستم القا می شود که با افزایش شار عبوری مخالفت می کند. جهت این نیروی محرکه القایی را در شکل وسط می بینید. از طرف دیگر، اگر جریان کاهش یابد (شکل پایین)، بنا به قانون القای فارادی نیروی محرکه ای القا می شود که با کاهش شار مغناطیسی عبوری مخالف می کند. جهت این نیروی محرکه القا شده را نیز در شکل پایین می بینید.

تمرین: جهت نیروی محرکه القایی در شکل های وسط و پایین را با استفاده از قانون لنز توضیح دهید.

القائیدگی L به صورت ثابت تناسبی تعریف می شود که نیروی محرکه القایی را به آهنگ تغییر جریان در قطعه مربوط می کند:

$$\mathcal{E}_L = L \frac{dI}{dt}$$

به شباهت این معادله و معادله معرف ظرفیت خازن دقت کنید.

واحد القایدگی در سیستم بین المللی یکاها هنری نامیده می شود:

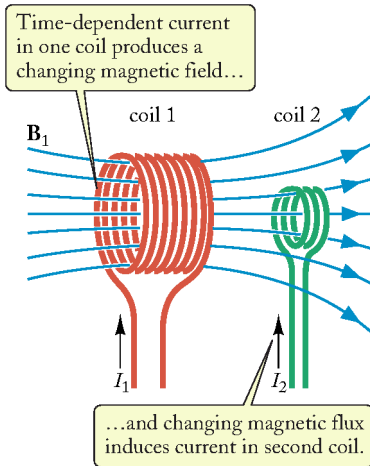
$$1 \text{ H} = 1 \frac{\text{V}}{\text{A/s}}$$

برای نشان دادن القاگر در مدار معمولاً از علامت سیملوله استفاده می شود. به اسلایدهای بعد دقت کنید.

خود القاگر را معمولاً سلف هم می گویند که مخفف کلمه زیر است:

self - inductance

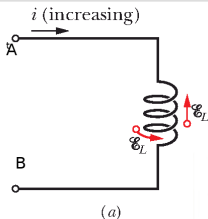
القا و القا متقابل



خاصیت القا می تواند از طریق القای متقابل هم رخ دهد. در این حالت (شکل مقابل) دو سیم پیچ داریم. تغییر جریان در یکی از سیم پیچ ها باعث تغییر شار گذرنده از سیم پیچ دوم، و بنابراین القای جریان در این سیم پیچ خواهد شد. لطفا دقت کنید که برعکس وضعیت خودالقایی که فقط یک قطعه حضور دارد، در اینجا دو قطعه مجزا داریم.

در کتاب فیزیک دو فقط به مبحث خود خودالقایی خواهیم پرداخت. برای بررسی دقیق تر القای متقابل می توانید به کتاب های استاندارد الکترومغناطیس (مانند ریئس-میلفورد، گریفیثس، چنگ و ...) مراجعه کنید. همچنین، بحث نسبتا کوتاهی درباره القای متقابل در ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی وجود دارد (بخش ۳۰-۹ این کتاب را ببینید).

اختلاف پتانسیل دوسر یک القاگر (سلف)



اگر جریان گذرنده از یک القاگر افزایش یابد (یعنی $di/dt > 0$)، جهت نیروی محرکه (و همچنین جریان القایی) به صورتی خواهد بود که با افزایش شار مغناطیسی گذرنده از سیم بیچ مقابله کند. این نتیجه را از قانون لنز به دست می آوریم. شکل بالا را ببینید.

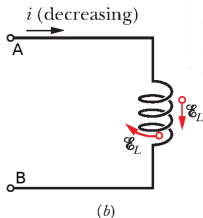
اگر جریان گذرنده از یک القاگر کاهش یابد (یعنی $di/dt < 0$)، جهت نیروی محرکه (و همچنین جریان القایی) به صورتی خواهد بود که با کاهش شار مغناطیسی گذرنده از سیم بیچ مقابله کند. این نتیجه را از قانون لنز به دست می آوریم. شکل پایین را ببینید.

می توان به راحتی دید که در هر دو حالت اختلاف پتانسیل دو سر القاگر برابر است با:

$$V_B - V_A = -L \frac{di}{dt}$$

فراموش نکنیم که دلیل علامت منفی همان قانون لنز است. این معادله را در مدارهای شامل القاگر به کار خواهیم برد.

تمرین: توضیح دهید که چگونه معادله بالا، برای هر دو حالت جریان کاهشی و افزایشی، جهت درست اختلاف پتانسیل القایی را به دست می دهد.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

روش کلی محاسبه القایدگی

برای محاسبه القایدگی در یک قطعه از مدار با جریان متغیر (فرض کنید سیم پیچی با N دور سیم داریم) توجه می کنیم که نیروی محرکه القایی، بنا به قانون القای فارادی، برابر است با

$$\mathcal{E}_L = - \frac{d(N\Phi_B)}{dt}$$

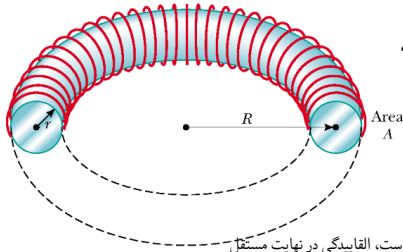
$$\mathcal{E}_L = -L \frac{di}{dt} \quad \text{از طرفی، بنا به تعریف القایدگی داریم:}$$

$$- \frac{d(N\Phi_B)}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad \text{با برابر قرار دادن این دو رابطه}$$

$$\frac{d(N\Phi_B)}{di} = L \quad \text{و انتگرال گیری از طرفین آنها داریم:}$$

بنابراین، می توان رابطه کلی القایدگی را به صورت زیر به دست آورد:

$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$



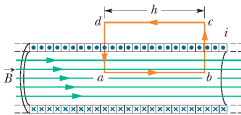
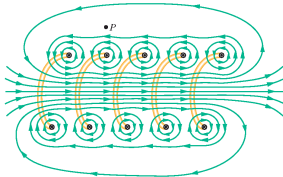
توجه کنید که چون در اینجا شار مغناطیسی Φ_B به جریان الکتریکی وابسته است، القایدگی در نهایت مستقل از جریان خواهد بود.

روش دیگری نیز برای محاسبه القایدگی، بر اساس انرژی مغناطیسی ذخیره شده در قطعه، وجود دارد که در بخش بعد به آن خواهیم پرداخت (آخرین مثال این درس را ببینید).

حال محاسبه القایدگی را با دو مثال توضیح خواهیم داد.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

محاسبه القایدگی سیملوله



شکل ها از مبانی هالیدی .

در فصل های قبل، با استفاده از قانون آمپر، دریافتیم که میدان مغناطیسی درون یک سیملوله

$$B = \mu_0 n i$$
 طولی شامل جریان i از رابطه
 به دست می آید. در اینجا $n = N/l$ تعداد دور بر واحد طول سیملوله را نشان می دهد. همچنین
 دریافتیم که میدان مغناطیسی خارج سیملوله های طولی نسبتا کوچک است.

با استفاده از رابطه میدان بالا می توان به راحتی شار گذرنده از تمام مقاطع سیملوله (با مساحت
 $A = \pi r^2$) را به صورت زیر به دست آورد.

$$N\Phi_B = (nl)BA$$

در اینجا BA شار گذرنده از یک مقطع (یک دور از سیم پیچ) و NBA شار گذرنده از همه
 مقاطع (همه دوره های سیم پیچ) می باشد. حال با جایگذاری مقدار میدان مغناطیسی (که از
 قانون آمپر به دست می آید) در رابطه بالا داریم:

$$N\Phi_B = (nl)BA = \mu_0 n^2 l i A$$

از اینجا می توان القایدگی سیم پیچ را به صورت زیر به دست آورد:

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} = \frac{\mu_0 n^2 l i A}{i} = \mu_0 n^2 l A$$

از رابطه بالا واضح است که القایدگی فقط به مشخصات هندسی القاگر ربط دارد.

تمرین: وابستگی القایدگی به توان دوم تعداد دور بر واحد طول n را برای خود توجیه کنید.

محاسبه القاییدگی چنبره (با مقطع مستطیل شکل)

چنبره مقابل به شعاع داخلی a و شعاع خارجی b (با مقطع مستطیلی و به ضخامت h) را در نظر بگیرید. در فصل های قبل، با استفاده از قانون آمپر، دریافتیم که میدان مغناطیسی درون یک

چنبره شامل جریان i از رابطه
$$B = \frac{\mu_0 i N}{2\pi r}$$
 به دست می آید. در اینجا N تعداد دورهای سیم در چنبره را نشان می دهد. همچنین دریافتیم که میدان مغناطیسی خارج چنبره ایده آل نسبتاً کوچک است.

با استفاده از رابطه میدان بالا می توان شار گذرنده از یک مقطع چنبره را با استفاده از انتگرال گیری به صورت زیر به دست آورد:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B h dr = \int \frac{\mu_0 i N}{2\pi r} h dr$$

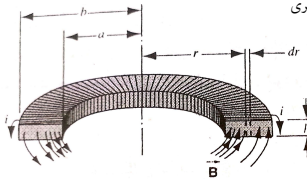
$$\frac{\mu_0 i h N}{2\pi} \int_a^b \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 i h N}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right)$$

از اینجا می توان القاییدگی چنبره را به صورت زیر به دست آورد:

$$L = \frac{N \Phi_B}{i} = \frac{\frac{\mu_0 i h N^2}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right)}{i} = \frac{\mu_0 h N^2}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right)$$

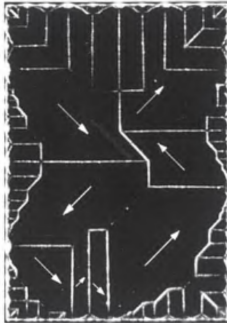
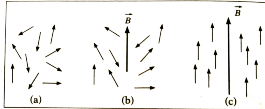
القاییدگی چنبره نیز فقط به مشخصات هندسی آن ربط دارد.

توجه: القاییدگی چنبره با مقطع دایره شکل را در تمرین های انتهای این درس ببایید.



شکل از فیزیک هالیدی .

پر کردن القاگر با مواد مغناطیسی باعث افزایش القابیدگی آن می شود.



پیشتر آموختیم که حضور ماده دی الکتریک در بین صفحات خازن باعث افزایش ظرفیت خازن، و بنابراین افزایش انرژی ذخیره شده در آن، می شود. این اتفاق به این دلیل رخ می دهد که دوقطبی های القا شده در ماده دی الکتریک بار بیشتری را بر روی صفحات خازن جذب می کنند.

به طریق مشابه، وجود ماده مغناطیسی در القاگر باعث افزایش القابیدگی می شود. برای درک این نکته، توجه می کنیم که وجود ماده ای با ثابت تراوایی κ_m باعث افزایش میدان مغناطیسی درون ماده به اندازه $\vec{B} = \kappa_m \vec{B}_0$ می شود. در اینجا $\vec{B}_0$ میدان در غیاب ماده مغناطیسی و $\vec{B}$ میدان در حضور آن است. از اینجا به راحتی می توان دید که با توجه به وابستگی شار مغناطیسی به میدان، اندازه شار نیز به اندازه κ_m افزایش پیدا می کند. در نتیجه از تعریف القابیدگی می بینیم که القابیدگی در حضور ماده مغناطیسی با ثابت تراوایی κ_m به صورت زیر تقویت می شود:

$$L = \kappa_m L_0$$

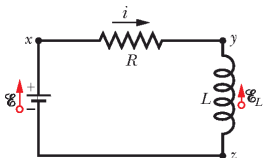
L_0 القابیدگی پیش از وارد کردن ماده مغناطیسی است.

از آنجا که ثابت تراوایی مواد دیامغناطیس و پارامغناطیس چندان تفاوتی با واحد ندارد (به جدول ثابت تراوایی رجوع کنید)، نمی توان از این مواد برای افزایش قابل ملاحظه القابیدگی القاگر استفاده کرد.

هرچند حضور مواد فرومغناطیس در القاگر باعث افزایش بسیار زیاد (در حد 10^3 تا 10^4 برابر) القابیدگی می شود. اگرچه به طور کلی نمی توان ثابت تراوایی را برای مواد فرومغناطیس تعریف کرد (چون میدان کل رابطه غیر خطی با میدان اعمال شده دارد و رابطه $\vec{B} = \kappa_m \vec{B}_0$ به صورت کلی برقرار نیست)، ولی معمولاً از ثابت تراوایی موثر (به عنوان تخمینی از نسبت دو میدان) برای نشان دادن افزایش القابیدگی استفاده می شود.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی .

ذخیره انرژی مغناطیسی در القاگر



مدار شامل مقاومت، باتری و القاگر زیر را در نظر بگیرید. با استفاده از قانون کیرشهوف (و اختلاف پتانسیل معرفی شده در ابتدای این فصل برای دوسر القاگر) می توان به راحتی دید که معادله مدار مقابل به صورت زیر است:

$$V_x - iR - L \frac{di}{dt} + \mathcal{E} = V_x$$

$$\mathcal{E} = iR + L \frac{di}{dt}$$

و یا به عبارت دیگر:

این معادله، و چند معادله دیگر مربوط به حضور القاگرها در مدار، را در جلسه آینده حل خواهیم کرد.

با ضرب طرفین معادله بالا در جریان داریم:

$$\mathcal{E} i = i^2 R + Li \frac{di}{dt}$$

الف: جمله سمت چپ آهنگ تولید انرژی توسط باتری (و تحویل آن به مدار) را به دست می دهد.

ب: جمله اول سمت راست آهنگ مصرف انرژی در مقاومت را نشان می دهد.

پ: جمله دوم سمت راست آهنگ ذخیره انرژی مغناطیسی در القاگر را به دست می دهد:

$$\frac{dU_B}{dt} = Li \frac{di}{dt} \Rightarrow dU_B = Li di$$

فرض کنید که کلید مدار را میبندیم و بنابراین جریان از مقدار اولیه $i = 0$ شروع به افزایش می کند. در این صورت، انرژی کل ذخیره شده در القاگر، وقتی جریان به مقدار i رسیده است، را می توان به صورت زیر به دست آورد:

$$\int_0^{U_B} dU_B = \int_0^i Li di \Rightarrow U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$U_E = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \quad \text{مقایسه کنید با انرژی الکتریکی ذخیره شده در خازن:}$$

چگالی انرژی مغناطیسی در فضا

پیدا کردن چگالی انرژی مغناطیسی در فضا، در حالت کلی، فراتر از بحث این کتاب است. هرچند ما این چگالی را برای یک القاگر سیملوله ای به دست می آوریم. نتیجه به دست آمده در همه شرایط برقرار است.

چگالی انرژی مغناطیسی ذخیره شده در داخل یک سیملوله را به شکل زیر تعریف می کنیم:

$$u_B = \frac{U_B}{Al}$$

حال با توجه به رابطه به دست آمده در اسلاید قبل برای U_B ، و همچنین رابطه بین میدان مغناطیسی و جریان در یک سیملوله $B = \mu_0 n i$ داریم:

$$u_B = \frac{U_B}{Al} = \frac{\frac{1}{2} Li^2}{Al} = \frac{\frac{1}{2} \mu_0 n^2 l A \left(\frac{B}{\mu_0 n} \right)^2}{Al}$$

از اینجا می توان چگالی انرژی مغناطیسی ذخیره شده در داخل یک سیملوله (و در واقع در هر نقطه از خلاء) را به صورت زیر به دست آورد:

$$u_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

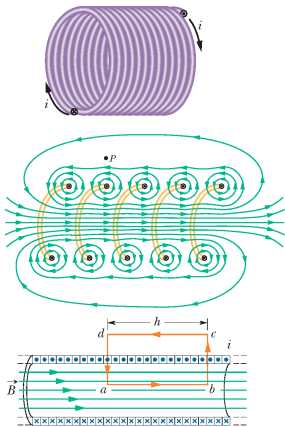
رابطه بالا را با چگالی انرژی الکتریکی مقایسه کنید:

$$u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

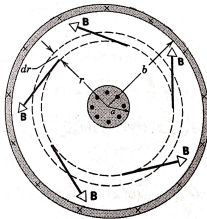
در صورت حضور ماده مغناطیسی خواهیم داشت:

$$u_B = \frac{1}{2\kappa_m \mu_0} B^2$$

شکل ها از مبانی هالیدی .



مثال



شکل از فیزیک هالیدی .

الف) انرژی مغناطیسی ذخیره شده درون یک کابل هم محور (به شعاع داخلی a و شعاع خارجی b) را به دست آورید. فرض کنید که جریان ثابت i از سیم داخلی به سمت بیرون (صفحه) در حال حرکت است و جریانی برابر از سیم خارجی به سمت داخل (صفحه) حرکت می کند.

ب) القایدگی این کابل را نیز به دست آورید.

فرض کنید که رسانای داخلی بسیار نازک است ($a \ll b$) و بنابراین می توان از انرژی ذخیره شده در آن صرف نظر کرد. از قانون آمپر دریافتیم که میدان مغناطیسی ناشی از جریان داخلی در شعاع $b > r > a$ از مرکز سیم برابر است با

$$B(a < r < b) = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

بنابراین، چگالی انرژی مغناطیسی در این شعاع برابر است با:

$$u_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2 = \frac{1}{2\mu_0} \left(\frac{\mu_0 i}{2\pi r} \right)^2 = \frac{\mu_0 i^2}{8\pi^2 r^2}$$

حال پوسته ای استوانه ای به شعاع r ، ضخامت dr و طول l را در نظر بگیرید. حجم این پوسته برابر است با $dV = 2\pi r l dr$. بنابراین، انرژی ذخیره شده در این حجم را می توان به صورت زیر یافت:

$$dU_B = u_B dV = \frac{\mu_0 i^2}{8\pi^2 r^2} 2\pi r l dr$$

حال می توان انرژی کل ذخیره شده در این کابل هم محور (بین شعاع داخلی a و شعاع خارجی b) را به صورت زیر یافت:

$$U_B = \int dU_B = \frac{\mu_0 i^2 l}{4\pi} \int_a^b \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 i^2 l}{4\pi} \ln \frac{b}{a}$$

$$L = \frac{2U_B}{i^2} = \frac{\frac{\mu_0 i^2 l}{4\pi} \ln \frac{b}{a}}{i^2} = \frac{\mu_0 l}{4\pi} \ln \frac{b}{a}$$

دقت کنید که القایدگی فقط به کمیت های هندسی ربط دارد.

تمرین: القایدگی کابل هم محور را به روش مستقیم (بخش قبل) به دست آورید.

نکات مهم این درس

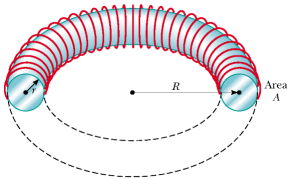
انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید ویژگی های مهم القاییدگی را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

- ۱ خود القاگر چیست؟ پدیده خود القا را توضیح دهید.
 - ۲ القای متقابل چیست؟
 - ۳ تعریف القاییدگی را بنویسید. واحد القاییدگی چیست؟
 - ۴ اختلاف پتانسیل دوسر یک القاگر چطور به دست می آید؟ علامت این اختلاف پتانسیل چطور تعیین می شود؟
 - ۵ روش اول محاسبه القاییدگی (بر حسب تعیین شار مغناطیسی) را توضیح دهید.
 - ۶ روش دوم محاسبه القاییدگی، با استفاده از چگالی انرژی مغناطیسی، را توضیح دهید.
 - ۷ القاییدگی یک قطعه به چه کمیت هایی ربط دارد؟
 - ۸ مواد مغناطیسی چطور القاییدگی یک سلف را افزایش می دهند؟
 - ۹ میزان افزایش القاییدگی سلف چه ربطی به ثابت تراوایی ماده مغناطیسی درون آن دارد؟
 - ۱۰ انرژی مغناطیسی ذخیره شده در یک القاگر چه ارتباطی با القاییدگی و جریان گذرنده از آن دارد؟
 - ۱۱ چگالی انرژی مغناطیسی در یک نقطه از فضا چطور تعیین می شود؟ با حضور ماده مغناطیسی، این چگالی چطور افزایش می یابد؟
- اگر درباره هر کدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، لطفا درس را یک بار دیگر مرور کنید.

فراوش 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



نشان دهید که القایدگی چنبره مقابل با مقطع دایره شکل تقریباً برابر است با:

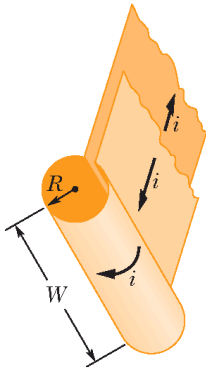
$$L \cong \frac{\mu_0 N^2 A}{2\pi R}$$

در اینجا $A = \pi r^2$ مساحت مقطع چنبره است. فرض کنید که $R \gg r$.

شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

تمرين

در شکل مقابل، جريان از صفحه اي عبور کرده و پس از طی یک مسیر حلقوی با فاصله بسيار کم به جهت مخالف باز می گردد. القايدگي اين قطعه را بياييد.



شکل از مباني فيزيک هاليدی.

تمرین

۱- دو القاگر L_1 و L_2 به صورت موازی به هم متصل شده اند. نشان دهید که القایدگی کل مجموعه برابر است با

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

چرا برای درست بودن این رابطه، باید فاصله دو القاگر بسیار زیاد باشد (نسبت به ابعاد آنها)؟

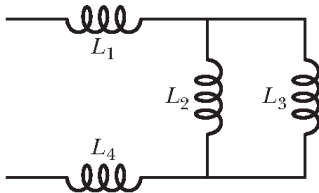
۲- دو القاگر L_1 و L_2 به صورت متوالی به هم متصل شده اند. نشان دهید که القایدگی کل مجموعه برابر است با

$$L_{eq} = L_1 + L_2$$

چرا برای درست بودن این رابطه، باید فاصله دو القاگر بسیار زیاد باشد (نسبت به ابعاد آنها)؟

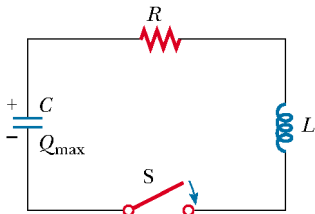
تمرین

القایدگی معادل مجموعه را مقابل را بیابید. فرض کنید که القای متقابل این القاگرها ناچیز است.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

مدارهای ترکیبی مقاومت، خازن و القاگر؛ نوسانات الکترومغناطیسی



در جلسه بعد رفتار القاگر در مدار را مطالعه خواهیم کرد. خواهیم دید که مدارهای شامل مقاومت، خازن و القاگر ذاتا رفتار نوسانی از خود نشان می دهند.

همچنین، برای بررسی مساله RLC ، برای اولین بار با چالش حل معادلات دیفرانسیل در فیزیک مواجه خواهیم شد.



شکل از مبانی فیزیک هالیدی.

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 میاس از توجه شما