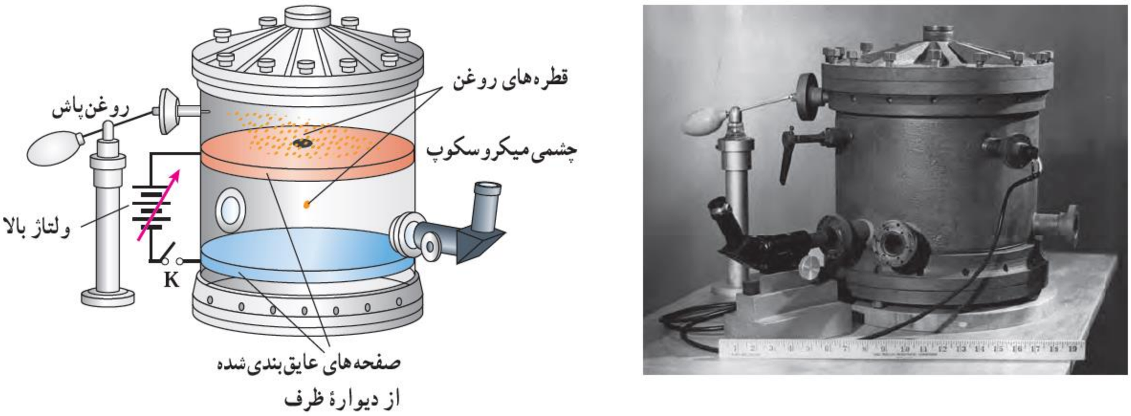
مثال ۱ــ ۹ : آزمایش قطره ــ روغن میلیکان

رابرت اندرو میلیکان[2] (۱۹۵۳ــ۱۸۶۸م)
فیزیک‌دان خبرهٔ آمریکایی که در سال ۱۹۲۳ میلادی به خاطر کار خود در تعیین بار الکترون و نیز اثر فوتوالکتریک برندهٔ جایزهٔ نوبل گردید.

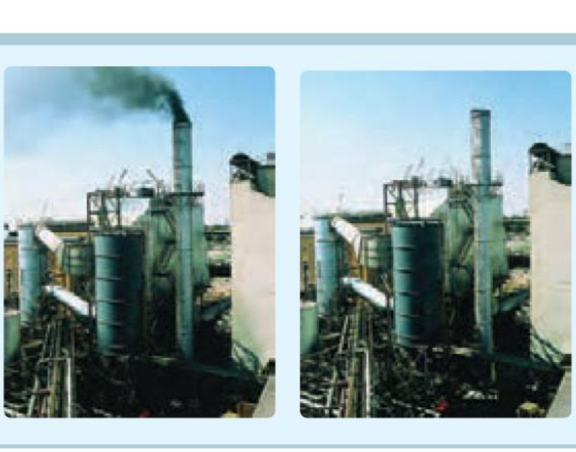
همان‌طور که پیش‌تر دیدیم بارالکتریکی با هر مقداری ظاهر نمی‌شود؛ بلکه همواره مضرب درستی از بار بنیادی e است ($q = \pm ne$). آزمایش کلاسیک فیزیک‌دان آمریکایی *رابرت میلیکان* به توضیح این امر می‌پردازد. این آزمایش اکنون به نام آزمایش قطره ــ روغن میلیکان[1] معروف است. میلیکان بین دو ورقهٔ فلزی موازی و افقی میدان الکتریکی قائم یکنواخت $\vec{E}$ را توسط یک منبع ولتاژ بالا ایجاد کرد (که می‌توانست آن را قطع و وصل کند). او در مرکز ورقهٔ بالایی چندین روزنهٔ کوچک ایجاد کرده بود که از طریق آنها قطره‌های روغن حاصل از یک روغن‌پاش به ناحیهٔ بین دو ورقه می‌پاشید. بیشتر این قطره‌ها در اثر مالش با دهانهٔ خروجی روغن‌پاش، باردار می‌شدند. میلیکان با تغییر دادن میدان الکتریکی بین صفحات به حرکت قطره‌های روغن در این فضا توجه کرد و با تحلیل این حرکت و با در نظر گرفتن مقاومت هوا، نیروی الکتریکی وارد بر هر قطره را محاسبه کرد و از آنجا بار الکتریکی هر قطره را تعیین کرد. میلیکان با تکرار آزمایش قطره ــروغن به دفعات زیاد و با قطره‌ــروغن‌های متفاوت دریافت که بار قطره‌ها برابر بار بنیادی e یا مضرب درستی از این مقدار است. شکل زیر اسباب واقعی آزمایش اولیهٔ میلیکان و طرحی از آن اسباب را نشان می‌دهد.

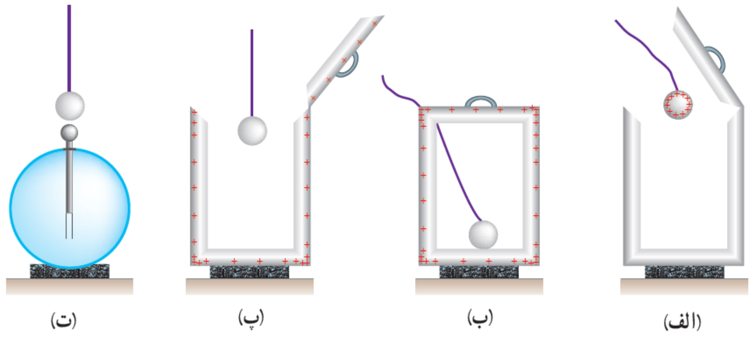


اسباب آزمایش اولیهٔ میلیکان و طرحی از آن

فعالیت ۱ــ ۵

رسوب‌دهندهٔ الکتروستاتیکی (ESP)[1] دود و غبار را از گازهای زائدی که از دودکش کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها بالا می‌آید جدا می‌سازد. رسوب‌دهنده‌ها انواع مختلفی دارند. در مورد اساس کار این رسوب‌دهنده‌ها تحقیق کنید. شکل‌های روبه‌رو تأثیر رسوب‌دهنده را در کاهش آلودگی هوای ناشی از یک دودکش نشان می‌دهد.





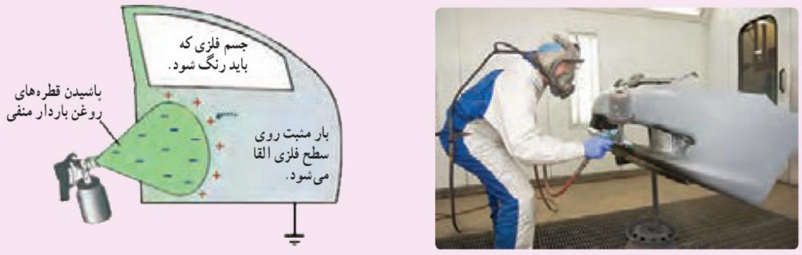
شکل ۱ــ۲۸ شرحی تصویری از آزمایش فاراده

پس از خارج کردن گوی فلزی از ظرف، آن را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود عقربهٔ الکتروسکوپ تکان نمی‌خورد (شکل ۱ــ۲۸ــت). همچنین اگر ظرف را به الکتروسکوپ نزدیک کنیم، مشاهده می‌شود که عقربه‌های الکتروسکوپ از هم فاصله می‌گیرند.

از این آزمایش نتیجه می‌گیریم که بار اضافی داده شده به یک رسانا روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود. شکل ۱ــ۲۹ طرحی از توزیع بار داده شده در سطح خارجی یک رسانا را نشان می‌دهد.

فنّاوری و کاربرد

یکی از کاربردهای صنعتی پدیدهٔ القای بار الکتریکی، رنگ‌پاشی الکتروستاتیکی است (شکل ۱ــ۳۲ــ الف). در نوعی از این روش رنگ‌پاشی، سطح فلزی‌ای که قرار است رنگ شود به زمین متصل می‌شود. از طرفی قطره‌های ریز رنگ هنگام خروج از دهانهٔ رنگ‌پاش باردار می‌شوند. با نزدیک شدن قطره‌های رنگ به هدف فلزی، بارهای القایی با علامت مخالف بر روی فلز ظاهر می‌شوند و به این ترتیب، قطره‌ها را به سطح فلز جذب می‌کنند (شکل ۱ــ۳۲ــ ب). این روش رنگ‌پاشی، پاشیده شدن رنگ از افشانهٔ قطره‌ها را کاهش می‌دهد و رنگ یکنواختی بر سطح جسم فلزی ایجاد می‌کند.

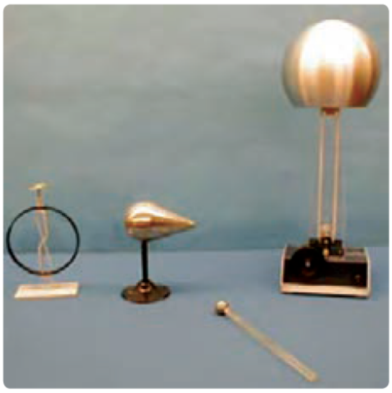


الف) تصویری از رنگ‌پاشی الکتروستاتیکی

ب) اساس این رنگ‌پاشی مبتنی بر پدیدهٔ القای بار الکتریکی است.

شکل ۱ــ ۳۲

سطح خارجی رسانا توزیع می‌شود. برای اینکه دریابیم بار الکتریکی داده‌شده به یک رسانا چگونه روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود از تعریف چگالی سطحی بار استفاده می‌کنیم. به این منظور آزمایش زیر را در نظر بگیرید که اسباب آن در شکل ۱ــ۳۳ نشان داده شده است. یک جسم رسانای دوکی‌شکل را روی پایهٔ عایق قرار دهید و آن را با تماس با کلاهک مولد وان‌دوگراف باردار کنید. گلوله‌ای فلزی را که به دسته‌ای عایق متصل است با بخش پهن دوک تماس داده و سپس گلوله را به سر الکتروسکوپ تماس دهید. همین آزمایش را پس از خنثی کردن الکتروسکوپ و گوی فلزی با تماس با دستتان، با نوک تیز دوک انجام دهید. خواهید دید، انحراف صفحه‌های الکتروسکوپ با نوک تیز دوک بیشتر از انحراف صفحه‌ها با بخش پهن آن است. آزمایش‌هایی از این دست نشان می‌دهد تراکم بار و چگالی سطحی بار در نقاط تیز سطح جسم رسانای باردار از نقاط دیگر آن بیشتر است (شکل ۱ــ۳۴). همچنین می‌توان نشان داد که خطوط میدان الکتریکی در نقاط نوک‌تیز چنین رسانایی متراکم‌تر و در نتیجه میدان الکتریکی در نزدیکی این نقاط، قوی‌تر است.



شکل ۱ــ۳۳ اسباب آزمایش چگونگی توزیع بار روی سطح خارجی یک جسم رسانای باردار

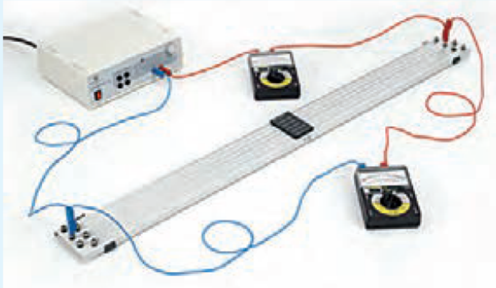
فعالیت ۲ــ۲

اسباب آزمایشی را شامل یک منبع تغذیه، آمپرسنج، ولت‌سنج، سیم‌های رابط و قطعه سیم‌هایی که می‌خواهیم مقاومت آنها را به‌دست آوریم، مطابق شکل داده‌شده سوار کنید. آزمایش شامل سه مرحله است.

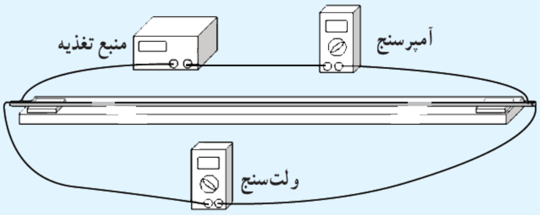
۱ــ قطعهٔ سیم‌هایی از جنس یکسان، مثلاً کنستانتان (یا نیکروم) با قطر برابر ولی طول‌های متفاوت را در مدار قرار دهید و بااستفاده از تعریف مقاومت، مقاومت هر کدام از سیم‌ها را با استفاده از عددی که آمپرسنج و ولت‌سنج نشان می‌دهند محاسبه و نتایج خود را در جدولی ثبت کنید. به‌نظر شما چه رابطه‌ای بین مقاومت سیم‌ها و طول آنها وجود دارد؟

۲ــ آزمایش را با سیم‌هایی از جنس یکسان با طول برابر، ولی قطرهای متفاوت انجام دهید و نتایج خود را در جدولی ثبت کنید. به‌نظر شما چه رابطه‌ای بین مقاومت سیم‌ها و سطح مقطع آنها وجود دارد؟

۳ــ آزمایش را با دو قطعه سیم هم‌طول و با قطر یکسان انجام دهید که این بار جنس یکی از آنها کنستانتان و دیگری نیکروم است و نتایج خود را یادداشت کنید. از این فعالیت چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



(الف) اسباب آزمایش اندازه‌گیری مقاومت یک سیم رسانا



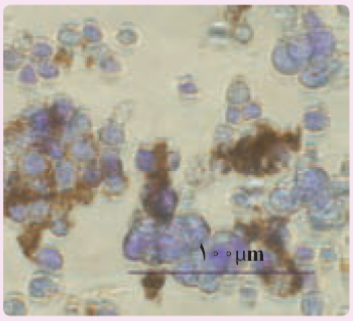
(ب) طرحی از مدار این آزمایش

فعالیت ۲ــ۸

الف) همانند شکل با یک اهم‌متر، مقاومت رشتهٔ سیم داخل لامپ ۱۰۰ واتی را اندازه‌گیری کنید. سپس با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۱۰ و با داشتن مشخصات روی لامپ، مقاومت آن را در حالت روشن محاسبه کنید. نتیجهٔ محاسبه را با مقدار اندازه‌گیری‌شده مقایسه کنید و نتیجه را پس از گفت‌وگوی گروهی گزارش دهید.

ب) اکنون با استفاده از نتیجهٔ به‌دست آمده، دمای رشتهٔ سیم داخل لامپ را در حال روشن برآورد کنید (رشتهٔ سیم لامپ از جنس تنگستن و ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ آن $۴/۵\times ۱۰^{-۳}\,{}^{\circ}C^{-۱}$ است[1]).

فنّاوری و کاربرد: نانو ذرّه‌های مغناطیسی برای درمان



لکه‌های تیره در تصویر میکروسکوپی روبه‌رو، یاخته‌های سرطانی‌اند که از توموری جدا شده‌اند و خطر پخش آنها در سرتاسر بدن بیمار وجود دارد. در یک روش تجربی برای مبارزه با این یاخته‌ها از ذرّه‌های یک مادهٔ مغناطیسی استفاده می‌شود که به بدن تزریق می‌شوند. این ذرّه‌ها با مادهٔ شیمیایی خاصی پوشیده شده‌اند که به‌طور هدفمند به یاخته‌های سرطانی متصل می‌شوند. سپس با استفاده از یک آهنربا در بیرون از بدن بیمار، این ذرّه‌ها (که در شکل به رنگ قهوه‌ای نشان داده شده است) بیرون «رانده» می‌شوند و یاخته‌های سرطانی را با خود می‌برند.

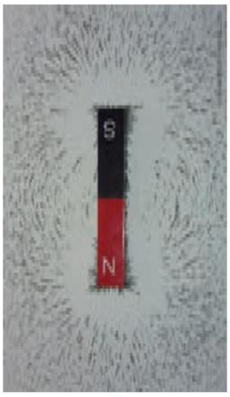
آزمایش ۳ـ۱

هدف: مشاهدهٔ طرح خط‌های میدان مغناطیسی با استفاده از برادهٔ آهن

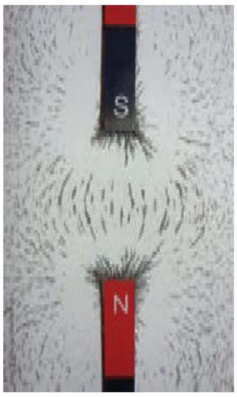
وسیله‌های مورد نیاز : آهنربای میله‌ای (دو عدد)، برادهٔ آهن، یک ورقهٔ شیشه‌ای یا مقوایی، نمک پاش (یا وسیلهٔ دیگری برای پاشیدن برادهٔ آهن) و دوربین برای عکس گرفتن از نتیجهٔ آزمایش (اختیاری)

شرح آزمایش :

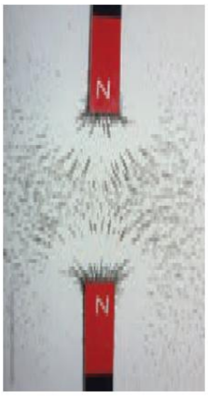
- یکی از آهنرباهای میله‌ای را روی میز قرار دهید و صفحهٔ شیشه‌ای (یا مقوایی) را روی آن بگذارید.
- به کمک نمک پاش، کمی برادهٔ آهن را به طور یکنواخت روی شیشه (مقوا) بپاشید.
- چند ضربهٔ آرام به صفحهٔ شیشه‌ای بزنید تا براده‌های آهن در راستای خط‌های میدان مغناطیسی قرار گیرند. طرحی که روی صفحهٔ شیشه‌ای پدیدار می‌شود، نقشه‌ای از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربای میله‌ای است (شکل الف).
- مراحل بالا را برای دو آهنربای میله‌ای که به‌ترتیب : قطب‌های ناهمنام و قطب‌های همنام آنها به یکدیگر نزدیک‌اند انجام دهید (شکل های ب و پ).



(الف)



(ب)



(پ)

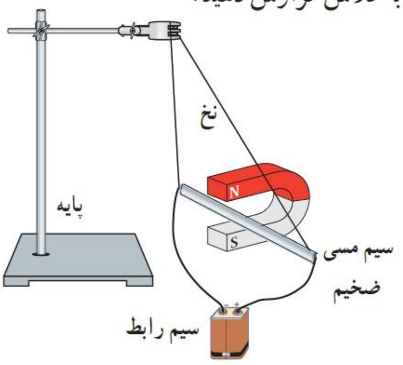
آزمایش ۳ـ۲

هدف: بررسی نیروی وارد بر سیم حامل جریان

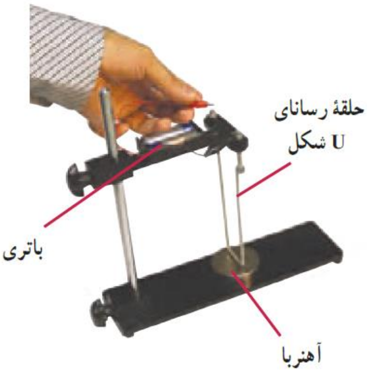
وسیله‌های مورد نیاز : آهنربای نعلی شکل، سیم مسی ضخیم، سیم رابط، پایه، نخ و باتری

شرح آزمایش :

- مداری مطابق شکل الف ببندید تا جریان از سیم مسی بگذرد. آنچه را که مشاهده می‌کنید، در گروه خود به بحث بگذارید.
- در صورتی که وسیله‌ای مشابه شکل ب را در آزمایشگاه مدرسه در اختیار دارید می‌توانید از آن استفاده کنید.
- مدار را قطع کنید و جهت جریان را تغییر داده و مراحل بالا را دوباره انجام دهید.
- **نتیجهٔ آزمایش را به کلاس گزارش دهید.**



(الف)



(ب)

فعالیت ۳ــ۴

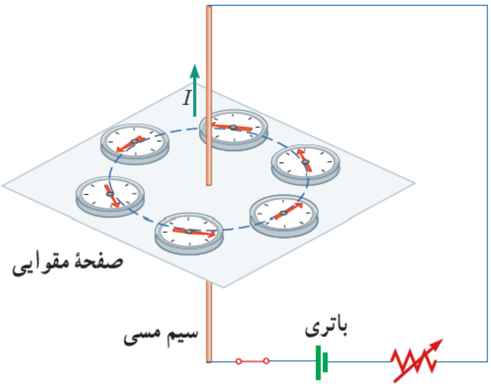
آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن بتوان نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی درون میدان مغناطیسی را اندازه‌گیری کرد. در صورت لزوم، برای اجرای این آزمایش می‌توانید از ترازوهای دیجیتال (رقمی) با دقت ۰/۰۱g استفاده کنید.

آزمایش ۳ــ۳

هدف: بررسی آثار مغناطیسی جریان الکتریکی (آزمایش اورستد)

وسیله‌های مورد نیاز : باتری، سیم مسی نسبتاً ضخیم، صفحهٔ مقوایی، عقربهٔ مغناطیسی (قطب‌نما)، رئوستا و سیم رابط

شرح آزمایش :



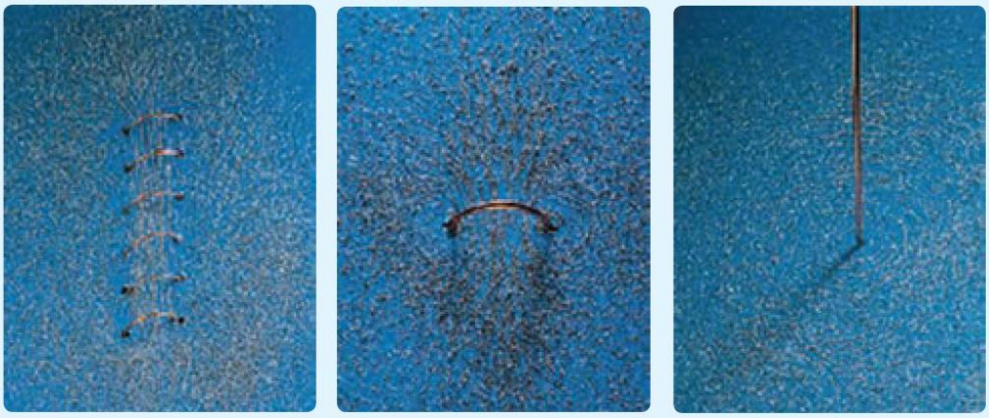
- سیم مسی را از صفحهٔ مقوایی بگذرانید و با آن مداری مطابق شکل روبه‌رو تشکیل دهید.
- قبل از برقراری جریان الکتریکی، عقربهٔ مغناطیسی را درمجاورت سیم، روی مقوا قرار دهید و به راستای قرارگرفتن آن توجه کنید.
- با وصل‌کردن مدار، جریان الکتریکی را از سیم مسی عبور دهید و به جهت‌گیری عقربهٔ مغناطیسی توجه کنید.
- عقربهٔ مغناطیسی را در نقطه‌های مختلف روی مقوا قرار دهید و جهت آن را بررسی کنید.
- با توجه به جهت گیری عقربه در نقاط مختلف صفحهٔ مقوّایی، چند خط میدان مغناطیسی را رسم کنید.
- این آزمایش را بار دیگر با جریانی در جهت مخالف تکرار کنید.
- به کمک چند باتری دیگر یا تغییر مقاومت رئوستا، تحقیق کنید که افزایش یا کاهش جریان چه تأثیری در نتیجهٔ آزمایش دارد؟
- نتیجهٔ این آزمایش را در گروه خود بحث کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.

فنّاوری و کاربرد: میدان‌های مغناطیسی بدن

تمام یاخته‌های زندهٔ بدن انسان به‌طور الکتریکی فعال‌اند. جریان‌های الکتریکی ضعیف در بدن، میدان‌های مغناطیسی ضعیف ولی قابل اندازه‌گیری تولید می‌کنند. اندازهٔ میدان‌های حاصل از عضله‌های اسکلتی کوچک‌تر از $۱۰^{-۱۰}$T، یعنی در حدود یک میلیونیم میدان مغناطیسی زمین است. میدان‌های مغناطیسی حاصل از مغز بسیار ضعیف‌تر و در حدود $۱۰^{-۱۲}$T هستند و برای اندازه‌گیری آنها باید مغناطیس‌سنج‌های بسیار حساس به کار برد. در حال حاضر، چنین مغناطیس سنج‌هایی به نام اسکوییدِ[1] ساخته شده‌اند. شکل روبه‌رو یک دستگاه اسکوییدِ را نشان می‌دهد که در حال اندازه‌گیری میدان مغناطیسی تولید شده در مغز است.

فعالیت ۳ـ ۵

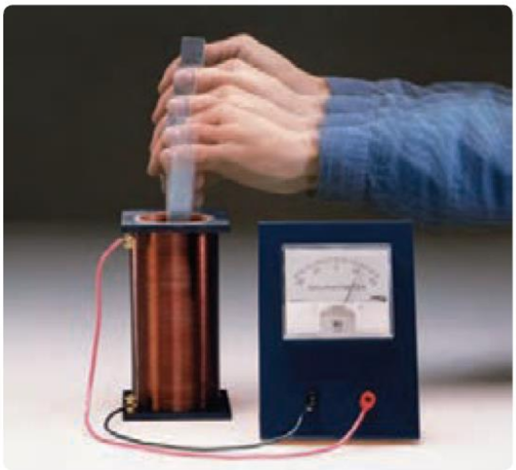
آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان با استفاده از برادهٔ آهن، طرح خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک سیم بلند (شکل الف)، یک حلقهٔ دایره‌ای (شکل ب) و یک سیملولهٔ حامل جریان (شکل پ) ایجاد کرد.



(الف) (ب) (پ)

آزمایش ۴ــ۱

هدف: بررسی پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی



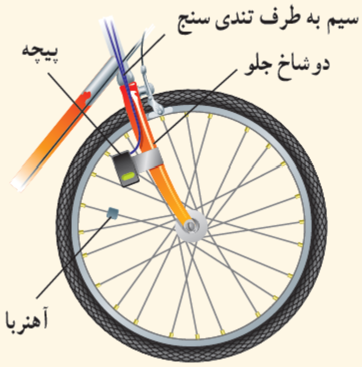
وسیله‌های مورد نیاز : گالوانومتر، آهنربای میله‌ای، سیملوله یا پیچه و سیم رابط

شرح آزمایش :

- دو سر سیملوله را به گالوانومتر ببندید.
- یکی از قطب‌های آهنربا را وارد سیملوله کنید (شکل روبه‌رو). مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
- اکنون آهنربا را از سیملوله خارج کنید. مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، دوباره یادداشت کنید.
- مراحل بالا را برای قطب دیگر آهنربا تکرار کنید.
- آزمایش را در حالی انجام دهید که آهنربا ثابت باشد و سیملوله به آن نزدیک یا از آن دور شود. آیا نتیجهٔ آزمایش تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

پرسش ۴ــ۲

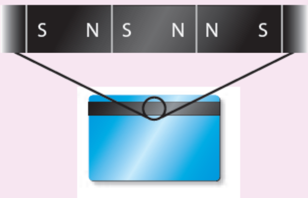
تندی‌سنج دوچرخه‌های مسابقه‌ای شامل یک آهنربای کوچک و یک پیچه است. آهنربا به یکی از پره‌های چرخ جلو و پیچه به دو شاخ فرمان متصل است (شکل روبه‌رو). دو سر پیچه با سیم‌های رسانا به نمایشگر تندی‌سنج (که در واقع نوعی رایانهٔ کوچک است) وصل شده است. به نظر شما تندی‌سنج دوچرخه چگونه کار می‌کند؟ این موضوع را در گروه خود به گفت‌وگو بگذارید و نتیجه را به کلاس درس ارائه دهید.



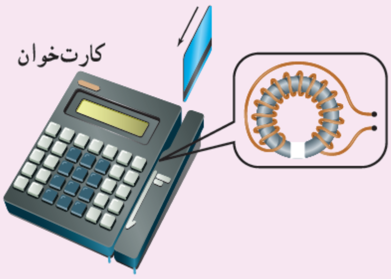
فناوری و کاربرد

کارت‌های اعتباری و دستگاه‌های کارت‌خوان

نوار مغناطیسی پشت کارت‌های اعتباری حاوی تعداد بسیار زیادی ذرهٔ فرومغناطیسی است که نوعی چسب خاص آنها را به هم متصل می‌کند. داده‌ها را که به‌صورت دودویی، یا صفر و یک به رمز درآورده‌اند، در نوار مغناطیسی پشت کارت ذخیره می‌کنند (شکل الف). وقتی کارت اعتباری درون دستگاه کارت‌خوان کشیده می‌شود، میدان مغناطیسی ناشی از نوار مغناطیسی، روی پیچهٔ قرار داده شده در دستگاه کارت‌خوان اثر می‌گذارد و جریان اندکی را در پیچه القا می‌کند (شکل ب). این جریان بسیار کوچک توسط دستگاه دیگری تقویت و داده‌های ذخیره شده در نوار مغناطیسی پشت کارت، رمزگشایی می‌شود. پس از رمزگشایی داده‌ها، دستور مورد نظر انجام می‌شود.



(الف) داده‌ها را به‌صورت صفر و یک در نوار مغناطیسی پشت کارت ذخیره می‌کنند.

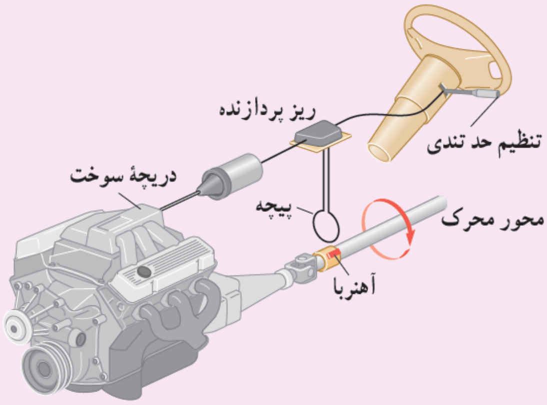


(ب) کشیدن کارت، جریان اندکی در پیچهٔ دستگاه کارت‌خوان القا می‌کند.

سامانهٔ تنظیم حد تندی خودرو[1]

در بسیاری از خودروهای امروزی، سامانه‌ای وجود دارد که به کمک آن می‌توان تندی خودرو را روی مقدار دلخواهی تنظیم کرد. در این وضعیت، بدون آنکه لازم باشد راننده پای خود را روی پدال گاز قرار دهد، خودرو با تندی تعیین شده به حرکتش ادامه می‌دهد. اساس کار این سامانه، جریان القایی است. وقتی محور محرک خودرو می‌چرخد آهنربایی که روی آن قرار دارد، شار مغناطیسی متغیری را از پیچه می‌گذراند و جریانی در آن القا می‌کند.

ریزپردازنده (مغز رایانه) تعداد تپ‌های جریان[2] را در هر ثانیه می‌شمارد و به این روش، تندی خودرو را اندازه می‌گیرد. سپس با مقایسهٔ تندی اندازه‌گیری شده با تندی تنظیم شده توسط راننده، سوخت مورد نیاز را به موتور تزریق می‌کند. تا هنگامی که راننده ترمز نگیرد، حرکت خودرو با تندی تعیین شده، توسط این سامانه تنظیم می‌شود.



آزمایش ۴ـ۲

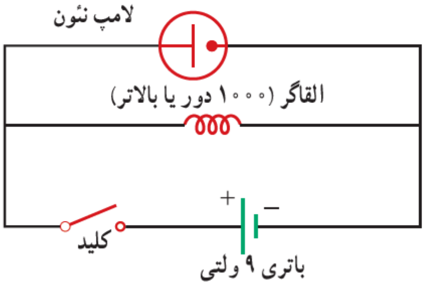
هدف: بررسی اثر خود ــ القاوری

وسیله‌های مورد نیاز : لامپ نئون (لامپ فازمتری)، القاگر(۱۰۰۰ دور یا بالاتر)، باتری قلمی (۲ عدد) یا باتری ۹ ولتی، سیم رابط، کلید

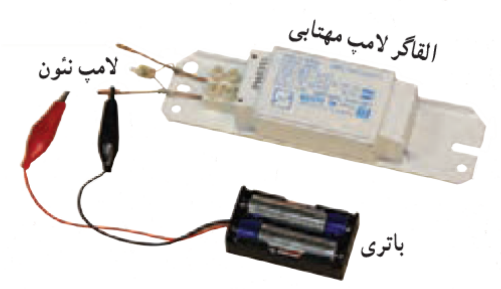
شرح آزمایش :

- مداری مطابق شکل الف ببندید.
- کلید را وصل کنید. آیا لامپ روشن است؟ اینک کلید را قطع کنید. در لحظهٔ قطع کردن کلید چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دلیل آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به گفت‌وگو بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

توجه : می‌توانید مطابق شکل ب، به جای القاگر از القاگر لامپ‌های مهتابی (که به اشتباه ترانس نامیده می‌شود) نیز استفاده کنید.



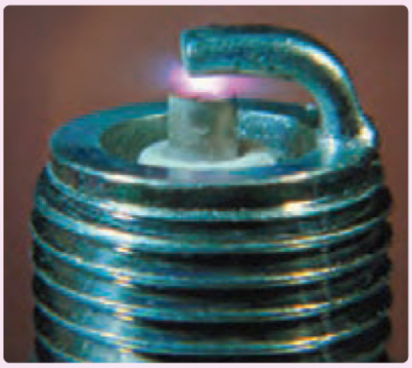
(الف)



(ب)

فنّاوری و کاربرد: انرژی لازم برای جرقه زدن شمع خودرو

انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی نقش مؤثری در دستگاه‌های احتراق خودروهای با موتور بنزینی دارد. پیچهٔ اولیه با حدود ۲۵۰ دور به باتری خودرو بسته شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچه، درون یک پیچهٔ ثانویه با ۲۵۰۰۰ دور سیم خیلی نازک قرار گرفته است. برای جرقه زدن شمع، جریان در پیچهٔ اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به صفر می‌رسد و نیروی محرکهٔ الکتریکی ده‌ها هزار ولتی در پیچهٔ ثانویه القا می‌کند. درنتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همراه با جریانی لحظه‌ای از پیچهٔ ثانویه به طرف شمع می‌رود و جرقه‌ای تولید می‌کند که سبب احتراق مخلوط سوخت و هوا در سیلندرهای موتور می‌شود (شکل روبه‌رو).



انرژی لازم برای جرقه زدن شمع خودرو، از انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی پیچهٔ احتراق تأمین می‌شود.