

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيمِ

فیزیک(۳) و آزمایشگاه

سال سوم آموزش متوسطه

رشته علوم تجربی

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی
نام کتاب : فیزیک (۳) و آزمایشگاه - ۲۵۶/۳

شورای برنامه‌ریزی و تألیف : احمد احمدی، اعظم پورقاضی، روح الله خلیلی بروجنی، ابوالقاسم زالپور،
سیدمهدي شيوابي، شيرين فراهاني، حسن عزيزي، غلامعلی محمودزاده و منصور وصالی
آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزيع : اداره کل چاپ و توزيع کتاب‌های درسی
تهران: خیابان ایرانشهر شمالی- ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۰۹۲۶۰۹۸۳۱۱۶۱، ۰۹۸۳۰۹۲۶۶، دورنگار: ۰۵۸۴۷۴۷۳۵۹، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وبسایت : www.chap.sch.ir

رسام : هدیه بندر

صفحه‌آرا : فائزه محسن شیرازی

طرح جلد : علیرضا رضانی گر

ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروبخش)
تلفن: ۰۵-۱۶۱۰۸۵۸۴، ۰۵-۱۶۰۸۵۹۴، دورنگار: ۰۵-۱۶۰۸۵۸۴، صندوق پستی: ۱۳۴۴۵۶۸۴

چاپخانه : کارون

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ یازدهم ۱۳۹۰

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۹۶۴-۵-۰۹۹۶-۵ ۹۶۴-۰-۵-۰۹۹۶-۵ ISBN 964-05-0996-5



هر کاری را که انسان باورش این است که نسبت به آن کار ضعیف است، نمی‌تواند آن کار را انجام بدهد. ... هر کشوری که اعتقادش این باشد که نمی‌تواند خودش صنعتی را ایجاد کند این ملت محکوم به این است که تا آخر نتواند، و این اساس نقشه‌هایی بوده است که برای ملل ضعیف دنیا قدرت‌های بزرگ کشیده‌اند.

امام خمینی

فهرست

پیشگفتار

۲	فصل ۱ - الکتریسیته‌ی ساکن
۲	۱- قانون کولن
۱۶	۲- میدان الکتریکی
۱۸	۳- تعریف کمی میدان الکتریکی
۱۹	۴- میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار
۲۳	۵- تجسم میدان الکتریکی
۲۴	۶- نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان الکتریکی
۲۵	۷- توزیع بار الکتریکی در یک جسم
۳۱	۸- انرژی پتانسیل الکتریکی
۳۳	۹- اختلاف پتانسیل الکتریکی
۳۵	۱۰- خازن
۳۷	۱۱- ظرفیت خازن
۳۸	۱۲- عامل‌های مؤثر بر ظرفیت خازن تحت
۴۲	۱۳- انرژی خازن
۴۳	۱۴- به هم بستن خازن‌ها
۴۹	تمرین‌های فصل اول
۵۳	فصل ۲ - جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم
۵۳	۱- جریان الکتریکی
۵۵	۲- قانون اهم
۵۵	۳- عوامل مؤثر در مقاومت رساناهای فلزی
۶۲	۴- اثر دما بر مقاومت رساناهای فلزی
۶۴	۵- محاسبه‌ی انرژی الکتریکی مصرف شده در یک مقاومت
۶۸	۶- نیروی محرکه‌ی مولد

۶۹	۷-۲- مدارهای تک حلقه
۷۶	۸-۲- بهم بستن مقاومت‌ها
۸۴	۹-۲- قانون کیرشهف
۸۸	تمرین‌های فصل دوم
۹۲	فصل ۳- مغناطیس
۹۳	۱-۳- آهنربا
۹۷	۲-۳- میدان مغناطیسی
۱۰۱	۳-۳- تعریف میدان مغناطیسی با استفاده از نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی
۱۰۷	۴-۳- نیروی وارد بر ذرهی باردار متحرک در میدان مغناطیسی
۱۱۰	۵-۳- آثار مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی
۱۱۷	۶-۳- نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان
۱۲۰	۷-۳- خاصیت مغناطیسی مواد
۱۲۶	تمرین‌های فصل سوم
۱۳۲	فصل ۴- القای الکترومغناطیسی
۱۳۲	۱-۴- پدیده‌ی القای الکترومغناطیسی
۱۳۵	۲-۴- شار مغناطیسی
۱۳۷	۳-۴- قانون القای الکترومغناطیسی فارادی
۱۴۱	۴-۴- محاسبه‌ی جریان القایی
۱۴۳	۵-۴- خودالقایی
۱۵۰	۶-۴- انرژی ذخیره شده در القاگر
۱۵۱	۷-۴- جریان متناوب
۱۵۵	تمرین‌های فصل چهارم
۱۵۹	واژه‌نامه‌ی فارسی- انگلیسی
۱۶۱	فهرست مراجع

پیشگفتار

در قرن بیست و یکم بشر وارد دوره‌ی جدیدی از توسعه‌ی علم و فناوری شده است. حجم اطلاعات علمی بشر طبق تخمین دانشمندان در چند سال آینده در هر چند ماه دو برابر می‌شود. شیوه‌های زندگی نیز به دنبال این تحولات در علم و تکنولوژی خیلی سریع تغییر می‌کنند. بنابراین نیازهای فردای دانشآموzan امروز برای ما خیلی آشکار نیست. به دنبال این تحولات شیوه‌های آموزش علوم (فیزیک) به تبع نیازهای مجھول آینده فرزندانمان تغییر چشمگیری در جهان داشته است. در این شیوه‌ها تلاش زیادی می‌شود تا دانشآموز «چگونگی آموختن» را باموزد و مهارت برخورد با مطلب یا مسئله جدید و طی مرافقی که منجر به حل آن مسئله می‌شود را فرا گیرد.

کتاب فیزیک (۲) و آزمایشگاه براساس روش فعال تألیف شده است. یعنی دانشآموز در ساخت مفاهیم نقش دارد و نقش دیران محترم، طرح مسئله و سپس راهنمایی دانشآموزان برای رسیدن به حل مسئله است. در این کتاب سعی شده سه هدف نگرشی، دانشی و مهارتی مورد توجه کامل قرار گیرد و حجم و تعداد مفاهیم با توجه به اختصاصی بودن درس برای دانشآموزان رشته علوم ریاضی و تجربی انتخاب شده است.

انتظار می‌رود همکاران گرامی با تکیه بر تجربه و توانایی‌های خود، فعالیت یا آزمایشی را که در یادگیری می‌تواند کمک کند طراحی کرده و دانشآموزان را بر انجام آن‌ها ترغیب کنند و از آنان بخواهند که نتایج آن فعالیت‌ها را در دفتر گزارش کار خود ثبت کنند. این دفتر و عملکرد دانشآموزان در حین انجام فعالیت می‌تواند به عنوان یکی از ملاک‌های ارزشیابی مورد توجه

قرار گیرد. لازم به تذکر است که عناوین و مباحث این کتاب براساس سن دانشآموزان و زمان تخصیص داده به این درس تدارک دیده شده است و همکاران محترم باستی از پیرایه‌های اضافی به این مباحث، پرهیزند.

گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی همواره از دریافت نظرهای ارزشمند دبیران محترم، صاحب‌نظران و دانشآموزان جهت رفع نارسایی‌ها و لغزش‌های احتمالی به‌گرمی استقبال می‌کنند. نظرهای اصلاحی خود را به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۵۵/۳۶۳ فیزیک و یا نشانی الکترونیک physics-dept@talif.sch.ir ارسال نمایید.

گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی

<http://physics-dept.talif.sch.ir>



شکل بالا یک مولد و اندوگراف را در موزه‌ی علوم بوستون نشان می‌دهد. این مولد یک تخلیه‌ی الکتریکی عظیم ایجاد می‌کند. اما همان‌طور که در شکل دیده می‌شود شخص درون قفس فلزی (اتاقک فوارادی) از اثرهای این تخلیه حفاظت شده است.

فصل ا

الکتریسیته‌ی ساکن

در کتاب‌های علوم دوره‌ی راهنمایی و نیز کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه، با بارالکتریکی و نحوه‌ی باردار کردن اجسام آشنا شدید و آموختید که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. بار الکترون را بار منفی و بار پروتون را مثبت نام‌گذاری کرده‌اند. علاوه بر این، دیدید که بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و نیز از بین نمی‌رود و فقط از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود. به این بیان، پایستگی بار الکتریکی گفته می‌شود. هم‌چنین آموختید اجسام باردار بر یک دیگر نیرو وارد می‌کنند. این نیروها ممکن است رباشی یا رانشی باشند. پیش‌تر نیروهایی که شما با آن‌ها آشنا هستید و با آنها سر و کار دارید، منشأ الکتریکی دارند. به کمک این نیروها می‌توان ساختار اجسام، پیوند بین ذره‌ها و بسیاری از پدیده‌هایی را که در طبیعت رخ می‌دهند، توصیف کرد. دامنه‌ی کاربرد دانش الکتریسیته در فناوری و صنعت به قدری گسترده است که نیازی به بیان ندارد.

در این فصل، ضمن یادآوری مطالبی که قبلًاً آموخته‌اید، به شرح و توصیف دقیق‌تر کمیت‌های الکتریکی و رابطه‌ی بین آن‌ها می‌پردازیم.

۱- قانون کولن

همان‌طور که در فیزیک ۱ و آزمایشگاه خواندید، دو جسم باردار بر یک دیگر نیرو وارد می‌کنند. نیرویی که دو جسم باردار بر یک دیگر وارد می‌کنند، نیروی الکتریکی نام دارد. نیروهای الکتریکی ممکن است رباشی (جادبه‌ای) یا رانشی (دافعه‌ای) باشند. دیدیم که اگر بارهای الکتریکی دو جسم همنام باشند، یعنی هر دو مثبت یا هر دو منفی باشند، نیروهای بین دو جسم، رانشی است. در حالی که اگر بار الکتریکی یک جسم مثبت و بار الکتریکی دیگری منفی باشد، نیروی الکتریکی بین دو جسم، رباشی خواهد بود.

نیروی الکتریکی بین دو جسم، به چه عامل‌هایی سنتگی دارد و اندازه‌ی این نیروها را از چه رابطه‌ای می‌توان محاسبه کرد؟

شارل کولن، دانشمند فرانسوی، برای اولین بار با انجام دادن آزمایش‌های ساده و هوشمندانه‌ای

توانست عامل‌های را که نیروهای الکتریکی به آن‌ها بستگی دارند، شناسایی کند. شما هم می‌توانید با انجام دادن آزمایش‌های ساده‌ای، با این عامل‌ها آشنا شوید.

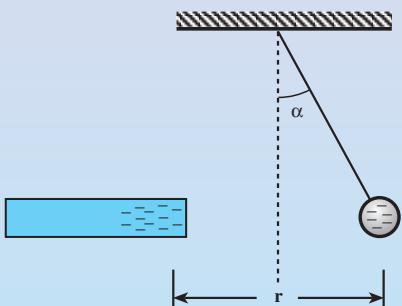
آزمایش ۱-۱

وسیله‌های آزمایش: میله‌ی پلاستیکی – پارچه‌ی پشمی – ورقه‌ی نازک آلومینیومی و مقداری نخ خشک
شرح آزمایش:

- ۱- کمی ورقه‌ی آلومینیومی را فشرده کنید و آن را به صورت کره‌ی کوچکی در آورید. این کره‌ی کوچک را به کمک یک تکه نخ خشک آویزان کنید. این وسیله را آونگ الکتریکی می‌نامیم و از آن در آزمایش‌های الکتریسیته‌ی ساکن استفاده می‌کنیم.
- ۲- به آونگ الکتریکی به روش الفا یا با تماس به جسمی که بار منفی دارد، بار الکتریکی منفی بدھید.

- ۳- میله را باردار کرده و آن را به آونگ الکتریکی نزدیک کنید. چه اتفاقی می‌افتد؟

- ۴- میله را در فاصله‌ی معینی از آونگ و نزدیک آن نگه‌دارید و زاویه‌ی انحراف آونگ را از وضع قائم با دقت مشاهده کنید.



شکل ۱-۱*

- ۵- مرحله‌ی ۴ را تکرار کنید و هر بار فاصله‌ی میله را از آونگ تغییر دهید. مراقب باشید که در مراحل ۴ و ۵، میله با آونگ تماس پیدا نکند. نتیجه‌ی آزمایش را بنویسید و به کلاس گزارش دهید.

* اجسام باردار با بار منفی را، با رنگ آبی و با بار مثبت را با رنگ قرمز نشان می‌دهیم.

کولن نیز با انجام دادن آزمایش و اندازه‌گیری‌های دقیق به این نتیجه رسید که :
نیروهای الکتریکی بین دو ذره‌ی باردار با مجدد فاصله‌ی آن‌ها از یک‌دیگر نسبت

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

وارون دارد؛ یعنی :

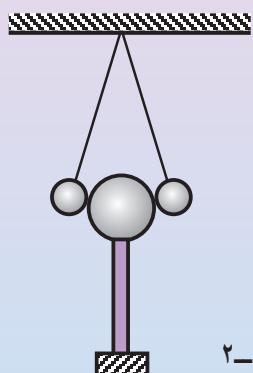
برای آن که معلوم شود نیروی الکتریکی به چه عامل‌های دیگری بستگی دارد، آزمایش ۲-۱ را انجام دهید.

آزمایش ۲-۱

وسیله‌های آزمایش : برای انجام دادن این آزمایش، علاوه بر وسیله‌های آزمایش ۱-۱ به دو کره‌ی فلزی کوچک و همان‌اندازه که روی پایه‌های عایق نصب شده باشند، نیاز دارد.

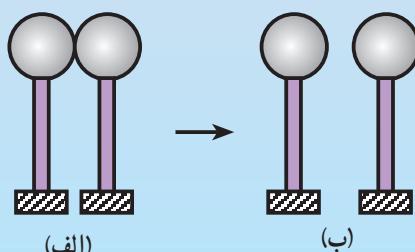
شرح آزمایش :

- ۱- دو آونگ الکتریکی کاملاً مشابه بسازید و آن‌ها را از یک نقطه آویزان کنید.
- ۲- یک کره را باردار کنید و آن را هم‌زمان به دو آونگ تماس دهید. سپس آن را از آونگ‌ها دور کنید. چه اتفاقی می‌افتد؟ زاویه‌ی بین دو آونگ‌ها را بعد از دور شدن کره‌ی فلزی اندازه‌گیری کنید.



شکل ۲-۱

- ۳- کره‌ی دیگر را که بدون بار است به کره‌ی باردار تماس دهید و آن‌ها را از یک‌دیگر جدا کنید. با انجام دادن این عمل، بار الکتریکی به طور مساوی بین دو کره تقسیم می‌شود.



شکل ۳-۱

۴- ابتدا با تماس دست به آونگ‌ها، بار آن‌ها را تخلیه کنید. سپس یکی از کوه‌های باردار را مانند مرحله‌ی ۲ به دو آونگ تماس دهید. این بار نیز زاویه‌ی بین دو آونگ را اندازه‌گیری کنید.

۵- نتیجه‌ی مرحله‌های ۲ و ۴ را با یک‌دیگر مقایسه کنید. نتیجه را بنویسید و به کلاس گزارش دهید.

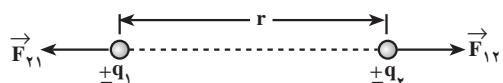
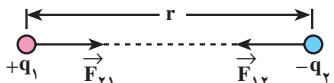
کولن نیز با انجام دادن آزمایش و اندازه‌گیری‌های دقیق به این نتیجه رسید که : نیروی الکتریکی با حاصل ضرب اندازه‌ی بار دو ذره نسبت مستقیم دارد؛ یعنی :

$$F \propto q_1 \cdot q_2$$

کولن، نتیجه‌ی آزمایش‌های خود را که امروزه به نام قانون کولن شناخته شده است، به صورت زیر بیان کرد :

نیروی الکتریکی رباشی یا رانشی بین دو ذره باردار q_1 و q_2 که در فاصله‌ی r از یک‌دیگر قرار دارند، با حاصل ضرب بار دو ذره نسبت مستقیم و با محدود فاصله‌ی دو ذره از یک‌دیگر نسبت وارون دارد.

$$F \propto \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$



ب) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی غیرهمنام، رباشی است.

الف) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی همنام، رانشی است.

شکل ۴-۱

در شکل ۴-۱ \vec{F}_{12} به معنای نیرویی است که ذره‌ی اول به ذره‌ی دوم وارد می‌کند و \vec{F}_{21} نیرویی است که ذره‌ی دوم به ذره‌ی اول وارد می‌کند.

نیروهای الکتریکی که دو ذره باردار به یک‌دیگر وارد می‌کنند، هماندازه و در جهت‌های مخالف یک‌دیگرند (قانون سوم نیوتون). اگر اندازه‌ی این نیروها را با F نشان دهیم، داریم :

$$\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21} \rightarrow F_{12} = F_{21} = F$$

قانون کولن را می‌توان با رابطه‌ی زیر بیان کرد :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

در این رابطه، q_1 و q_2 بر حسب کولن، r بر حسب متر و F بر حسب نیوتون است.

ضریب تناسب است که در آن ضریب ϵ یک ثابت جهانی است و ضریب گذردهی الکتریکی خلا نام دارد.

$$\epsilon = 8 / 85 \times 10^{-12} \quad \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

برای سادگی در نوشتن، می‌توان ضریب قانون کولن را با نماد k نشان داد.

$$k = \frac{1}{4\pi} = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

به کمک قانون کولن (رابطه‌ی ۱-۱) می‌توان اندازه‌ی نیروی الکتریکی ای را که دو ذره‌ی باردار به یکدیگر وارد می‌کنند، محاسبه کرد. در محاسبه‌ها، علامت مثبت یا منفی بارهای الکتریکی را در رابطه‌ی ۱-۱ وارد نمی‌کنیم و ریاضی یا رانشی بودن نیروها را به کمک نوع بارها مشخص می‌کنیم.

مثال ۱-۱

دو ذره با بارهای الکتریکی $2\mu C$ و $5\mu C$ در فاصله‌ی 3 cm از یکدیگر ثابت شده‌اند. اندازه‌ی نیرویی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند و نوع آن را مشخص کنید.

حل: با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱ داریم:

$$F = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{(2 \times 10^{-9}) \cdot (5 \times 10^{-9})}{9 \times 10^{-4}}$$

$$F = 100 \text{ N}$$

چون بارهای الکتریکی دو ذره همنام‌اند، نیرویی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کند، رانشی است.

اگر تعدادی ذره‌ی باردار در یک ناحیه از فضا قرار داشته باشند، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برایند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کنند.

مثال ۱-۲

سه ذره با بارهای الکتریکی $q_1 = 2/5\mu C$ ، $q_2 = 1\mu C$ و $q_3 = 4\mu C$ در نقطه‌های A و B و C مطابق شکل ۱-۵ ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی وارد بر q_3 را محاسبه کنید. $BC = 2\text{cm}$ و $AC = 6\text{cm}$.



شکل ۱-۵

حل: نیرویی که بر q_3 وارد می‌شود، برایند دو نیرویی است که از طرف q_1 و q_2 بر آن وارد می‌شوند. برای محاسبه‌ی این نیرو، نیرویی را که هر یک از بارهای q_1 و q_2 در غیاب دیگری، بر q_3 وارد می‌کند، محاسبه می‌کنیم. نیروی الکتریکی وارد بر q_3 ، برایند این دو نیروست (شکل ۶-۱). با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱ داریم:

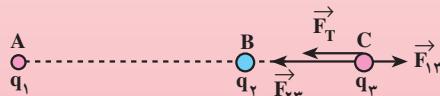
$$F = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \times \frac{2/5 \times 4 \times 10^{-12}}{36 \times 10^{-4}}$$

نیرویی که بر q_3 وارد می‌کند، رانشی است.

$$F_{23} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 4 \times 10^{-12}}{4 \times 10^{-4}}$$

نیرویی که بر q_2 وارد می‌کند، رباشی است.



شکل ۶-۱

مطابق شکل ۶-۱ نیروهای \vec{F}_{13} و \vec{F}_{23} در جهت‌های مخالف یک‌دیگرند.

اندازه‌ی برایند آن‌ها، \vec{F}_T ، برابر تفاضل اندازه‌های آن‌ها و در جهت نیروی بزرگ‌تر (در جهت \vec{F}_{23}) است.

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13}$$

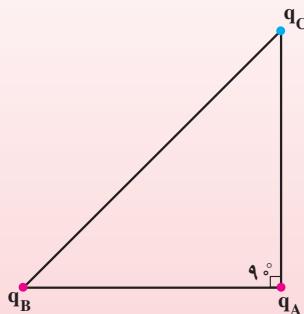
$$F_T = F_{23} - F_{13} = 65\text{N}$$

تمرین ۱-۱

در مثال ۱-۲، نیروی وارد بر q_1 را به دست آورید.

مثال ۱-۳

سه ذرهی باردار مطابق شکل ۷-۱ در سه رأس مثلث قائم الزاویه‌ی ABC ثابت شده‌اند. بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر ذرهی باردار واقع در رأس زاویه‌ی قائم را محاسبه کنید؛ در صورتی که $q_C = 4\mu C$ ، $q_B = 4\mu C$ ، $q_A = 2\mu C$ و $AC = 2\sqrt{3} \text{ cm}$ و $AB = 3 \text{ cm}$ باشد.



شکل ۷-۱

حل: نیروی بین q_A و q_B رانشی و بین q_A و q_C رباشی است. با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱ داریم:

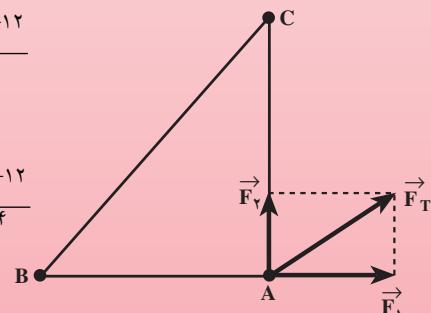
$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$F_{BA} = F_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 2 \times 10^{-12}}{9 \times 10^{-4}}$$

$$F_1 = 8 \text{ N}$$

$$F_{CA} = F_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 2 \times 10^{-12}}{12 \times 10^{-4}}$$

$$F_2 = 6 \text{ N}$$



شکل ۸-۱

نیروهای \vec{F}_1 و \vec{F}_2 در شکل ۱-۸ نشان داده شده‌اند. این دو نیرو بر یک دیگر عمودند و \vec{F}_T برایند آن‌هاست. داریم :

$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$F_T = F_1 + F_2$$

$$F_T = (8\text{ N}) + (6\text{ N})$$

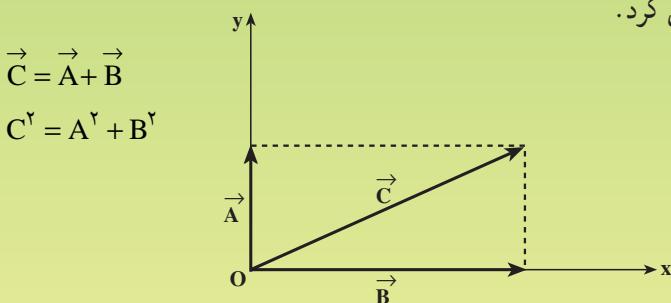
$$F_T = 14\text{ N}$$

یادداشت ریاضی

برای حل کردن مسئله‌های فیزیک به محاسبه‌های نظری محاسبه‌های برداری نیازمندیم که شما در کتاب‌های ریاضی سال‌های گذشته با آن‌ها آشنا شده‌اید. در اینجا این محاسبه‌ها را صرفاً جهت حل مسئله‌های فیزیکی آورده‌ایم و جزء درس فیزیک منظور نمی‌شوند.

در کتاب ریاضی سال سوم راهنمایی و کتاب ریاضی ۲ دیپرستان با مؤلفه‌های یک بردار روی محورهای مختصات و نیز نمایش یک بردار بر حسب مؤلفه‌ها و بردارهای یکه و نیز محاسبه‌های برداری به کمک بردارهای یکه آشنا شدید. در اینجا با نحوه استفاده از آن‌ها در مبحث‌های فیزیک آشنا می‌شوید. مرور این مبحث، از کتاب ریاضی ۲ شما را در حل مسئله‌های فیزیکی یاری می‌دهد.

مؤلفه‌های یک بردار روی محورهای مختصات
در کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه دیدیم که در محاسبه‌ها می‌توان به جای دو بردار، – مثلاً بردارهای \vec{A} و \vec{B} در شکل ۱ – ۹ برایند آن‌ها، یعنی بردار \vec{C} را جایگزین کرد.



شکل ۱-۹ – بردار \vec{C} برایند بردارهای \vec{A} و \vec{B} است.

به طور وارون و هر جا که مناسب باشد، می‌توان به جای بردار \vec{C} ، دو بردار \vec{A} و \vec{B} را به کار برد. در این صورت، به بردارهای \vec{A} و \vec{B} ، مؤلفه‌های بردار \vec{C} در امتداد محورهای x و y گفته می‌شود.

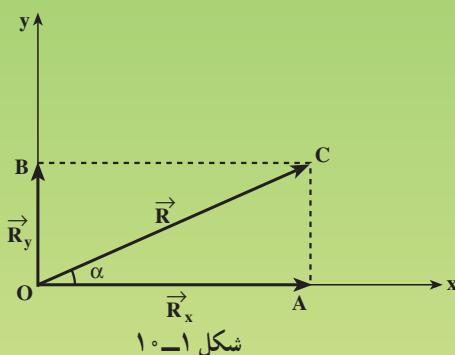
معمولًاً مؤلفه‌ی یک بردار روی یک محور را با نام آن بردار و زیرنویس نام

محور، مشخص می‌کنند؛ مثلاً مؤلفه‌ی بردار \vec{C} در راستای محور x را \vec{C}_x و مؤلفه‌ی آن در راستای محور y را \vec{C}_y می‌نامیم.

برای تعیین مؤلفه‌های یک بردار روی دو محور x و y به روش زیر عمل می‌کنیم.

مطابق شکل ۱۰-۱ از انتهای بردار \vec{R} ، خط‌های موازی هر یک از دو محور

\vec{OA} و \vec{Oy} رسم می‌کنیم تا محورها را در نقطه‌های A و B قطع کنند. بردارهای \vec{R}_x و \vec{R}_y مؤلفه‌های بردار \vec{R} روی دو محورند که آن‌ها را \vec{R}_x و \vec{R}_y می‌نامیم.



اگر زاویه‌ی \vec{R} با محور x برابر α باشد، اندازه‌ی مؤلفه‌های آن روی دو محور به روش زیر محاسبه می‌شود.

$$\cos \alpha = \frac{R_x}{R} \quad (2-1)$$

$$R_x = R \cos \alpha \quad (2-1)$$

$$\sin \alpha = \frac{R_y}{R} \quad (3-1)$$

$$R_y = R \sin \alpha \quad (3-1)$$

مثال ۱: بردار \vec{A} به بزرگی ۵ واحد با محور x زاویه‌ی 37° درجه می‌سازد.

اندازه‌ی مؤلفه‌های آن را روی محورهای x و y به دست آورید.

حل: با استفاده از رابطه‌های ۲-۱ و ۳-۱ داریم:

$$A_x = A \cos \alpha$$

$$A_x = 5 \cos 37^\circ$$

$$A_x = 5 \times 0 / 8 = 4 \text{ واحد}$$

$$A_y = A \sin \alpha$$

$$A_y = 5 \sin 37^\circ$$

$$A_y = 5 \times 0 / 6 = 3 \text{ واحد}$$

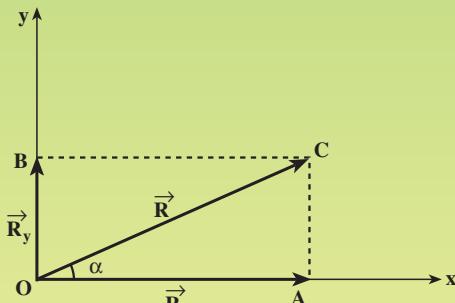
به طور وارون، با معلوم بودن اندازهٔ مؤلفه‌های یک بردار روی دو محور x و y ، می‌توان اندازه و جهت بردار را معلوم کرد. جهت هر بردار را با تعیین زاویه‌ی آن بردار با محور x مشخص می‌کنیم.

مثال ۲: بزرگی مؤلفه‌های بردار \vec{R} روی محورهای x و y مطابق شکل ۱۱-۱ به ترتیب برابر ۸ و $13/9$ واحد است. بزرگی این بردار و زاویه‌ی آن با محور x (جهت بردار \vec{R}) را تعیین کنید.

حل: با استفاده از شکل ۱۱-۱ در مثلث قائم الزاویه‌ی OAC ، داریم :

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2 \quad (4-1)$$

$$R^2 = (8)^2 + (13/9)^2 \rightarrow R = 16 \text{ واحد}$$



شکل ۱۱-۱

اگر در شکل ۱۱-۱ تانژانت زاویه‌ی α را حساب کنیم، نتیجه می‌شود :

$$\tan \alpha = \frac{R_y}{R_x} \quad (5-1)$$

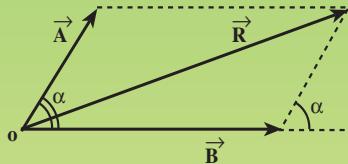
$$\tan \alpha = \frac{13/9}{8} \approx 1/73$$

$$\alpha \approx 6^\circ$$

محاسبه‌ی برایند دو بردار به روش متوازی‌الاضلاع

محاسبه‌ی برایند بردارها به روش متوازی‌الاضلاع، روش ساده‌ای است برای محاسبه‌ی اندازه‌ی برایند و نیز مشخص کردن جهت برایند دو بردار که در یک صفحه قرار دارند. این نوع محاسبه، در فیزیک کاربرد فراوان دارد.

این روش، در واقع همان روش ترسیمی (چند ضلعی) است. همان‌گونه که شکل ۱-۱۲ نشان می‌دهد، ابتدا دو بردار را از یک نقطه رسم می‌کنیم. این دو بردار را دو ضلع یک متوازی‌الاضلاع می‌گیریم و متوازی‌الاضلاع را با رسم دو ضلع دیگر آن کامل می‌کنیم. آن قطر متوازی‌الاضلاع که از محل تلاقی دو بردار می‌گذرد، نشان‌دهنده‌ی برایند دو بردار است.



شکل ۱-۱۲— برایند دو بردار، منطبق بر قطر متوازی‌الاضلاعی است که روی دو بردار ساخته می‌شود.

اگر زاویه‌ی بین دو بردار برابر α باشد، اندازه‌ی برایند از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\begin{aligned}\vec{R} &= \vec{A} + \vec{B} \\ R^2 &= A^2 + B^2 + 2A \cdot B \cdot \cos \alpha\end{aligned}\quad (۱-۱)$$

مثال ۳: برایند دو بردار به بزرگی ۳ و ۵ واحد را که با یک دیگر زاویه‌ی 60° درجه می‌سازند، محاسبه کنید.

حل: با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱ داریم:

$$R^2 = A^2 + B^2 + 2A \cdot B \cdot \cos \alpha$$

$$R^2 = 9 + 25 + 2 \times 3 \times 5 \cos 60^\circ$$

$$R^2 = 49$$

$$R = 7$$

در حالت خاصی که دو بردار \vec{A} و \vec{B} هم اندازه باشند، رابطه‌ی ۱-۱ به صورت

زیر ساده می شود.

$$A = B \rightarrow R^r = 2A^r(1 + \cos \alpha)$$

در درس ریاضی دیده اید که $1 + \cos \alpha = 2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}$ است. در نتیجه، خواهیم

داشت:

$$R^r = 2A^r \cos^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$R = A \cos \frac{\alpha}{2}$$

اکنون به مثال‌های دیگری از نیروهای الکتریکی توجه کنید.

مثال ۱-۴

سه ذرهی باردار، مطابق شکل ۱۳-۱ در سه رأس مثلث متساوی‌الاضلاعی به ضلع 6 cm ثابت شده‌اند. بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر بار q_3 را محاسبه کنید.

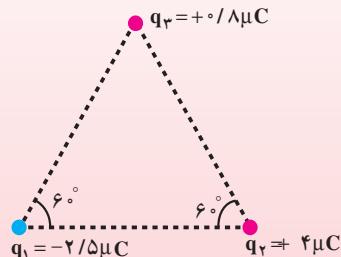
حل: نیروهای وارد بر بار q_3 و برایند این نیروها در شکل ۱۴-۱ نشان داده شده است. با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱ داریم:

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \times \frac{2/5 \times 0/8 \times 10^{-12}}{36 \times 10^{-4}}$$

ربایشی

$$F_{23} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 0/8 \times 10^{-12}}{36 \times 10^{-4}}$$

رانشی



شکل ۱-۱۳

اکنون با استفاده از رابطه‌ی ۱-۶، برایند دو نیرو را حساب می‌کیم.

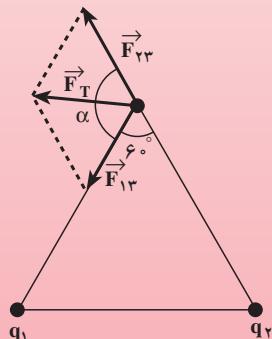
$$\vec{F}_T = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} + 2F_{13} \cdot F_{23} \cdot \cos \alpha$$

$$\Rightarrow 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$$

$$F_T = 25 + 64 + 2 \times 5 \times 8 \times \cos 120^\circ$$

$$F_T = 49 \rightarrow F_T = 7\text{ N}$$



شکل ۱-۱۴

تمرین ۱-۲

نیروهای وارد بر بارهای الکتریکی q_1 و q_2 را در مثال ۱-۴ محاسبه کنید.

رابطه‌ی ۱-۱ برای محاسبه‌ی نیروی الکتریکی بین دو ذره‌ی باردار به کار می‌رود. محاسبه‌ی نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار به چگونگی آرایش (یا توزیع) بار در دو جسم بستگی دارد و محاسبه‌ی آن نیازمند ریاضیات پیشرفته‌تری است. در این کتاب، همواره نیروهای بین دو ذره‌ی باردار را محاسبه می‌کنیم. روشن است که اگر فاصله‌ی جسم باردار از ذره‌ی باردار (یا جسم باردار دیگر) آنقدر زیاد باشد که ابعاد جسم در مقابل فاصله‌ی بین آن‌ها قابل چشم‌بودش باشد، می‌توان جسم را مانند یک ذره‌ی باردار در نظر گرفت و از رابطه‌ی ۱-۱ برای محاسبه‌ی نیروی الکتریکی استفاده کرد.

فعالیت ۱-

اکنون که با قانون کولن و محاسبه‌ی نیروی الکتریکی آشنا شده‌اید، شایسته است آزمایش‌های کولن و چگونگی کار او را بیش‌تر بشناسیم. در سال ۱۷۸۰ میلادی شارل کولن، دانشمند فرانسوی، با استفاده از وسیله‌ای که «ترازوی پیچشی» نام دارد، آزمایش‌هایی انجام داد. نتیجه‌ی آن‌ها به بیان قانون کولن منجر شد. در مورد آزمایش‌های کولن تحقیق کنید و شرح آزمایش‌ها و نتیجه‌گیری‌های او را به کلاس گزارش دهید.

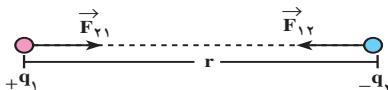


شکل ۱۵-۱- ترازوی پیچشی کولن

۱-۲- میدان الکتریکی

در بخش ۱-۱ دیدید که دو بار الکتریکی q_1 و q_2 که در فاصله‌ی r از یک دیگر واقع‌اند (شکل ۱-۱)، بر هم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. اگر دو آهنربا در فاصله‌ی کمی از یک دیگر قرار گیرند، بر هم نیرو وارد می‌کنند. زمین و

خورشید نیز با وجود آن که میلیون‌ها کیلومتر از یک دیگر دورند، بر هم نیروی جاذبه‌ی گرانشی وارد می‌کنند.

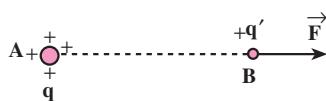


شکل ۱۶-۱ - دو بار الکتریکی از فاصله‌ی r برهم نیرو وارد می‌کنند.

فعالیت ۱-۲

- ۱- یک آونگ الکتریکی بسازید و آن را از نقطه‌ای پیاویزید.
- ۲- آونگ را به روش القای الکتریکی یا تماس با جسم باردار دیگری باردار کنید.
- ۳- به یک میله‌ی پلاستیکی (یا شیشه‌ای) به کمک مالش با پارچه پشمی (یا ابرپشمی) بار الکتریکی بدهید.
- ۴- میله را بدون تماس با آونگ از جهت‌های مختلف به آونگ تزدیک کنید و نتیجه‌ی آن‌چه را که مشاهده می‌کنید، به کلاس گزارش دهید.

فرض کنید که باردار کوچکی با بار $q' +$ مطابق شکل ۱۷-۱ در نقطه‌ی A قرار دارد. اگر ذره‌ای با بار الکتریکی $q' +$ را در نقطه‌ی B قرار دهیم، از طرف بار $q' +$ بر آن نیروی \vec{F} وارد می‌شود (می‌دانید که بار q' نیز بر بار q نیرو وارد می‌کند که واکنش نیروی \vec{F} است اما در شکل نشان داده نشده است).

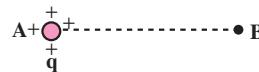


شکل ۱۷-۱



شکل ۱۸-۱

اکنون به این پرسش و نیز پاسخ آن بیندیشید: «اگر کره‌ی باردار q را از نقطه‌ی A برداریم (شکل ۱۸-۱) آیا در نقطه‌ی B بر بار' q' نیروی الکتریکی وارد می‌شود؟ پاسخ شما چیست؟ آیا قبول دارید که وجود بار q در نقطه‌ی A باعث می‌شود که بر بار' q' در نقطه‌ی B نیروی الکتریکی وارد شود؟ آیا می‌توانیم بگوییم که وقتی بار q را در نقطه‌ی A قرار می‌دهیم، در نقطه‌ی B خاصیتی ایجاد می‌شود که اگر بار q در A نباشد، این خاصیت نیز در B وجود نخواهد داشت؟ آیا وجود بار q در نقطه‌ی A، این خاصیت را فقط در نقطه‌ی B ایجاد کرده است یا اگر بار' q' را در هر نقطه‌ی دیگری در مجاورت نقطه‌ی A قرار دهیم، باز هم بر آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود؟ مثلاً در فعالیتی که انجام دادیم، اگر آونگ الکتریکی باردار را در هر نقطه‌ای مجاور میله‌ی باردار قرار دهید، آیا به آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود؟



شکل ۱۹-۱

با توجه به آن‌چه گفته شد، یک بار الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف خود، خاصیتی ایجاد می‌کند که به آن میدان الکتریکی می‌گویند. اگر یک بار الکتریکی را در نقطه‌ای از میدان الکتریکی قرار دهیم، از طرف میدان بر آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود. میدان الکتریکی به طور کمی در بخش ۱-۳ تعریف شده است.

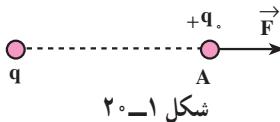
۱-۳- تعریف کمی میدان الکتریکی

میدان الکتریکی به طور کمی را به کمک نیرویی که میدان بر یک بار الکتریکی واقع در میدان وارد می‌کند، به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

نیروی وارد بر یکای بار الکتریکی مثبت را در هر نقطه، میدان الکتریکی در آن نقطه می‌نامیم.

اگر بار الکتریکی نقطه‌ای q + مطابق شکل ۱-۲۰ در میدان الکتریکی حاصل از بار q قرار گیرد، از طرف میدان حاصل از بار q بر آن نیروی \vec{F} وارد می‌شود. بر اساس تعریف بالا، میدان بار q در محل قرارگرفتن بار q + که آن را با نماد \vec{E} نشان می‌دهیم، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q_0} \quad (7-1)$$



شکل ۲۰-۱

میدان الکتریکی کمیتی برداری است و در محاسبه‌ها باید به این نکته توجه کرد. یکای میدان الکتریکی، نیوتون بر کولن ($\frac{N}{C}$) نام دارد.

مثال ۱-۵

بر بار الکتریکی $C = 2 \mu C / 2 \times 10^{-7}$ در یک نقطه از میدان بار q ، نیروی $N = 5 \times 10^{-2}$ وارد می‌شود. اندازه‌ی میدان الکتریکی را در این نقطه محاسبه کنید.

حل: از رابطه‌ی ۱-۷ می‌توان اندازه‌ی میدان الکتریکی را محاسبه کرد.

$$E = \frac{F}{q}$$

$$E = \frac{5 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-7}}$$

$$E = 2 / 5 \times 10^5 \frac{N}{C}$$

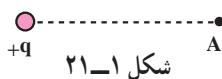
۱-۴- میدان الکتریکی حاصل از یک ذره‌ی باردار

می‌خواهیم میدان الکتریکی حاصل از بار ذره‌ای q را در نقطه‌ی A که به فاصله‌ی r از بار q است، محاسبه کنیم (شکل ۲۱-۱). برای این محاسبه از رابطه‌ی ۱-۷ استفاده می‌کنیم. اگر بار ذره‌ای q در نقطه‌ی A قرار گیرد، از طرف بار q به آن نیروی \vec{F} وارد می‌شود. با استفاده از قانون کولن، بزرگی نیروی F را محاسبه می‌کنیم و با جای‌گذاری در رابطه‌ی ۱-۷، بزرگی میدان الکتریکی بار q را در نقطه‌ی A به دست می‌آوریم.

$$F = \frac{1}{4\pi} \frac{q \cdot q}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q}$$

$$E = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^2}$$



شکل ۲۱-۱

(۸-۱)

رابطه‌ی ۱-۸ عامل‌های مؤثر بر بزرگی میدان الکتریکی حاصل از بار ذره‌ای q را مشخص

می‌کند. بنابراین رابطه، میدان با اندازه‌ی بار q نسبت مستقیم و با مجدد فاصله از آن، نسبت وارون دارد.

برای مشخص کردن جهت بردار میدان در یک نقطه – مثلاً نقطه‌ی A در شکل ۲۱–۲۱، فرض می‌کنیم که بار الکتریکی مثبتی را در آن نقطه قرار داده‌ایم. میدان در آن نقطه، در جهت نیروی وارد بر این بار فرضی خواهد بود. بنابراین، میدان الکتریکی در هر نقطه، هم جهت با نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت واقع در آن نقطه است.

مثال ۷

بزرگی میدان الکتریکی بار ذره‌ای $C = 2\mu C$ – را در نقطه‌ی M به فاصله‌ی (الف) 2 mm و (ب) 20 cm از این بار الکتریکی محاسبه کنید و بردار میدان را در این نقطه برای یک حالت رسم کنید.

حل: با استفاده از رابطه‌ی ۱–۸ اندازه‌ی میدان را در نقطه‌های خواسته شده، به دست می‌آوریم :

$$E = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{q}{r^2} \quad (\text{الف})$$

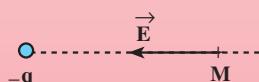
$$E_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6}}$$

$$E_1 = 4/5 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{C}} \quad (\text{ب})$$

$$E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-2}} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_2 = 4/5 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

برای نشان دادن میدان، فرض می‌کنیم بار مثبتی در نقطه‌ی M، در ۲ میلی‌متری بار q واقع باشد. چون بار q منفی است، بار مثبت فرضی را جذب می‌کند. میدان بار q در جهت همین نیروست که در شکل ۲۲–۱ نشان داده شده است.



شکل ۲۲–۱ – میدان بار منفی q در نقطه‌ی M

همان طور که مثال‌های ۱-۵ و ۱-۶ نشان می‌دهند در محاسبه‌ی اندازه‌ی میدان الکتریکی، علامت بار را در رابطه‌ی ۱-۷ یا ۱-۸ وارد نمی‌کنیم و جهت میدان در هر نقطه را به کمک جهت نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت فرضی واقع در آن نقطه، تعیین می‌کنیم.

میدان الکتریکی حاصل از مجموعه‌ی ذره‌های باردار: اگر در یک ناحیه از فضا چند ذره‌ی باردار قرار داشته باشند، در هر نقطه یک میدان الکتریکی وجود دارد. این میدان، برایند میدان‌هایی است که هر ذره‌ی باردار در غیاب سایر بارهای الکتریکی در آن نقطه ایجاد می‌کند.

مثال ۱-۷

دو بار الکتریکی ذره‌ای $C = 4\mu C$ و $C = 6\mu C$ در فاصله‌ی 8 cm از یکدیگر ثابت شده‌اند. بزرگی میدان الکتریکی را در نقطه‌های زیر به دست آورید.

الف - در وسط خط واصل دو ذره‌ی باردار،
ب - در نقطه‌ای به فاصله‌ی 2 cm از بار q_1 و 10 cm از بار q_2 و روی خط واصل دوبار.

حل: در غیاب هر یک از دو ذره، میدان حاصل از بار دیگر را محاسبه می‌کنیم.
میدان حاصل از مجموعه‌ی دوبار، برایند این دو میدان خواهد بود.

الف - اگر بار مثبتی را در نقطه‌ی A قرار دهیم، بار q_1 آن را می‌راند و بار q_2 آن را می‌رباید. بنابراین، \vec{E}_1 و \vec{E}_2 در نقطه‌ی A هم‌جهت و به سوی بار q_2 هستند
(شکل ۱-۲۳ الف و ب).

با استفاده از رابطه‌ی ۱-۸ داریم:

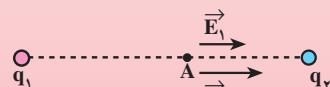
$$E = k \frac{q}{r^2}$$

$$E_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{16 \times 10^{-4}}$$

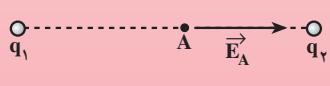
$$E_1 = 2 / 25 \times 10^7 \frac{N}{C}$$

$$E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-6}}{16 \times 10^{-4}} \frac{N}{C}$$

$$E_2 = 3 / 375 \times 10^7 \frac{N}{C}$$



الف



ب

شکل ۱-۲۳

چون \vec{E}_1 و \vec{E}_2 هم جهت‌اند، اندازه‌ی برایند آن‌ها برابر مجموع اندازه‌ی آن‌هاست.
توجه داشته باشید که در نقطه‌ی A تنها میدان \vec{E}_A وجود دارد.

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_A = E_1 + E_2$$

$$E_A = 5 / 625 \times 1.0^6 \frac{N}{C}$$

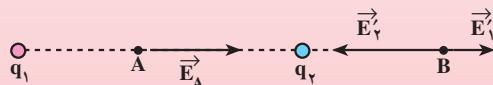
ب - اگر بار الکتریکی مثبتی در نقطه‌ی B قرار گیرد، بار q_1 آن را می‌راند و بار q_2 آن را می‌رباید. در نتیجه، \vec{E}'_1 به طرف بار q_2 و \vec{E}'_2 در خلاف جهت است (شکل ۲۴-۱ الف و ب).

$$E'_1 = 9 \times 1.0^9 \times \frac{4 \times 1.0^{-6}}{1.0^{-2}}$$

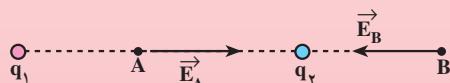
$$E'_1 = 3 / 6 \times 1.0^6 \frac{N}{C}$$

$$E'_2 = 9 \times 1.0^9 \times \frac{6 \times 1.0^{-6}}{4 \times 1.0^{-4}}$$

$$E'_2 = 1 / 35 \times 1.0^8 \frac{N}{C}$$



الف



ب

شکل ۲۴-۱

چون \vec{E}'_1 و \vec{E}'_2 در خلاف جهت یک‌دیگرند، برایند آن‌ها برابر تفاضل اندازه‌های E'_2 و E'_1 است.

$$\vec{E}_B = \vec{E}'_2 + \vec{E}'_1$$

$$E_B = E'_2 - E'_1 = 131 / 4 \times 1.0^6 \frac{N}{C}$$

۱-۵- تجسم میدان الکتریکی

میدان الکتریکی را در اطراف یک جسم باردار با خطهای نشان می‌دهیم که به آن‌ها خطهای میدان الکتریکی می‌گویند.

این خطها دارای ویژگی‌های زیرند:

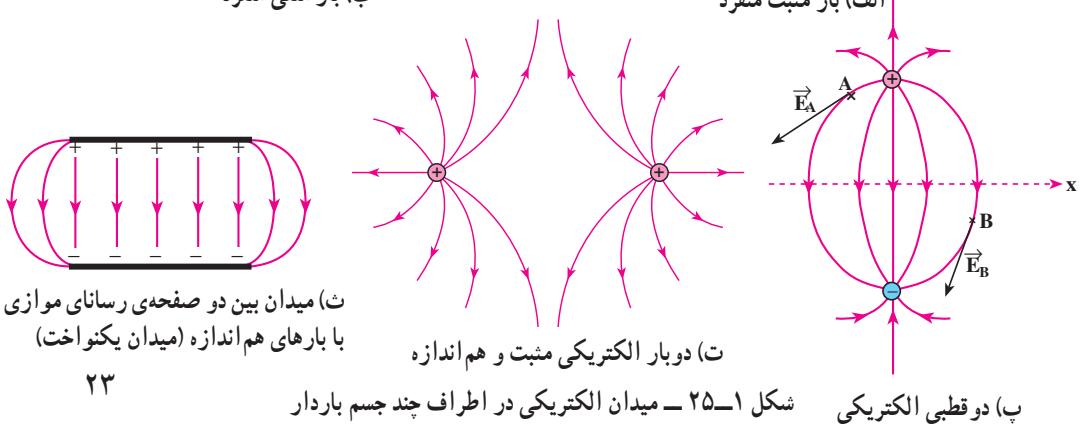
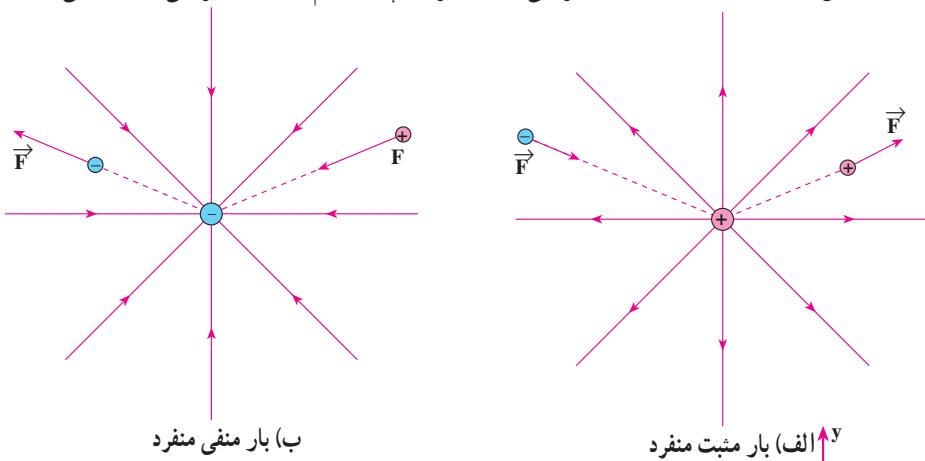
- خطهای میدان در هر نقطه، هم‌جهت با نیروی وارد بر بار مثبت واقع در آن نقطه‌اند. درنتیجه، جهت این خطها از بار مثبت رو به خارج و به سوی بار منفی است (بر بار منفی، نیرو در خلاف جهت میدان وارد می‌شود).

- خط میدان در هر نقطه، جهت میدان را در آن نقطه نشان می‌دهد و میدان در هر نقطه، برداری است مماس بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد و با آن هم جهت است.

- در هر ناحیه که میدان قوی‌تر باشد، خطهای میدان به یک‌دیگر تزدیک‌تر و فشرده‌ترند.

- خطهای میدان یک‌دیگر را قطع نمی‌کنند، یعنی از هر نقطه فقط یک خط میدان می‌گذرد. به بیان دیگر، در هر نقطه‌ی فضای فقط یک میدان الکتریکی وجود دارد که همان میدان الکتریکی برایند است.

در شکل ۲۵-۱ خطهای میدان الکتریکی را در اطراف چند جسم باردار الکتریکی مشاهده می‌کنید.



(ث) میدان بین دو صفحه‌ی رسانای موازی با بارهای هم اندازه (میدان یکواخت)

(ت) دوبار الکتریکی مثبت و هم اندازه

شکل ۲۵-۱ - میدان الکتریکی در اطراف چند جسم باردار

فعالیت ۱-۳

- ۱- میدان الکتریکی را در اطراف دو بار الکتریکی منفی و هم اندازه رسم کنید.
- ۲- با توجه به ویژگی های خط های میدان الکتریکی، خط های میدان را در اطراف دو بار الکتریکی نقطه ای مثبت q_1 و منفی q_2 با فرض $|q_1| > |q_2|$ ، رسم کنید.
- ۳- بردار میدان الکتریکی را در چند نقطه روی شکل که در مرحله ۲ رسم کرده اید، نشان دهید.
- ۴- نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت q' و نیز بار منفی $-q'$ را که روی یک خط میدان واقع اند روی شکل مرحله ۲ رسم کنید.
- ۵- با توجه به تعریف میدان الکتریکی و ویژگی خط های میدان و با رجوع به شکل ۱-۲۵ ث برای میدان الکتریکی یکنواخت، تعریفی بیان کنید.

۱-۶- نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان الکتریکی

اگر بار الکتریکی q در میدان الکتریکی \vec{E} قرار گیرد، از طرف میدان بر آن نیرو وارد می شود. این نیرو از رابطه ۱-۹ به دست می آید.

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (1-9)$$

اگر q مثبت باشد، \vec{F} و \vec{E} هم جهت اند اما اگر q منفی باشد، \vec{F} در خلاف جهت \vec{E} خواهد بود.

۱-۷- مثال

ذره ای به جرم $2 \times 10^{-14} \text{ g}$ و بار الکتریکی $2 \mu\text{C}$ را در میدان الکتریکی خارجی محاسبه کنید.

حل: با استفاده از رابطه ۱-۹ داریم:

$$F = qE$$

$$F = 2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^4$$

$$F = 8 \times 10^{-2} N$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{8 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-3}}$$

$$a = 40 m/s^2$$

مثال‌های حل شده نشان می‌دهند که میدان الکتریکی در یک نقطه، به عامل‌های مختلفی بستگی دارد. اندازه‌ی بار الکتریکی، نحوه‌ی توزیع بار الکتریکی و فاصله‌ی نقطه‌ی مورد نظر از جسم باردار، از جمله‌ی این عامل‌ها هستند.

۱-۷- توزیع بار الکتریکی در یک جسم

الف - جسم نارسانا: وقتی به یک جسم نارسانا بار الکتریکی داده می‌شود، بار در محل داده شده به جسم باقی می‌ماند و در جسم جایه‌جا نمی‌شود.

ب - جسم رسانا: بر خلاف جسم نارسانا، وقتی به یک جسم رسانا بار الکتریکی داده می‌شود، آن بار الکتریکی در محل داده شده ساکن نمی‌ماند و در جسم رسانا توزیع می‌شود. برای بی‌بردن به چگونگی توزیع بار در جسم رسانا، آزمایش ۱-۳ را انجام دهید.

آزمایش ۱-۳

هدف: نحوه‌ی توزیع بار در جسم رسانا

وسیله‌های آزمایش: ظرف فلزی دردار با پایه‌ی نارسانا (شکل ۱-۲۶ الف)، گوی فلزی، نخ، الکتروسکوپ، چسب نواری، واندوگراف و یا میله‌ی پلاستیکی و پارچه‌ی پشمی.

شرح آزمایش:

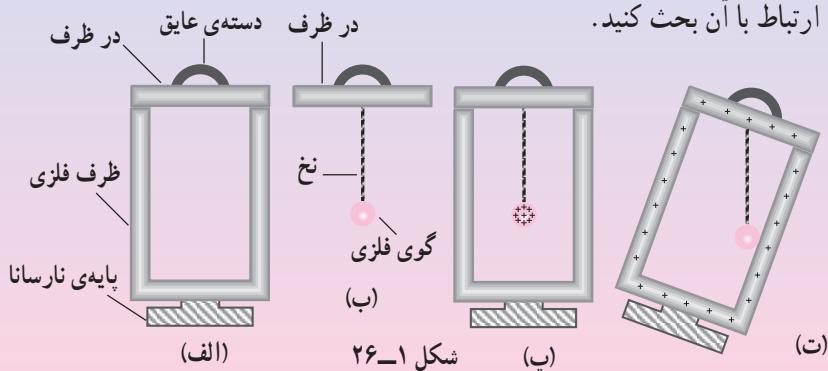
- ۱- به کمک چسب نواری یک سر نخ را به گوی فلزی و سر دیگر آن را به در ظرف وصل کنید به طوری که طول نخ باقیمانده از عمق ظرف کمتر باشد (شکل ۱-۲۶ ب).
- ۲- گوی فلزی را توسط واندوگراف یا روش القا و یا روش‌های دیگر باردار

کنید و از باردار شدن آن پس از نزدیک کردن به کلاهک یک الکتروسکوپ بدون بار مطمئن شوید (در اینجا بار گوی فلزی را مثبت فرض کرده‌ایم).

۳- بدون آن که گوی باردار با دست شما یا بدنی ظرف تماس یابد در ظرف را به آرامی بر روی ظرف قرار دهید (شکل ۲۶-۱ پ).

۴- پایه‌ی نارسانای ظرف را بگیرید و آن را به نحوی کج کنید تا گوی فلزی باردار برای لحظه‌ای کوتاه با درون ظرف تماس یابد (شکل ۲۶-۱ ت).

۵- در ظرف را برداشته و گلوله و همچنین ظرف را دوباره به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنید. نتیجه‌ی مشاهده‌ی خود را به کلاس گزارش کرده و در ارتباط با آن بحث کنید.



شکل ۲۶-۱ پ

آزمایش‌هایی مانند آن‌چه شما انجام دادید، نشان می‌دهد که بار الکتریکی درون جسم رسانا باقی نمی‌ماند. تمام بار الکتریکی داده شده به جسم رسانا به سطح خارجی آن می‌رود و در آن‌جا توزیع می‌شود.

فعالیت ۱-۴

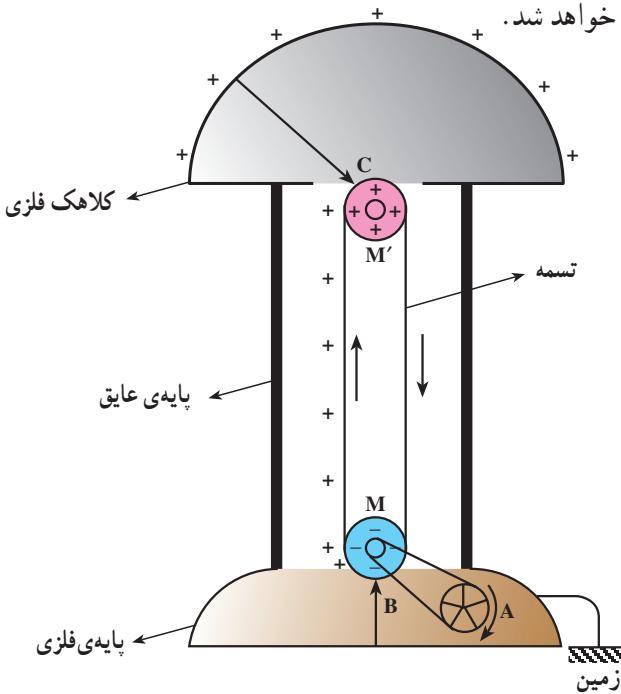
در جسم رسانا، الکترون‌های آزاد می‌توانند جای‌جا شوند. با بحث در گروه خود برای پرسش زیر، پاسخ مناسبی تهیه کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.

با توجه به این که در جسم جامد بارهای الکتریکی مثبت جای‌جا نمی‌شوند، در این باره توضیح دهید: وقتی به یک جسم رسانا بار الکتریکی مثبت یا منفی داده می‌شود، این بارهای الکتریکی چگونه در جسم جای‌جا شده و به سطح خارجی آن می‌روند؟

مولد وان دوگراف

مولد وان دوگراف دستگاهی است که بار الکتریکی روی کلاهک فلزی آن انباسته می‌شود. اگر یک جسم رسانا با کلاهک این دستگاه تماس پیدا کند، دارای بار الکتریکی می‌شود.

در نمونه‌ی ساده‌ی مولد وان دوگراف، غلتک M توسط موتور A می‌چرخد و تسمه روی دو غلتک چرخانده می‌شود. غلتک M از جنس پلی‌تن و M' از جنس پرسپکس است. شانه‌ی فلزی B به پایه‌ی عایق فلزی متصل است. در اثر مالش تسمه با غلتک‌ها، غلتک M بار منفی و غلتک M' بار مثبت پیدا می‌کند. غلتک M که بار منفی دارد، در شانه‌ی فلزی B (که به زمین اتصال دارد)، بار مثبت القا می‌کند. بار مثبت توسط شانه‌ی B روی سطح بیرونی تسمه قرار داده می‌شود. این بارهای مثبت، توسط تسمه که عایق است به کمک شانه‌ی فلزی C به کلاهک منتقل شده و به سطح خارجی کلاهک می‌روند. به این ترتیب، بار الکتریکی مثبت روی سطح خارجی کلاهک انباسته می‌شود. اگر جای غلتک‌های M و M' با هم عوض شود، بار منفی در سطح خارجی کلاهک انباسته خواهد شد.



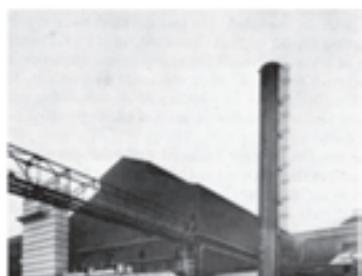
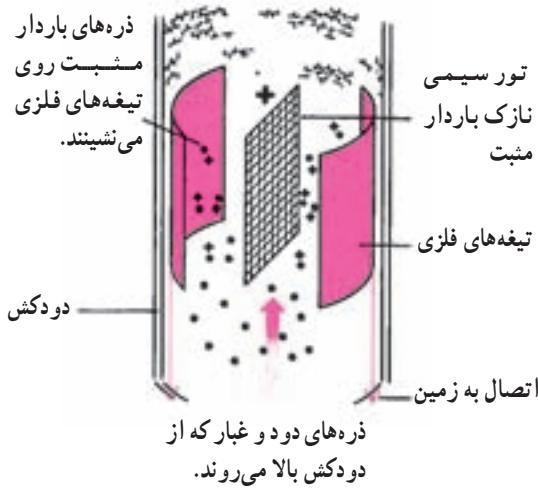
شکل ۱-۲۷

رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی

رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی، دود و غبار را از گازهای زایدی که از دودکش کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها بالا می‌رود، جدا می‌سازد. شکل زیر چگونگی کار یک رسوب دهنده را نشان می‌دهد. توری سیمی را به مقدار زیاد باردار می‌کنند، به‌گونه‌ای که تخلیه‌ی الکتریکی پیوسته‌ای بین توری و تیغه‌های فلزی متصل به زمین روی دهد. این تخلیه، جریان پیوسته‌ای از یونها را به همراه دارد که خود را به ذره‌های غبار در گازی که از دودکش بالا می‌رود، متصل می‌کنند.

سپس ذره‌های باردار غبار از تور سیمی دفع شده و به سوی تیغه‌های متصل به زمین رانده می‌شوند و در آنجا رسوب می‌کنند. پس از مدتی این تیغه‌ها را با زدن ضربه می‌تکانند تا ذره‌های غبار و دود از دودکش پایین بریزد و در آنجا این ذره‌ها را جمع می‌کنند.

دودکش این کارخانه در هر دو عکس مورد بهره‌برداری است ولی در عکس پایین دستگاه رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی کار می‌کند.



شکل ۲۸-۱

چگالی سطحی بار الکتریکی: دیدیم که بار الکتریکی داده شده به یک جسم رسانا، در سطح خارجی آن توزیع می‌شود. بنا به تعریف، بار الکتریکی موجود در واحد سطح جسم را چگالی سطحی بار الکتریکی می‌نامند.

اگر بار الکتریکی جسم برابر q و مساحت سطحی که بار روی آن توزیع شده برابر A باشد،

چگالی سطحی بار – که با نماد σ (سیگما) نشان داده می‌شود – از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\sigma = \frac{q}{A} \quad (1-1)$$

در S.I. بار الکتریکی بر حسب کولن و مساحت بر حسب مترمربع است. در نتیجه، یکای

چگالی سطحی بار، کولن بر مترمربع خواهد بود.

مثال ۱-۹

الف – به یک کره‌ی رسانا به قطر 2 cm بار الکتریکی $125\mu\text{C}$ داده شده است.

چگالی سطحی بار کره را حساب کنید.

ب – اگر همین بار به کره‌ای به قطر 2 m داده شود، چگالی سطحی بار آن

چه قدر می‌شود؟

حل:

الف – مساحت سطح خارجی کره‌ای به شعاع R از رابطه‌ی $A = 4\pi R^2$ به دست

می‌آید.

$$A = 4\pi R^2$$

$$R = \frac{d}{2} = 1\text{ cm} = 10^{-2}\text{ m}$$

$$A = 4\pi \times 10^{-4}\text{ m}^2 = 1/256 \times 10^{-3}\text{ m}^2$$

با استفاده از رابطه‌ی $1-1$ داریم:

$$\sigma = \frac{q}{A}$$

$$\sigma = \frac{125 \times 10^{-9}}{1/256 \times 10^{-3}} \approx 10^{-1} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} = 10^5 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}^2}$$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$$

ب –

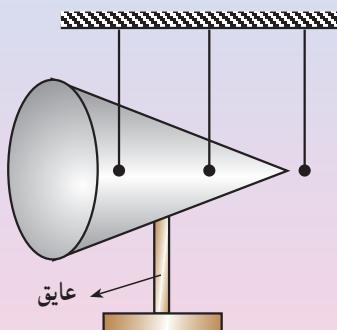
$$\frac{\sigma_2}{10^5} = \left(\frac{1}{100}\right)^2$$

$$\sigma_2 = 10^5 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}^2}$$

آزمایش ۱-

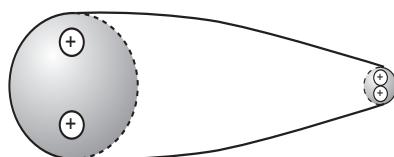
وسیله‌های آزمایش: مولد واندوگراف یا دستگاه مشابه دیگر، مخروط فلزی روی پایه‌ی نارسانا، چند آونگ الکتریکی.

شرح آزمایش: مطابق شکل زیر، چند آونگ الکتریکی را در اطراف مخروط فلزی و در تماس با آن قرار دهید. با اتصال واندوگراف به مخروط، به آن بار الکتریکی بدهید. انحراف آونگ‌ها را مشاهده کرده و با هم مقایسه کنید.



شکل ۱-۲۹

در جسمی مانند کره که سطح خارجی آن متقارن است، چگالی سطحی بار در همه جای آن یکسان است اما در جسم‌هایی که سطح خارجی متقارن ندارند، چگالی سطحی بار در همه جای سطح خارجی یکسان نیست. تجربه نشان می‌دهد که در مکان‌های برجسته و نوک‌تیز جسم رسانا، چگالی سطحی بار از سایر مکان‌های دیگر جسم بیشتر است. یعنی، فاصله‌ی بارهای داده شده به جسم، در مکان‌های نوک‌تیز کمتر از فاصله‌ی آن‌ها در مکان‌های پهن است. شکل ۱-۳۰ به گونه‌ای طرح وار نشان دهنده‌ی این مطلب است.



شکل ۱-۳۰

۱-۸- انرژی پتانسیل الکتریکی

در کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه با انرژی پتانسیل گرانشی آشنایی شدید دیدید که با صرف انرژی و انجام کار، می‌توان جسمی به جرم m را از سطح زمین تا ارتفاع h بالا برد. انرژی ای که صرف بالا بردن جسم (با سرعت ثابت) شده است، به صورت انرژی پتانسیل گرانشی ($U = mgh$) در آن ذخیره می‌شود. با انرژی پتانسیل کشسانی نیز آشنایی شدید دیدید که وقتی فری را به آرامی فشرده می‌کنیم یا می‌کشیم، کار انجام شده به صورت انرژی پتانسیل کشسانی در فنر ذخیره می‌شود. در اینجا می‌خواهیم با انرژی پتانسیل الکتریکی بیشتر آشنا شویم.

در بخش ۱-۱ دیدید که دو ذره‌ی باردار بر یک دیگر نیرو وارد می‌کنند. همان‌طور که در کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه دیدیم، وقتی دو ذره‌ی باردار را که بار هم نام دارند با سرعت ثابت به یک دیگر نزدیک می‌کنیم، برای غلبه بر نیروی رانشی آن‌ها باید کار انجام دهیم و یا اگر بخواهیم دو ذره‌ی باردار را که بار غیرهم‌نام دارند با سرعت ثابت از هم دور کنیم، باز هم باید کار انجام دهیم. کار انجام شده به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در بارهای الکتریکی ذخیره می‌شود.

مثال ۱-۱

ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت q را با سرعت ثابت در میدان الکتریکی یکنواخت

(یعنی میدانی که باردار میدان در همه جای آن یکسان است) \vec{E} ، در خلاف جهت میدان و به موازات خط‌های میدان به اندازه‌ی d جابه‌جا می‌کنیم. برای این جابه‌جایی، چه مقدار کار باید انجام دهیم؟

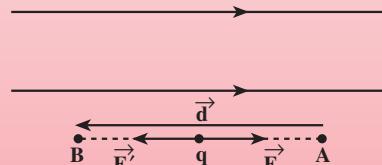
حل: میدان الکتریکی بر بار مثبت q ، نیرویی برابر $F = qE$ و در جهت میدان وارد می‌کند. برای آن‌که ذره‌ی q را با سرعت ثابت در خلاف جهت میدان جابه‌جا کنیم، باید به آن نیرویی برابر $F' = qE'$ و در خلاف جهت میدان – یعنی در جهت جابه‌جایی – وارد کنیم (شکل ۱-۳۱). بنابراین، زاویه‌ی بین نیرویی که ما وارد می‌کنیم (یعنی نیروی \vec{F}') و

جابه‌جایی (\vec{d}) برابر صفر است. کاری که ما انجام می‌دهیم، برابر است با:

$$W = F' \cdot d \cdot \cos\alpha$$

$$W = q \cdot E \cdot d \cdot \cos(0)$$

$$W = q \cdot E \cdot d$$



شکل ۱-۳۱

در اینجا، کاری که ما انجام می‌دهیم مثبت است و انرژی مصرفی ما به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی، در بار الکتریکی q ذخیره می‌شود. هرچه اندازه‌ی جابه‌جایی بیشتر باشد، کار و انرژی مصرفی ما بیشتر می‌شود و در نتیجه، افزایش انرژی پتانسیل الکتریکی بار q ، بیشتر می‌شود. درست مانند وقتی که یک جسم را روی زمین، از یک نقطه به نقطه‌ی بالاتری می‌بریم و انرژی پتانسیل گرانشی آن افزایش می‌یابد.

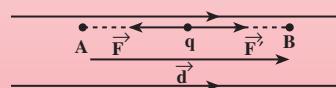
اگر بار الکتریکی q را در نقطه‌ی B (شکل ۳۲-۱) رها کنیم، در جهت خط‌های میدان به حرکت درمی‌آید و انرژی پتانسیل الکتریکی آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. مانند وقتی که یک جسم را از نقطه‌ی بالای زمین رها می‌کنیم و جسم به پایین حرکت می‌کند. در این حالت، انرژی پتانسیل گرانشی آن کاهش می‌یابد و به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود.

مثال ۱-۱

بار الکتریکی منفی q را در میدان الکتریکی یکنواختی به بزرگی E با سرعت ثابت و در جهت میدان به اندازه‌ی d جابه‌جا می‌کنیم. کاری را که در این جابه‌جایی انجام می‌شود، محاسبه کنید.

حل: میدان الکتریکی، نیرویی به اندازه‌ی $F = q \cdot E$ در خلاف جهت میدان به بار الکتریکی منفی وارد می‌کند. در نتیجه، برای جابه‌جایی بار q با سرعت ثابت بايد نیروی $E' = F = q \cdot E$ در جهت میدان، یعنی در جهت جابه‌جایی، به آن وارد کنیم (شکل ۳۲-۱). کار انجام شده توسط ما در این جابه‌جایی برابر است با :

$$W = F' \cdot d \cos \alpha \rightarrow W = q \cdot E \cdot d$$



شکل ۳۲-۱

در این مثال نیز کار انجام شده توسط ما مثبت است و انرژی مصرفی به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در بار q ذخیره می‌شود. اگر بار q را رها کنیم، در خلاف جهت میدان شروع به حرکت می‌کند. در این حال، انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد و به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. از مثال‌های ۱۰-۱ و ۱۱-۱ چنین نتیجه می‌گیریم که تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک بار الکتریکی وقتی آن را در یک میدان الکتریکی جابه‌جا می‌کنیم، برابر انرژی‌ای است که برای جابه‌جایی

آن بار الکتریکی صرف می‌شود.

$$\Delta U = W \quad (11-1)$$

اگر کاری که ما برای جابه‌جایی بار الکتریکی (با سرعت ثابت) انجام می‌دهیم مثبت باشد $W > 0$ ، انرژی پتانسیل بار، افزایش می‌یابد؛ یعنی، $\Delta U > 0$ و $U_2 > U_1$ می‌شود. در صورتی که کار انجام شده توسط ما منفی باشد ($W < 0$)، انرژی پتانسیل بار الکتریکی کاهش می‌یابد؛ یعنی، $\Delta U < 0$ و $U_2 < U_1$ است.

۱-۹- اختلاف پتانسیل الکتریکی

در بخش ۱-۸ دیدید که بار الکتریکی در میدان الکتریکی، دارای انرژی پتانسیل الکتریکی است. در یک نقطه‌ی میدان، اندازه‌ی انرژی پتانسیل الکتریکی باری واقع در آن نقطه، به اندازه‌ی بار الکتریکی بستگی دارد. هرچه اندازه‌ی بار الکتریکی بیشتر باشد، انرژی پتانسیل الکتریکی آن نیز بیشتر می‌شود. در مبحث الکتریسیته، معمولاً به‌غیر از انرژی پتانسیل، مفهوم دیگری نیز تعریف می‌شود که کاربرد عملی آن بیشتر است و به آن پتانسیل الکتریکی می‌گویند. با این کمیت در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه آشنا شدید و دیدید که اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه عامل شارش بار الکتریکی بین آن دو نقطه است. هم‌چنین، در همان کتاب دیدید که اگر دو ظرف آب به یک‌دیگر مربوط شوند، آب از ظرفی که انرژی پتانسیل گرانشی یکای جرم آن بیشتر است، به ظرف دیگر شارش می‌کند. در الکتریسیته نیز عامل شارش بار الکتریکی به کمک اختلاف انرژی پتانسیل الکتریکی یکای بار در دو نقطه به صورت زیر تعریف می‌شود :

اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه، برابر تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یکای بار الکتریکی مثبت است، وقتی یکای بار از نقطه‌ی اول تا نقطه‌ی دوم جابجا می‌شود. بنابراین، اگر انرژی پتانسیل الکتریکی بار مثبت q در یک نقطه‌ی میدان برابر U_1 و در نقطه‌ی دیگر برابر U_2 باشد، اختلاف پتانسیل الکتریکی بین این دو نقطه، که با نماد ΔV نشان داده می‌شود، از رابطه‌ی ۱۲-۱ به دست می‌آید :

$$\Delta V = V_2 - V_1 \quad \Delta U = U_2 - U_1$$

با توجه به تعریف اختلاف پتانسیل الکتریکی، داریم :

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} \quad (12-1)$$

در این رابطه، U بر حسب ژول (J)، q بر حسب کولن (C) و V بر حسب ولت (V) است.

در بخش ۸-۱ دیدید که اگر بار الکتریکی مثبت در جهت میدان الکتریکی حرکت کند، انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد. تغییر پتانسیل الکتریکی به تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بستگی دارد (رابطه‌ی ۱۲-۱)؛ بنابراین، نتیجه می‌گیریم که هرگاه بار الکتریکی مثبت در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود، از پتانسیل الکتریکی بیشتر به پتانسیل الکتریکی کمتر رفته است. شما با انواع پیل (قوه) که در وسیله‌های الکتریکی نظری چراغ قوه یا رادیو از آن‌ها استفاده می‌شود و نیز با باتری خودرو آشنایی دارید. پیل‌ها معمولاً $1/5$ ولتی، $4/5$ ولتی یا 9 ولتی‌اند. باتری خودروهای سواری معمولاً 12 ولتی و باتری کامیون‌ها 24 ولتی یا بیشتراند. هر پیل یا باتری دوپایانه دارد که یکی مثبت و دیگری منفی است. وقتی می‌گوییم باتری خودرو 12 ولت است، یعنی اختلاف پتانسیل الکتریکی بین پایانه‌های منفی و مثبت آن برابر 12 ولت است. اگر پتانسیل پایانه‌ی منفی را با V_- و پتانسیل پایانه‌ی مثبت را با V_+ نشان دهیم، داریم:

$$\Delta V = V_+ - V_- = 12V$$

$$V_+ = 12 + V_-$$

بنابراین، پتانسیل پایانه‌ی مثبت به اندازه‌ی 12 ولت از پتانسیل پایانه‌ی منفی آن بیشتر است. مثلاً اگر پتانسیل پایانه‌ی منفی را برابر $-4V$ یا $+4V$ فرض کنیم، پتانسیل پایانه‌ی مثبت به ترتیب برابر $+8V$ یا $+16V$ خواهد شد. ممکن است پتانسیل پایانه‌ی منفی را برابر صفر بگیریم، در این صورت، پتانسیل پایانه‌ی مثبت برابر $+12V$ می‌شود. معمولاً (به خصوص در مهندسی برق) پتانسیل زمین را برابر صفر می‌گیرند و پتانسیل نقطه‌های دیگر را نسبت به زمین می‌سنجدند. در این صورت، پتانسیل هر جسم رسانا که به زمین وصل شود، برابر صفر می‌شود. مثلاً اگر پایانه‌ی منفی باتری را به زمین وصل کنیم، پتانسیل پایانه‌ی مثبت آن برابر $+12$ ولت می‌شود. در هر حال، نکته‌ی مهم، اختلاف پتانسیل بین دو نقطه است که در محاسبه‌ها وارد می‌شود.

تمرین ۱-۳

اگر پایانه‌ی مثبت یک باتری 12 ولتی را به زمین وصل کنیم، پتانسیل پایانه‌ی منفی آن چند ولت خواهد شد؟

مثال ۱-۱۲

اختلاف پتانسیل الکتریکی پایانه‌های باتری یک خودرو برابر $12V$ است. اگر

بار الکتریکی $+1/5$ کولن از پایانه‌ی مثبت تا منفی با تری جایه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چه اندازه و چگونه تغییر می‌کند؟

حل: با استفاده از رابطه‌ی $-12 = 1/5 \times 18J$ داریم:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$$

$$\Delta U = q \cdot \Delta V = q \cdot (V_- - V_+)$$

$$\Delta U = 1/5 \times (-12) = -18J$$

بنابر این، انرژی پتانسیل الکتریکی این بار به اندازه‌ی $18J$ کاهش یافته است.

تمرین ۱-۴

اگر بار الکتریکی جایه‌جا شده در مثال ۱-۱ منفی باشد، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چه اندازه و چگونه تغییر می‌کند؟

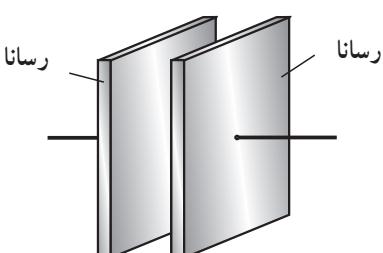
۱-۱- خازن

خازن یک قطعه‌ی الکتریکی است که می‌تواند مقداری بار الکتریکی و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند و هر زمان که لازم باشد، آن را در مدار تخلیه کند. هر خازن از دو رسانا که به یک دیگر اتصال الکتریکی ندارند، تشکیل می‌شود.

خازن را به شکل‌های مختلف و برای مصرف‌های متفاوتی می‌سازند. در مدار لامپ‌های مهتابی (فلوئورسنت)، بلندگو، دلکوی ماشین، رادیو، تلویزیون، رایانه و ... از خازن استفاده می‌شود. برای آشنا شدن با چگونگی عمل خازن در مدار، ساده‌ترین شکل خازن را بررسی می‌کیم. به این خازن،

خازن تخت یا مسطح گفته می‌شود. رساناهای خازن

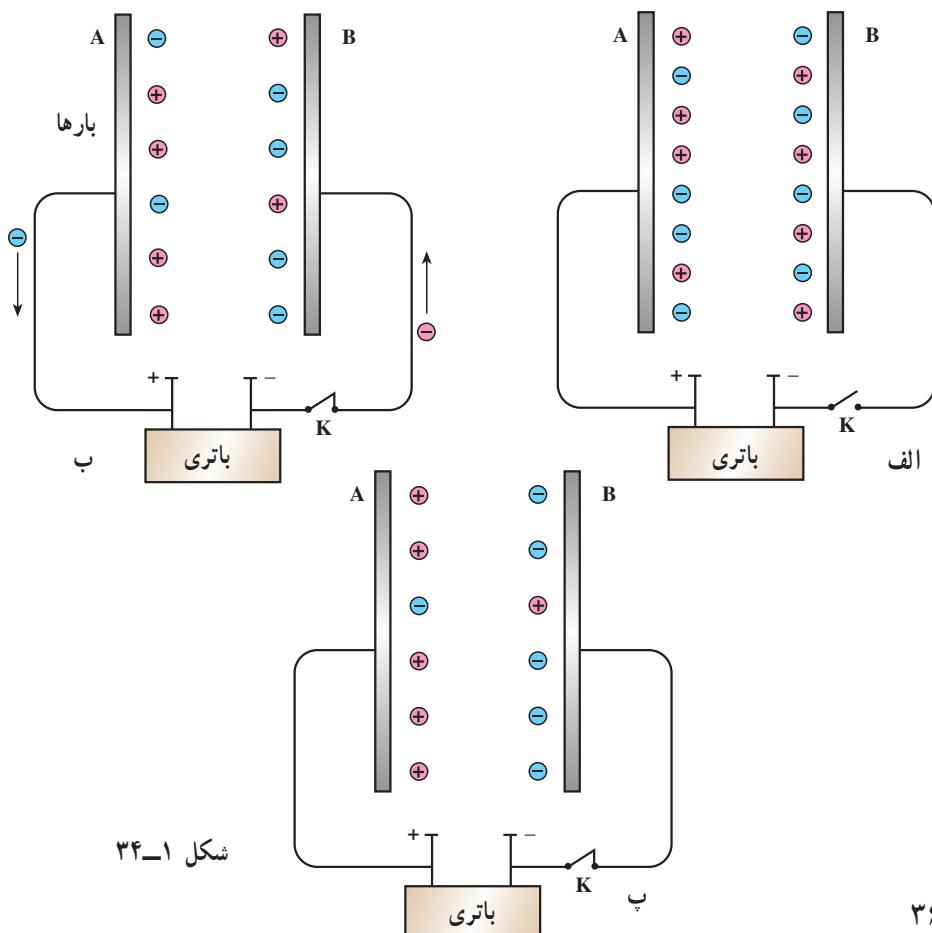
تخت، دو صفحه‌ی فلزی موازی یک‌دیگرند. به همین دلیل به این خازن، خازن با صفحه‌های موازی نیز گفته می‌شود. خازن تخت را در مدارها با نماد «—||—» نشان می‌دهیم.



شکل ۱-۳۳- خازن تخت

ذخیره‌ی بارالکتریکی در خازن: وقتی به یک خازن مقداری بارالکتریکی داده شود، می‌گوییم در خازن بارالکتریکی ذخیره شده است. برای ذخیره‌ی بارالکتریکی در خازن، به مولدی مانند یک باتری نیاز است. ابتدا دو صفحه‌ی خازن را مطابق شکل ۳۴-۱ الف با سیم‌های رابط و یک کلید به پایانه‌های مولد وصل می‌کنیم. با بستن کلید، باتری بارالکتریکی « $-q$ » را روی صفحه‌ی متصل به پایانه منفی انساشته می‌کند. بار « $-q$ »، بارالکتریکی « $+q$ » را روی صفحه‌ی مقابل القا می‌کند. بارهای منفی رانده شده از این صفحه، به مولد برمی‌گردند. برای روشن شدن موضوع به سازو کار ذخیره‌ی بار در خازن می‌پردازیم.

همان‌گونه که در شکل ۳۴-۱ الف به صورت طرح وار نشان داده شده است، در هر یک از صفحه‌های خازن، بارهای مثبت و منفی وجود دارد. وقتی کلید (K) را وصل می‌کنیم، به علت وجود اختلاف پتانسیل الکتریکی بین هر پایانه، با صفحه‌ی رسانای متصل به آن، بارهای الکتریکی شروع به جابه‌جا شدن می‌کنند (شکل ۳۴-۱ ب). چون در رساناهای فلزی الکترون‌های آزاد می‌توانند جابه‌جا



شوند، باتری با مصرف کردن انرژی هر دو صفحه را باردار می‌کند. از پایانه‌ی منفی، تعدادی الکترون به صفحه‌ی B منتقل می‌شود؛ در حالی که پایانه‌ی مثبت باتری از صفحه‌ی A الکترون می‌گیرد. جابه‌جایی بارهای الکتریکی آن قدر ادامه می‌یابد تا پتانسیل الکتریکی هر یک از صفحه‌های خازن با پتانسیل پایانه‌ی متصل به آن برابر شود. به این ترتیب، اختلاف پتانسیل بین دو صفحه‌ی خازن (که به آن اختلاف پتانسیل دو سر خازن می‌گوییم) با اختلاف پتانسیل بین پایانه‌های باتری برابر می‌شود (شکل ۳۴-۱ پ).

$$\begin{aligned} V_A &= V_+ \quad V_B = V_- \\ V_A - V_B &= V_+ - V_- \end{aligned} \quad (13-1)$$

در نتیجه، هر یک از صفحه‌های خازن دارای بار الکتریکی می‌شود. روی صفحه‌ی A بار q^+ و روی صفحه‌ی B، بار q^- اباشته می‌شود. در این حالت، می‌گوییم که بار الکتریکی q در خازن ذخیره شده است. در واقع، باتری با صرف انرژی، بار q را در خازن ذخیره کرده است. انرژی‌ای که باتری مصرف کرده، به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در خازن ذخیره شده است. اکنون، خازن دارای بار الکتریکی و انرژی است.

۱۱-۱ ظرفیت خازن

آزمایش نشان می‌دهد که هرچه اختلاف پتانسیل بین پایانه‌های مولد بیشتر باشد، بار ذخیره شده در خازن نیز بیشتر می‌شود. به عبارتی نسبت بار الکتریکی خازن (q) به اختلاف پتانسیل بین دو صفحه‌ی آن (V)، یعنی نسبت $\frac{q}{V}$ ، در آزمایش‌های مختلف ثابت می‌ماند. این نسبت را که به اندازه‌ی بار الکتریکی خازن و نیز به اختلاف پتانسیل دو سر آن بستگی ندارد، با نماد «C» نشان می‌دهیم و به آن ظرفیت خازن می‌گوییم. بنابراین، ظرفیت خازن برابر نسبت بار ذخیره شده در آن به اختلاف پتانسیل بین دو صفحه‌ی آن است.

$$C = \frac{q}{V} \quad (14-1)$$

به پاس خدمات مایکل فارادی، داشمند انگلیسی، یکای ظرفیت فاراد نامیده شده است. در رابطه‌ی ۱۴-۱ بار الکتریکی بر حسب کولن، اختلاف پتانسیل بر حسب ولت و ظرفیت بر حسب فاراد (F) است. فاراد یکای بسیار بزرگی است و ظرفیت خازن‌های تحت از حدود چند میکروفاراد تجاوز نمی‌کند.

مثال ۱-۱۳

صفحه‌های خازن تختی را به پایانه‌های مولدی به اختلاف پتانسیل ۲۴۷ وصل می‌کنیم. اگر بار $20\mu C$ روی هر صفحه‌ی خازن ذخیره شود، ظرفیت خازن را محاسبه کنید. اگر این خازن را به اختلاف پتانسیل ۳۶ ولت وصل کنیم، بار الکتریکی ذخیره شده در آن چه اندازه می‌شود؟

حل: با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱ داریم:

$$C = \frac{q}{V}$$

$$C = \frac{1/2 \times 10^{-4}}{24}$$

با استفاده از این رابطه، داریم:

$$C = 5 \times 10^{-6} F = 5 \mu F$$

رابطه‌ی ۱-۱ را می‌توان به صورت $V = q/C$ نوشت. با استفاده از این

$$q = 5 \times 36 = 180 \mu C$$

رابطه، داریم:

۱-۱۲- عامل‌های مؤثر بر ظرفیت خازن تخت

ظرفیت خازن به بار الکتریکی خازن و اختلاف پتانسیل دو سر آن بستگی ندارد. ظرفیت خازن تخت از مشخصات ساختمانی خازن است و به عامل‌های زیر بستگی دارد.

۱- با مساحت سطح مشترک صفحه‌های خازن که رو به روی یک‌دیگر قرار دارند، نسبت مستقیم دارد.

$$C \propto A$$

۲- با فاصله‌ی دو صفحه از یک‌دیگر نسبت وارون دارد.

$$C \propto \frac{1}{d}$$

اگر بین دو صفحه‌ی خازن خلاً باشد، ظرفیت خازن تخت از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$C \propto \frac{A}{d} \quad (15-1)$$

در رابطه‌ی ۱۵-۱، ϵ ضریب گذردهی الکتریکی خلاً است. در این رابطه، A بر حسب مترمربع، d بر حسب متر و C بر حسب فاراد (F) است.

اگر یک دیالکتریک (نارسانا) مانند شیشه یا پارافین فضای بین دو صفحه‌ی خازن تختی را پُر کند، ظرفیت خازن افزایش می‌یابد. در این صورت، ظرفیت خازن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$C = k\epsilon_r \frac{A}{d} \quad (16-1)$$

در رابطه‌ی ۱۶-۱، k ضریبی بدون یکاست که به آن ثابت دیالکتریک گفته می‌شود. ثابت دیالکتریک به جنس دیالکتریک بستگی دارد. اگر بین دو صفحه خلاً باشد، $\epsilon_r = 1$ است. k برای سایر دیالکتریک‌ها بزرگ‌تر از یک است ($k > 1$). ثابت دیالکتریک برخی از ماده‌ها در جدول ۱-۱ آورده شده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود ثابت دیالکتریک‌ها تقریباً برابر ۱ است.

جدول ۱-۱— ثابت دیالکتریک دیالکتریک‌های متداول

ثابت دیالکتریک	دیالکتریک
$6 - 1^{\circ}$	دیالکتریک‌های جامد شیشه
$5/6 - 6/6$	میکا
$2/1 - 2/3$	کاغذ پارافینی
$2/1 - 2/5$	پارافین (در 20°C)
25	دیالکتریک‌های مایع الکل
$2 - 2/2$	روغن
$8^{\circ} - 83$	آب
$1/00097$	دیالکتریک‌های گازی دی اکسید کربن
$1/00060$	هوا
$1/00026$	هیدروژن

مثال ۱۴-

هر یک از صفحه‌های خازن تختی، به شکل مستطیلی به طول 60 cm و عرض 20 cm است که بین آن‌ها از دیالکتریکی به ضخامت $1/5\text{ mm}$ و ثابت دیالکتریک

$$10 \text{ پُرس} \text{ است. ظرفیت این خازن را محاسبه کنید. } C = k \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

حل: با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱۶ داریم:

$$C = k \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$C = 10 \times 9 \times 10^{-12} \times \frac{20 \times 60 \times 10^{-4}}{1/5 \times 10^{-3}}$$

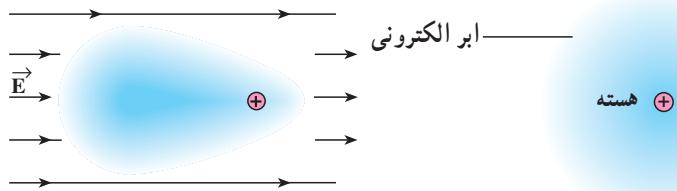
$$C = 7/2 \times 10^{-9} \text{ F} = 7/2 \text{ nF}$$

فروشکست

دیدیم که اگر اختلاف پتانسیل دو سر خازن را افزایش دهیم، بار ذخیره شده در خازن نیز افزایش می‌یابد. آزمایش نشان می‌دهد که اگر بار الکتریکی خازن از مقدار معینی بیشتر شود، یک میدان الکتریکی بسیار قوی بین دو صفحه ایجاد می‌شود. این میدان الکتریکی باعث می‌شود که دیالکتریک بین دو صفحه به طور موقت رسانا شود. در نتیجه، با ایجاد جرقه بین دو صفحه، خازن تخلیه می‌شود. این پدیده را فروشکست دیالکتریک می‌نامند. پدیده‌ی فروشکست باعث تغییر ماهیت یا سوراخ شدن دیالکتریک جامد و سوختن خازن می‌شود.

بررسی میکروسکوپیک نقش دیالکتریک: در بخش ۱۲-۱ دیدیم که فراردادن دیالکتریک بین صفحه‌های یک خازن تخت، باعث افزایش ظرفیت آن می‌شود. اما دیالکتریک چگونه ظرفیت خازن را افزایش می‌دهد؟

وقتی یک دیالکتریک در میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، تأثیر میدان الکتریکی بر اتم باعث می‌شود که ابر الکترونی در خلاف جهت میدان و هسته در جهت میدان جابه‌جا شوند (چرا؟). در نتیجه، مرکز مؤثر بار مثبت و منفی از هم جدا می‌شوند. در این حالت، می‌گوییم که اتم در میدان الکتریکی قطبیده شده است.

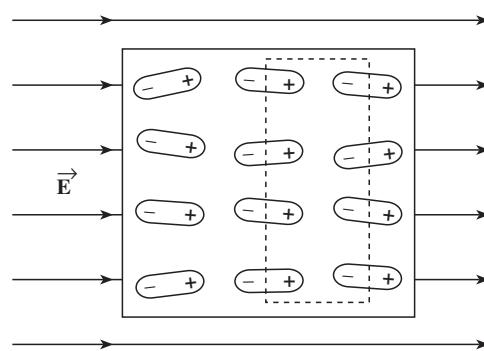


الف - در غیاب میدان الکتریکی، مرکز مؤثر بارهای مثبت و منفی از هم جدا شده‌اند.

ب - در حضور میدان الکتریکی، مرکز مؤثر بارهای مثبت و منفی از هم جدا شده‌اند.

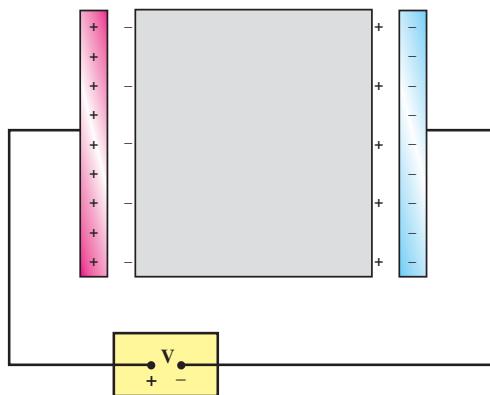
شکل ۱-۳۵

در شکل ۱-۳۵ الف - یک اتم در غیاب میدان الکتریکی و ب - همان اتم در حضور میدان الکتریکی \vec{E} به طور طرح وار نشان داده شده است. مولکول‌های دیالکتریک‌ها در میدان الکتریکی قطبیده می‌شوند.
همان‌طور که در شکل ۱-۳۶ نشان داده شده است، درون دیالکتریک، بارهای الکتریکی یک دیگر را خشی می‌کنند.



شکل ۱-۳۶ - دیالکتریک در میدان الکتریکی

ولی در مجاورت صفحه‌های خازن، در سطح دیالکتریک بارهای غیر همنام با بار صفحه‌ها ایجاد می‌شود (شکل ۳۷-۱). نیروی رباءشی بین این بارهای الکتریکی باعث می‌شود که با ولتاژ ثابت، بار خازن نسبت به وقتی که دیالکتریک ندارد، افزایش یابد و این به معنای افزایش ظرفیت خازن است.



شکل ۳۷-۱

۱۳-۱ انرژی خازن

در بخش ۱-۸ دیدیم که وقتی دو بار الکتریکی (هم‌نام یا غیر‌هم‌نام) در مجاورت یک‌دیگر قرار گیرند، مجموعه‌ی بارها دارای انرژی پتانسیل الکتریکی می‌شوند. خازن پر شده نیز به همین علت دارای انرژی پتانسیل الکتریکی است. در واقع، انرژی‌ای که مولده برای پُر کردن خازن مصرف می‌کند، به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در خازن ذخیره می‌شود. این انرژی را خازن در هنگام تخلیه در یک مدار، پس می‌دهد. انرژی ذخیره شده در خازن را می‌توان از رابطه‌ی زیر محاسبه کرد:

$$U = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{q^2}{2C} \quad (17-1)$$

مثال ۱۵

خازنی به ظرفیت $6\mu F$ را به ولتاژ 200 V وصل می‌کنیم. بار الکتریکی و انرژی ذخیره شده در خازن را محاسبه کنید.

حل: با استفاده از رابطه‌های ۱۴-۱ و ۱۷-۱ داریم:

$$q = CV$$

$$q = 6 \times 10^{-6} \times 200$$

$$q = 1/2 \times 10^{-3} C = 1/2 mC$$

$$U = \frac{1}{2} qV$$

$$U = \frac{1}{2} \times 1/2 \times 10^{-3} \times 200 = 0.12 J$$

۱۴- به هم بستن خازن‌ها

در مدارهای الکتریکی، گاهی لازم می‌شود که از ظرفیت معینی استفاده کنیم اما آن را در اختیار نداریم. در این گونه موارد می‌توانیم خازن‌ها را به یک دیگر ببندیم و ظرفیت موردنظر را به دست آوریم. همچنین می‌توان یک خازن را جایگزین چند خازن در یک مدار کرد. به این خازن، خازن معادل و به ظرفیت آن، ظرفیت معادل می‌گوییم. ظرفیت معادل چند خازن، ظرفیت خازنی است که اگر به جای آن خازن‌ها در مدار قرار گیرد و به همان ولتاژی که به دو سر مجموعه خازن‌ها وصل است، متصل شود، انرژی الکتریکی ذخیره شده در آن برابر انرژی ای باشد که در مجموعه خازن‌ها ذخیره شده است.

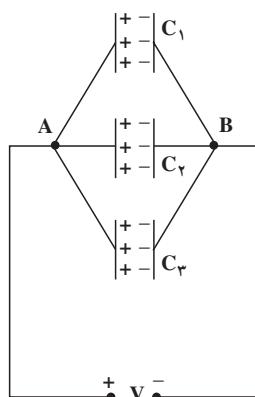
در حالت ساده، خازن‌ها ممکن است به طور موازی یا متوالی به یک دیگر وصل شده باشند. حالت‌های پیچیده‌تر را به کمک این دو حالت ساده می‌توان بررسی کرد.

الف - به هم بستن موازی خازن‌ها: اگر خازن‌های C_1 و C_2 و ... را مطابق شکل ۳۸-۱ به یک دیگر وصل کنیم، می‌گوییم خازن‌ها را به طور موازی به هم وصل کرده‌ایم. اگر ولتاژ V را به دو سر مجموعه وصل کنیم، اختلاف پتانسیل دو سر هر خازن برابر V می‌شود. بار الکتریکی هر یک از خازن‌ها برابر است با :

$$q_1 = C_1 V$$

$$q_2 = C_2 V$$

$$q_3 = C_3 V$$



شکل ۱

بار الکتریکی ذخیره شده در مجموعه‌ی خازن‌ها برابر $q = q_1 + q_2 + q_3$ است. اگر خازن معادل به ظرفیت C_T را به همین ولتاژ وصل کنیم، بار ذخیره شده در آن $q = C_T V$ می‌شود. درنتیجه، داریم:

$$q = C_T V$$

$$q_1 + q_2 + q_3 = C_T V$$

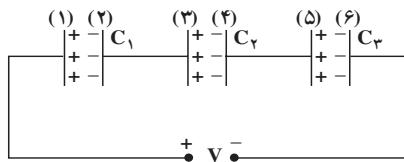
$$(C_1 + C_2 + C_3)V = C_T V$$

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \quad (18-1)$$

بنابراین، ظرفیت خازن معادل مجموعه‌ی از خازن‌ها که به‌طور موازی به یک‌دیگر وصل شده‌اند، برابر مجموع ظرفیت خازن‌هاست و ظرفیت خازن معادل از ظرفیت هر یک از خازن‌ها پیش‌تر است.

ب — به هم بستن متوالی خازن‌ها: در شکل ۳۹-۱ سه خازن به‌طور متوالی به یک‌دیگر وصل شده‌اند. وقتی خازن‌ها به‌طور متوالی به یک ولتاژ وصل می‌شوند، هیچ کدام از آن‌ها به‌طور مستقل به ولتاژ V وصل نیستند. اگر روی صفحه‌ی ۱ بار q انباشته شود، بار $-q$ روی صفحه‌ی ۲ القا می‌گردد. مجموع بار صفحه‌های ۲ و ۳ برابر صفر است (چرا؟)؛ بنابراین، بار q روی صفحه‌ی ۳ انباشته می‌شود و به همین ترتیب، بار هر خازن برابر q می‌شود. بار ذخیره شده روی مجموعه‌ی خازن‌ها نیز برابر q است. اگر ولتاژ خازن‌ها به‌ترتیب V_1 و V_2 و V_3 باشد، ولتاژ دو سر مدار برابر مجموع ولتاژ دو سر خازن‌هاست.

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$



شکل ۳۹-۱

اگر به جای V_1 و V_2 و ... مساوی آن‌ها را از رابطه‌های $V_1 = \frac{q}{C_1}$ و $V_2 = \frac{q}{C_2}$ و ... قرار

دهیم، نتیجه می‌شود:

$$V = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

اگر C_T ظرفیت خازن معادل باشد، وقتی به ولتاژ V وصل شود، بار آن برابر q می‌شود و

$$V = \frac{q}{C_T} \text{ است. با قرار دادن } \frac{q}{C_T} \text{ به جای } V \text{ نتیجه می‌شود:}$$

$$\frac{q}{C_T} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

و یا : (۱۹-۱)

بنابراین، وقتی خازن‌ها به طور متوالی به یک دیگر وصل می‌شوند، بار هر یک از خازن‌ها برابر با بار خازن معادل آن‌ها و وارون ظرفیت معادل، برابر مجموع وارون ظرفیت خازن‌هایست و ظرفیت معادل از کوچک‌ترین ظرفیت نیز کوچک‌تر است.

مثال ۱۶-۱

به دو سر مجموعه‌ی سه خازن به ظرفیت‌های $6\mu F$ ، $3\mu F$ و $2\mu F$ که به طور متوالی به یک دیگر وصل‌اند، اختلاف پتانسیل $15^\circ V$ را وصل می‌کنیم. الف - ظرفیت خازن معادل، ب - بار الکتریکی هر خازن و پ - ولتاژ دوسره خازن را حساب کنید.

حل: الف - با استفاده از رابطه‌ی ۱۹-۱ داریم :

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1+2+3}{6}$$

$$C_T = 1\mu F$$

ب - بار الکتریکی هر خازن، برابر با بار خازن معادل آن‌هاست.

$$q = CV$$

$$q = 1 \times 15^\circ = 15^\circ \mu C$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = q = 15^\circ \mu C$$

پ - با استفاده از رابطه‌ی $q = CV$ داریم :

$$V = \frac{q}{C}$$

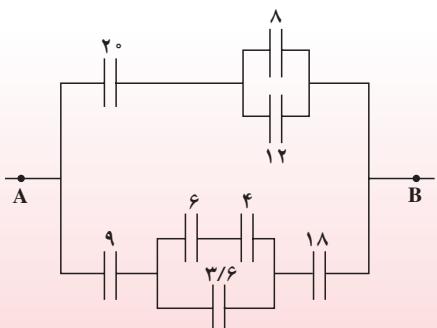
$$V_1 = \frac{15}{6} = 25V$$

$$V_2 = \frac{15}{3} = 50V$$

$$V_3 = \frac{15}{2} = 75V$$

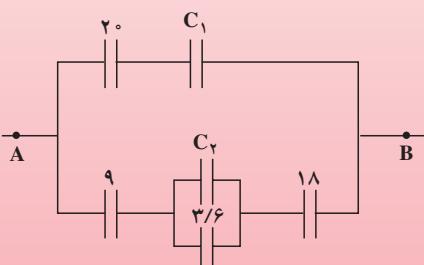
ممکن است در یک مدار، خازن‌ها به صورت پیچیده‌تری به یک دیگر وصل شده باشند. با استفاده از محاسبه‌ی ظرفیت خازن‌های موازی و متواالی، می‌توان مدار را ساده کرد و در نهایت، ظرفیت معادل را بدست آورد.

مثال ۱-۱۷



شکل ۱-۴۰

ظرفیت معادل بین دو نقطه‌ی A و B را در شکل ۱-۴۰ محاسبه کنید.
ظرفیت هر خازن بر حسب میکروفاراد روی شکل داده شده است.



شکل ۱-۴۱

حل: دو خازن $8\mu F$ و $4\mu F$ با یک دیگر موازی و خازن $6\mu F$ با $3\mu F$ به طور متواالی به یک دیگر وصل شده‌اند. اگر به جای آن‌ها خازن معادل آن‌ها را قرار دهیم، مدار به صورت شکل ۱-۴۱ ساده می‌شود.

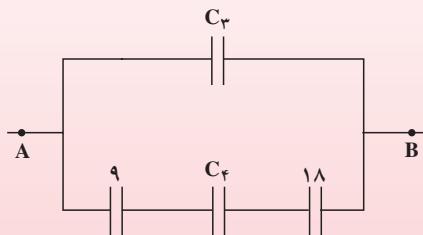
$$C_1 = 12 + 8 = 20 \mu\text{F}$$

$$C_2 = \frac{6 \times 4}{6 + 4} = 2.4 \mu\text{F}$$

اکنون خازن‌های $20 \mu\text{F}$ میکروفارادی با یکدیگر متواالی‌اند و خازن C_2 با خازن $3.6 \mu\text{F}$ میکروفارادی موازی است. مدار به صورت شکل ۴۲-۱ ساده می‌شود.

$$C_3 = \frac{20}{2} = 10 \mu\text{F}$$

$$C_4 = 2.4 + 3.6 = 6 \mu\text{F}$$



شکل ۴۲-۱

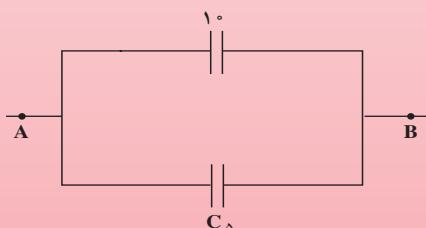
اگر خازن معادل سه خازن $18 \mu\text{F}$ ، C_4 و $9 \mu\text{F}$ را که متواالی‌اند را با C_5 نشان دهیم، مدار به صورت شکل ۴۳-۱ ساده می‌شود.

$$\frac{1}{C_5} = \frac{1}{9} + \frac{1}{6} + \frac{1}{18}$$

$$\frac{1}{C_5} = \frac{2+3+1}{18}$$

$$C_5 = \frac{18}{6} = 3 \mu\text{F}$$

$$C_T = 10 + 3 = 13 \mu\text{F}$$



شکل ۴۳-۱

مثال ۱-۱۷

دو خازن به ظرفیت $C_1 = 2 \mu\text{F}$ و $C_2 = 4 \mu\text{F}$ را به یکدیگر وصل می‌کنیم و ولتاژ 100 V را به دو سر مجموعه‌ی آن‌ها می‌بندیم. اگر انرژی ذخیره شده در مجموعه‌ی خازن‌ها برابر 25 میلیژول شود ، تعیین کنید که خازن‌ها چگونه به یکدیگر وصل شده‌اند. ظرفیت C_2 را نیز محاسبه کنید.

حل: اگر ظرفیت معادل دو خازن برابر C_T باشد، داریم:

$$U = \frac{1}{2} C_T V^2$$

$$25 \times 10^{-3} = \frac{1}{2} C_T \times 10^4$$

$$C_T = 5 \times 10^{-6} F = 5 \mu F$$

چون ظرفیت معادل از C_1 بزرگ‌تر است، دو خازن به طور موازی به یکدیگر
وصل شده‌اند.

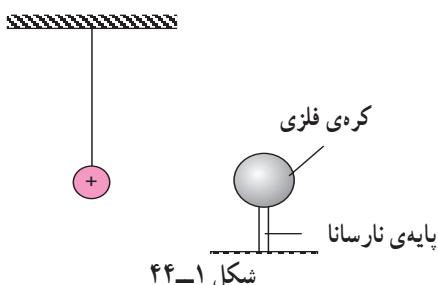
$$C_T = C_1 + C_2$$

$$5 = 2 + C_2$$

$$C_2 = 3 \mu F$$

تمرین‌های فصل اول

- ۱- یک کرهٔ فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایهٔ نارسانایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری تزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد.



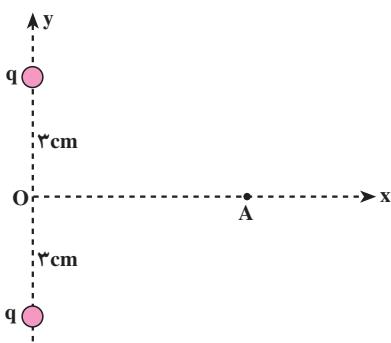
- ۲- بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = -4\mu C$ و $q_2 = -3\mu C$

مطابق شکل در فاصله‌ی 8cm از یکدیگر ثابت شده‌اند. بار نقطه‌ای $q_3 = -5\mu C$ را در نقطه‌ای که فاصله‌ی آن از هر یک از دو بار الکتریکی قبلی برابر 5cm است، قرار می‌دهیم. نیروی الکتریکی وارد بر بار q_3 را محاسبه کنید.



- ۳- توضیح دهید که چرا خط‌های میدان الکتریکی یکنواخت، به صورت خط‌های راست و موازی با فاصله‌های مساوی با یکدیگرند.

- ۴- دو بار الکتریکی نقطه‌ای همان‌نام $q = +5\mu C$ مطابق شکل ۴۶-۱ به فاصله‌ی 6cm از یکدیگر قرار دارند. جهت و اندازهٔ میدان الکتریکی را در نقطه‌ی A واقع بر عمود منصف خط واصل دوبار، در فاصله‌ی 4cm از نقطه‌ی O (وسط خط واصل دو بار) مشخص کنید.



۵- در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $\frac{N}{C} = 5 \times 10^4$ که جهت آن قائم و رو به پایین است، ذره‌ی بارداری به جرم $2g$ معلق و به حال سکون قرار دارد. اگر $g = 10 \frac{N}{kg}$ باشد، اندازه و نوع بار الکتریکی ذره را مشخص کنید.

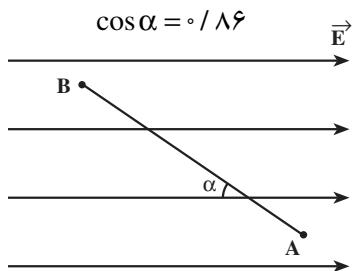


شکل ۴۷-۱

۶- غلظت الکترون‌ها در ارتفاعات مختلف جو زمین متفاوت است. وقتی ماهواره‌ای به دور زمین می‌چرخد بر اثر عبور از فضای اطراف زمین باردار می‌شود (شکل ۴۷-۱). این بارها ممکن است موجب آسیب رساندن به قطعات الکترونیکی ماهواره شوند. فرض کنید ماهواره‌ی

امید در اثر عبور از یکی از لایه‌های جو زمین دارای بار

الکتریکی $C = 2 \times 10^{-9} F$ شود. این ماهواره مکعبی به ابعاد $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 40\text{cm}$ است. چگالی سطحی بار الکتریکی روی سطح این ماهواره را محاسبه کنید. (از تجمع بار برابر روی لبه‌ها چشم پوشی شود.)



شکل ۴۸-۱

۷- بار $q = +5 \mu C$ را به آرامی و با سرعت ثابت در میدان الکتریکی یکنواخت $\frac{N}{C} = 8 \times 10^5$ مطابق شکل ۴۷-۱ از نقطه‌ی A تا B جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB = 2m$ و $\alpha = 30^\circ$ درجه باشد :

الف - نیروی الکتریکی وارد بار، q ،

ب - کاری که برای این جابه‌جایی باید انجام دهیم،

پ - تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q را حساب کنید.

۸- دو صفحه‌ی رسانا با فاصله‌ی 2cm را موازی یک‌دیگر قرار می‌دهیم و آن‌ها را به اختلاف پتانسیل 7×10^5 وصل می‌کنیم. درنتیجه، یکی از صفحه‌ها به طور منفی و دیگری به طور مثبت باردار می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی بوجود می‌آید. اندازه‌ی این میدان الکتریکی را حساب کنید و توضیح دهید که کدامیک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیشتری دارد.

۹- در یک میدان الکتریکی، بار $C = +2 \mu C$ از نقطه‌ی A تا B جابه‌جا می‌شود. اگر انرژی پتانسیل آن در نقطه‌های A و B به ترتیب $J = 5 \times 10^{-5} \text{J}$ و $J = 4 \times 10^{-5} \text{J}$ باشد، اختلاف پتانسیل الکتریکی

میان دو نقطه ($V_B - V_A$) را محاسبه کنید.

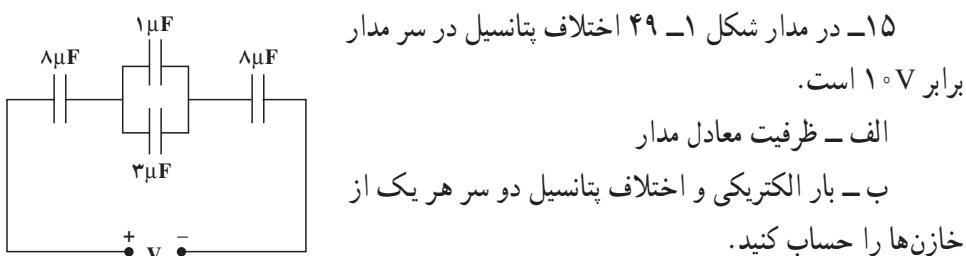
- ۱۰- بار الکتریکی $C = 4\mu F$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_1 = -4.0V$ تا نقطه‌ای با پتانسیل $V_2 = -1.0V$ آزادانه جابه‌جا می‌شود. الف - انرژی پتانسیل الکتریکی بار q چه اندازه و چگونه تغییر می‌کند؟ ب - توضیح دهید که تغییر انرژی پتانسیل بار q (با توجه به قانون پایستگی انرژی) به چه انرژی‌ای تبدیل می‌شود؟

- ۱۱- دو صفحه‌ی رسانا به فاصله‌ی یک سانتی‌متر از هم و موازی یکدیگر واقع‌اند. اختلاف پتانسیل میان دو صفحه برابر $7.000V$ است. یک ذره به بار $C = 1.0 \times 10^{-19} C$ و جرم $1.6 \times 10^{-27} kg$ (یک پروتون) از مجاور صفحه‌ی مثبت و از حال سکون به طرف صفحه‌ی منفی شتاب می‌گیرد. انرژی پتانسیل الکتریکی این ذره وقتی به صفحه‌ی رویرو می‌رسد، افزایش می‌یابد یا کاهش؟ اندازه‌ی تغییرات این انرژی را حساب کنید. سرعت ذره در لحظه‌ی رسیدن به این صفحه چه قدر است؟

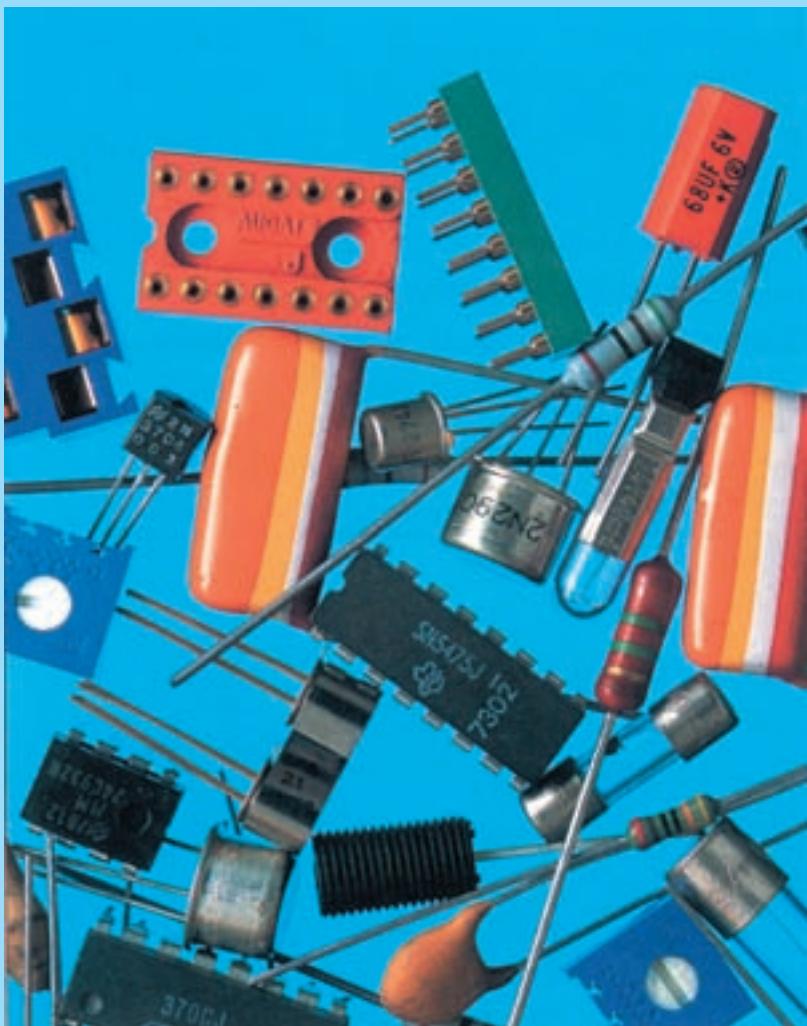
- ۱۲- اختلاف پتانسیل بین دو صفحه‌ی یک خازن را از $28V$ ولت به $4V$ ولت افزایش می‌دهیم. اگر با این کار $15\text{ }\mu F$ میکروکولن بر بار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.
۱۳- دو صفحه‌ی مربعی شکل به ضلع 16 cm در فاصله‌ی 2 mm از یکدیگر قرار دارند. فضای بین دو صفحه از پارافین با ضریب دیالکتریکی $2/5$ پر شده است. ظرفیت خازن حاصل چه اندازه است؟

- ۱۴- خازنی به ظرفیت $F = 5\mu F$ با اختلاف پتانسیل $V_1 = 12.00V$ و خازنی به ظرفیت $F = 1.0\mu F$ با اختلاف پتانسیل $75V$ ولت پر شده‌اند. اگر این خازن‌های پر را از مدار اصلی آن‌ها جدا و صفحه‌های هم نام آن‌ها را به هم وصل کنیم، الف - اختلاف پتانسیل بین دو صفحه و بار ذخیره شده در هر خازن چه اندازه می‌شود؟

- ب - مجموع انرژی ذخیره شده در دو خازن را قبل و بعد از اتصال به یکدیگر محاسبه و به مقایسه کنید.



شکل ۱-۴۹



شکل بالا تعدادی از قطعات مورد استفاده در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی را نشان می‌دهد.

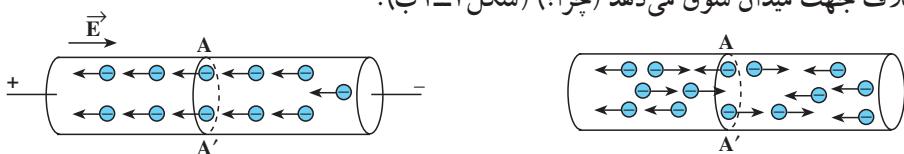
فصل ۲

جريان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

در فصل اول، مفهوم‌های بار الکتریکی، میدان الکتریکی و اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از میدان الکتریکی را معرفی کردیم و به بررسی پاره‌ای از ویژگی‌های بار الکتریکی ساکن پرداختیم. در این فصل آثار ناشی از حرکت بارهای الکتریکی – یعنی پدیده‌ی شارش بار – در مواد رسانا را بررسی خواهیم کرد و خواهیم دید که شارش بار در رسانا سبب انتقال انرژی در آن می‌شود. این انرژی به انرژی‌های دیگر نظیر انرژی درونی، انرژی مکانیکی و انواع دیگر انرژی تبدیل می‌شود.

۱- جریان الکتریکی

در فیزیک ۱ دیدیم که رسانابی فلزها به دلیل وجود الکترون‌های آزاد است که در داخل آن‌ها با سرعت‌های متفاوت به طور کاتورهای در حرکت‌اند. تازمانی که اختلاف پتانسیل الکتریکی به دو سر رسانا اعمال نشده باشد، الکترون‌های آزادی که در بازه‌ی زمانی Δt از مقطع 'AA' (شکل ۱-۲) از راست به چپ در حرکت‌اند، با الکترون‌های آزادی که در همان بازه‌ی زمانی از همان مقطع از چپ به راست حرکت می‌کنند، برابرند؛ یعنی، به طور متوسط بارخالصی که از مقطع 'AA' یا هر مقطع عرضی دیگر رسانا می‌گذرد، در یک بازه‌ی زمانی صفر است. هنگامی که دو سر رسانا را به بازی وصل و به این وسیله به دو سر آن اختلاف پتانسیل اعمال می‌کنیم، یک میدان الکتریکی در داخل رسانا ایجاد می‌شود. این میدان به الکترون‌های آزاد درون رسانا نیرو وارد می‌کند و آن‌ها را به خلاف جهت میدان سوق می‌دهد (چرا؟) (شکل ۱-۲ ب).



وقتی در دو سر رسانا اختلاف پتانسیل وجود ندارد، شارش بار خالص از مقطع 'AA' صفر نیست.

ب

شکل ۱-۲

الف

در این حالت، بار خالصی که از هر مقطع عبور می‌کند صفر نیست و می‌گوییم در رسانا شارش بار وجود دارد. به عبارت دیگر، در آن جریان الکتریکی برقرار شده است.

در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه دیدیم که جریان الکتریکی در خلاف جهت شارش الکترون‌ها است یعنی جریان الکتریکی در جهت میدان الکتریکی است و چون پتانسیل در جهت میدان کاهش می‌یابد، جهت جریان الکتریکی از پتانسیل بیشتر به پتانسیل کمتر است.

بار شارش شده در واحد زمان را شدت جریان متوسط گویند. اگر در بازه‌ی Δt بار Δq در رسانا شارش کرده باشد، شدت جریان متوسط از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید :

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-2)$$

همان‌طور که می‌دانید، یکای شدت جریان، آمپر نام دارد.

اگر در تمام بازه‌های زمانی شدت جریان متوسط ثابت بماند، جریان را مستقیم می‌نامند. در این صورت، شدت جریان لحظه‌ای با شدت جریان متوسط برابر می‌شود. در این حالت، رابطه‌ی (۱-۲) به صورت زیر نوشته می‌شود :

$$I = \frac{q}{t} \quad (2-2)$$

در این رابطه، q بار شارش شده در مدت t بحسب کولن و t بحسب ثانیه و I ، شدت جریان بحسب آمپر است.

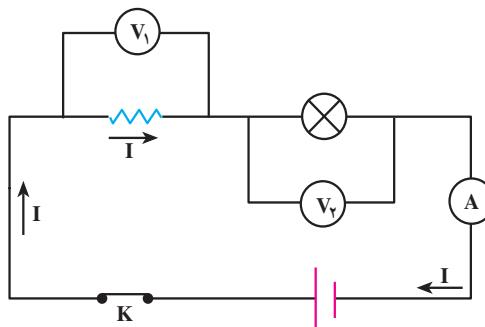
در رابطه‌ی $q=It$ اگر I بحسب آمپر و t بحسب ساعت باشد، مقدار بار بحسب آمپر ساعت به دست می‌آید.

۱-۲ فعالیت

بار ذخیره شده در باتری‌های اتمبیل را معمولاً با آمپر ساعت مشخص می‌کنند. منظور از این اصطلاح بیشینه‌ی بار الکتریکی است که در باتری ذخیره می‌شود. اگر بار الکتریکی باتری یک اتمبیل 60 آمپر ساعت باشد و در مدت 10 ساعت از آن جریان بگیریم، شدت جریان متوسط را براورد کنید.

برای آن که جریان الکتریکی برقرار شود، باید بار در یک مسیر بسته شارش کند. این مسیر بسته را مدار الکتریکی می‌نامیم. مدارهای الکتریکی ای که در این فصل بررسی می‌کنیم، شامل رساناهای

فلزی (سیم یا لامپ رشته‌ای)، منبع تأمین انرژی الکتریکی (باتری یا پلی یا منبع تغذیه)، کلید قطع و وصل، وسیله‌های اندازه‌گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل (آمپرسنچ و ولتسنچ) است. این قطعه‌ها را اجزای مدار الکتریکی می‌نامند و برای رسم هر یک نمادی را به‌طور قراردادی به کار می‌برند. شما در کتاب فیزیک ۱ با این نمادها آشنا شده‌اید. شکل ۲-۲ یک مدار الکتریکی و طرز قرارگرفتن آمپرسنچ و ولتسنچ را در این مدار نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲

۲-۲- قانون اهم

همان‌طور که در فیزیک ۱ و آزمایشگاه دیدید، بنا به قانون اهم نسبت اختلاف پتانسیل دو سر رسانای فلزی به شدت جریانی که از آن می‌گذرد، در دمای ثابت، مقدار ثابتی است. این نسبت را مقاومت الکتریکی رسانا می‌نامند و یکای آن Ω است.

$$\frac{V}{I} = R \quad (3-2)$$

مقاومت را با وسیله‌ای به نام اهم سنج اندازه می‌گیرند. این وسیله همراه با ولت سنج و آمپرسنچ یک دستگاه را تشکیل می‌دهند که آوومتر (AVOMetre)، A برای آمپر، V برای ولت و ۰ برای اهم) نامیده می‌شود.

۲-۳- عوامل مؤثر در مقاومت رساناهای فلزی

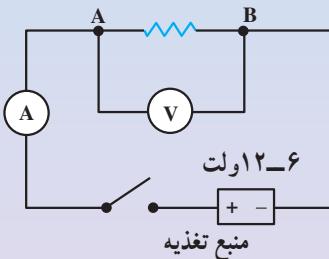
مقاومت یک رسانای فلزی در دمای ثابت به طول، سطح مقطع و جنس آن بستگی دارد. برای بررسی رابطه‌ی مقاومت رسانا با عوامل یاد شده آزمایش ۱-۲ را انجام دهید.

آزمایش ۳

وسیله‌های آزمایش: منبع تغذیه، سیم رابط، سیم‌هایی از جنس تنگستن، نیکروم (یا آلیاژهای مختلف دیگر)، آمپرسنج، ولت‌سنج، کلید.

- ۱- در مداری مطابق شکل ۳-۲ بین دو نقطه‌ی A و B قطعه‌ای با طول معین (مثلاً $1/5$ متر) از سیم تنگستن یا نیکروم را قرار دهید. پس از بستن کلید، اختلاف پتانسیل دو سر سیم و شدت جریانی را که از مدار می‌گذرد، اندازه بگیرید و با استفاده از قانون اهم ($V = RI$)، مقاومت قطعه سیم را به دست آورید.

در آزمایشی دیگر، از همان سیم تنگستن قطعه‌ای به طول $\frac{1}{3}$ یا $\frac{1}{6}$ طول قبلی را بین دو نقطه‌ی A و B قرار دهید و با اندازه‌گیری V و I مقاومت قطعه‌ی اخیر را به دست آورید. نتیجه را در جدول ثبت کنید.



شکل ۳-۲

منبع تغذیه

- ۲- آزمایش را با دو قطعه سیم هم‌طول و با سطح مقطع یکسان یکی از جنس تنگستن و دیگری از جنس نیکروم تکرار کنید و نتیجه را در جدول بنویسید.
این بار با انجام دادن دو آزمایش با سیم‌های هم‌طول از یک جنس ولی با سطح مقطع‌های متفاوت، به همان ترتیب، مقاومت هر یک از سیم‌ها را به دست آورید و ارقام را در جدول ثبت کنید.

$\frac{V}{I} = R$	V	I	سطح مقطع A سیم	طول سیم l	جنس سیم	شماره‌ی آزمایش

نتیجه‌های به دست آمده را با یک دیگر مقایسه کنید و به کلاس گزارش دهید.

آزمایش ۱-۲ نشان می‌دهد که اگر سطح مقطع سیم در تمام طول آن یکسان باشد، رابطه‌ی مقاومت سیم با سایر ویژگی‌های آن به صورت زیر است.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (4-2)$$

در این رابطه، ρ مربوط به جنس سیم است و مقاومت ویژه‌ی رسانا نام دارد. مقاومت ویژه‌ی هر فلز، مقاومت قطعه‌ای از آن فلز است به طول یک متر و به سطح مقطع یک مترمربع. ۱ طول سیم برحسب متر و A سطح مقطع سیم برحسب مترمربع است.

تمرین ۲ - ۱

طول و قطر سیم مسی A دو برابر طول و قطر سیم مسی B است. مقاومت سیم A چند برابر مقاومت سیم B است؟

مقاومت ویژه‌ی پاره‌ای از رساناهای مانند نقره و مس – کم و پاره‌ای دیگر – مانند تنگستن و آهن – نسبتاً زیاد است.

فعالیت ۲ - ۲

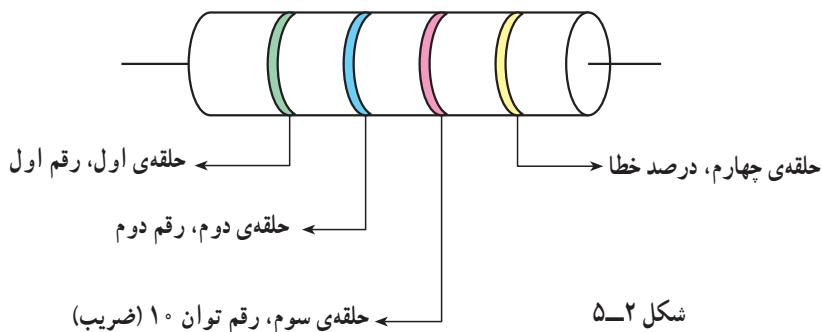
آزمایشی برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه‌ی فلز طراحی کنید و توضیح دهید که چگونه می‌توانید دقت اندازه‌گیری را افزایش دهید.

کُدگذاری مقاومت‌ها: مقاومت‌های الکتریکی را برای مصرف‌های مختلف می‌سازند. کارخانه‌های سازنده برای سهولت در تولید، مقاومت‌های خاصی را به عنوان استاندارد انتخاب می‌کنند و می‌سازند. مقدار این مقاومت‌ها را با استفاده از حلقه‌های رنگی روی آنها مشخص می‌کنند. در انتهای نیز با یک حلقه‌ی طلازی یا نقره‌ای درصد خطای را مشخص می‌کنند. در این نوع مقاومت‌ها غالب از کرین هم استفاده می‌شود؛ به این دلیل آن‌ها را مقاومت کربنی نیز می‌گویند.



شکل ۲

در روی مقاومت کربنی چهار حلقه‌ی رنگی مشاهده می‌شود (شکل ۲-۵). حلقه‌ی طلایی یا نقره‌ای را سمت راست قرار می‌دهیم و حلقه‌ها را از سمت چپ به ترتیب رقم اول و رقم دوم و سوم نام‌گذاری می‌کنیم. هر رنگ معرف عددی است؛ این اعداد در جدول ۱-۲ آورده شده‌اند. حلقه‌ی اول از سمت چپ رقم اول و حلقه‌ی دوم، رقم دوم مقاومت را نشان می‌دهد. رقم سوم ضریب مقاومت به صورت 1^n است که در ستون چهارم جدول ۱-۲ داده شده است. حلقه‌ی چهارم در صد خطرا در تعیین مقاومت مشخص می‌کند. به عنوان مثال فرض کنید حلقه‌ی اول قرمز و حلقه‌ی دوم بنفش و حلقه‌ی سوم سیاه است. قرمز معرف عدد ۲ و بنفش معرف عدد ۷ است. تا این جا مشخص می‌شود که دو رقم اول مقدار مقاومت مورد نظر ۲۷ است. چون حلقه‌ی سوم سیاه است، $n = 0$ و اندازه‌ی مقاومت 27Ω است.



شکل ۲

به جدول زیر توجه کنید. (حفظ کردن ارقام این جدول ضرورت ندارد.)

جدول ۱-۲

رنگ حلقه	حلقه‌ی اول رقم اول	حلقه‌ی دوم رقم دوم	حلقه‌ی سوم عدد 10^n در
سیاه	۰	۰	۰
قهوه‌ای	۱	۱	۱
قرمز	۲	۲	۲
نارنجی	۳	۳	۳
زرد	۴	۴	۴
سبز	۵	۵	۵
آبی	۶	۶	۶
بنفس	۷	۷	۷
خاکستری	۸	۸	—
سفید	۹	۹	—

مثال ۱-۲

اندازه‌ی مقاومت زیر چند اهم است؟

حل: با توجه به جدول ۱-۲، رنگ سبز عدد ۵ و رنگ آبی عدد ۶ را نشان می‌دهد

و چون قرمز معرف ۲ است:

$$R = \overline{ab} \times 10^{n \rightarrow ۱} \quad \begin{matrix} \text{رقم سوم} \\ \downarrow \quad \downarrow \\ \text{رقم اول} \quad \text{رقم دوم} \end{matrix}$$

$$R = ۵۶ \times ۱0^۳ = ۵۶۰ \Omega$$



شکل ۱-۲

آزمایش ۲ - آزمایش

وسیله‌های آزمایش: اهم‌تر، تعدادی مقاومت مختلف

به کمک اعضای گروه خود ابتدا با استفاده از جدول و سپس با به کارگیری اهم‌تر مقاومت دهنده از مقاومت‌هایی را که در آزمایشگاه در اختیار شماست، به دست آورید و نتیجه را در جدول قرار دهید.

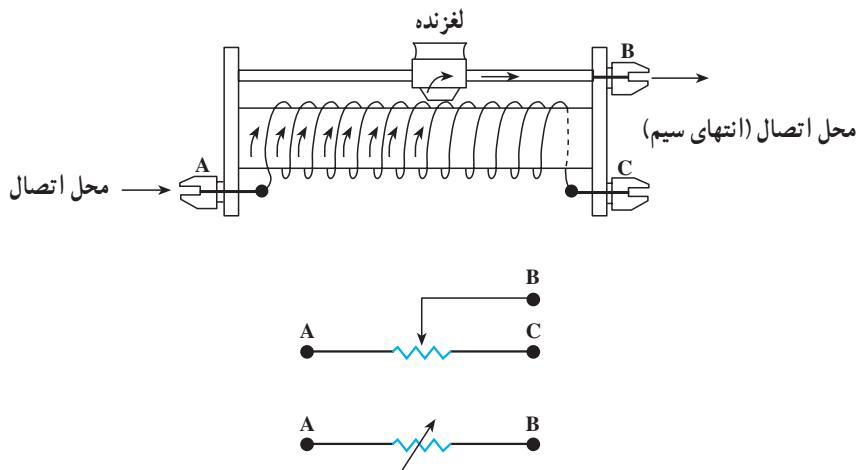
ΔR	R از روی رنگ‌ها	R با استفاده از اهم‌سنچ	ردیف

مقاومت‌های کربنی معمولاً با توان کم – بین ۱ تا ۲ وات – کار می‌کنند. اندازه‌های استاندارد آن‌ها نیز عمدتاً به صورت زیر است.

$$R = (1/7, 2/7, 3/9, 4/7, 5/6, 6/8, 8/2, 1^0, 12, 15, 18, 22) \times 10^{-n}$$

$$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

استفاده از مقاومت متغیر برای کنترل جریان: معمولاً در آزمایشگاه برای تنظیم و کنترل جریان از یک مقاومت متغیر استفاده می‌کنند. این وسیله رئوستا نام دارد. در شکل ۲-۷ یک رئوستا را مشاهده می‌کنید. همان‌طور که می‌بینید، این وسیله از یک سیم دراز با مقاومت ویژه‌ای نسبتاً زیاد (تنگستن) تشکیل می‌شود. این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده است. با استفاده از یک دکمه‌ی لغزنه که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است، می‌توان قسمت‌های دلخواه از سیم را در مسیر جریان قرار داده و مقاومت را به دلخواه تغییر داد. به این ترتیب، می‌توان جریان را در مدار کنترل کرد. رئوستا به صورت‌های دیگری از جمله به شکل دایره‌ای ساخته می‌شود. در این صورت، لغزنه به صورت عقربه‌ای در مرکز دایره قرار می‌گیرد. برای استفاده



شکل ۷-۲

از رئوستا ابتدا آن را با بیشترین مقدار مقاومت در مدار قرار می‌دهند. سپس با لغزنه، مقاومت مناسب را برای جریان مورد نظر تنظیم می‌کنند.

از جعبه‌ی مقاومت نیز می‌توان به عنوان مقاومت متغیر استفاده کرد. ساختمان این جعبه به گونه‌ای است که با برداشتن فیش مربوط به هریک از مقاومت‌ها، آن مقاومت در مسیر جریان برق قرار می‌گیرد.



شکل ۸-۲



شکل ۹-۲

۴-۲_اثر دما بر مقاومت رساناهای فلزی

تجربه نشان می‌دهد که مقاومت ویژه رساناهای آن‌ها بستگی دارد. در رساناهای فلزی افزایش دما سبب افزایش مقاومت ویژه و درنتیجه، افزایش مقاومت رسانا می‌شود. اگر افزایش دما زیاد نباشد، رابطه‌ی مقاومت ویژه با افزایش دما به صورت زیر است.

$$\rho_2 = \rho_1(1 + \alpha \Delta T) \quad (5-2)$$

ρ_1 مقاومت ویژه در دمای θ_1 و ρ_2 مقاومت ویژه در دمای $\theta_1 + \Delta T$ است. α ضریب دمایی مقاومت ویژه برحسب K^{-1} (بر کلوین) است.

با استفاده از رابطه‌های ۴-۲ و ۵-۲، رابطه‌ی زیر برای مقاومت رسانا به دست می‌آید :

$$R_2 = R_1(1 + \alpha \Delta T) \quad (6-2)$$

جدول ۲-۲ ضریب دمایی و مقاومت ویژه را در دمای $20^\circ C$ برای چند فلز نشان می‌دهد.

جدول ۲-۲

ضریب دمایی K^{-1}	مقاطومت ویژه Ωm	رسانا
۰/۰۰۶۱	$1/59 \times 10^{-8}$	نقره
۰/۰۰۶۸	$1/68 \times 10^{-8}$	مس
۰/۰۰۴۲۹	$2/65 \times 10^{-8}$	آلومینیم
۰/۰۰۴۵	$5/6 \times 10^{-8}$	تنگستن
۰/۰۰۶۵۱	$9/7 \times 10^{-8}$	آهن
۰/۰۰۰۴	100×10^{-8}	آلیاژ کرم و نیکل

۲-۳_مثال

مقاومت سیم مسی به طول $6/28m$ و به قطر $4/0$ میلی‌متر را با استفاده از جدول ۲-۲ در دمای $20^\circ C$ محاسبه کنید.

حل: مساحت مقطع سیم از رابطه‌ی $A = \pi r^2$ به دست می‌آید؛ بنابر رابطه‌ی

۴-۳ می‌توان نوشت:

$$R = \rho \frac{1}{A} = \rho \frac{1}{\pi r^2}$$

$$R = 1 / 68 \times 10^{-8} \frac{6 / 28}{3 / 14 (0 / 2 \times 10^{-3})^2} =$$

$R = 0 / 84 \Omega$ مقاومت سیم

مثال ۲

مقاومت سیمی از آلیاژ کُرم و نیکل در دمای $20^\circ C$ برابر 10Ω است. مقاومت این قطعه در دمای $100^\circ C$ چه اندازه است؟

حل: بنا به رابطه‌ی ۲-۶ می‌توان نوشت:

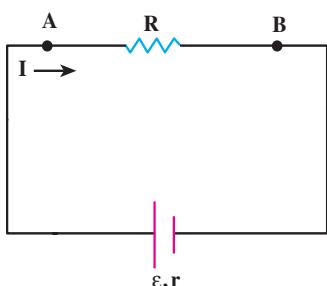
$$R_2 = R_1(1 + \alpha \Delta T)$$

مقاومت در دمای $100^\circ C$ برابر است با:

$$R_2 = 10(1 + 0 / 0004 \times 80) = 10(1 / 0.32) = 10 / 32 \Omega$$

افت پتانسیل در مقاومت: دیدیم که با اعمال اختلاف پتانسیل در دو سر یک رسانا، در درون آن یک میدان الکتریکی برقرار می‌گردد. این میدان باعث شارش بار می‌شود. جهت میدان الکتریکی در داخل رسانا از پایانه‌ی مثبت باتری به طرف پایانه‌ی منفی آن است.

در فصل قبل، دیدیم که پتانسیل در جهت میدان کاهش می‌یابد؛ یعنی، وقتی از پایانه‌ی مثبت باتری به طرف پایانه‌ی منفی آن می‌رویم، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد، در این صورت، می‌گویند که در رسانا افت پتانسیل ایجاد شده است. اگر مقاومت الکتریکی رسانا کوچک باشد، بر طبق قانون اهم این افت پتانسیل ناچیز است؛ مثلاً در بستن مدار از سیم‌های رابط با مقاومت کم استفاده می‌کنیم تا بتوانیم از افت پتانسیل در آن‌ها صرف نظر کنیم ولی هنگامی که یک قطعه با مقاومت قابل توجه در مدار قرار دارد – مانند مقاومت R در شکل ۲-۱ – افت پتانسیل قابل ملاحظه است و مقدار آن طبق رابطه‌ی ۲-۳ برابر می‌شود با:



$$\Delta V = V_B - V_A = -IR \quad (7-2)$$

در این رابطه I جریانی است که از مقاومت R می‌گذرد.

شکل ۱۰-۲

۲-۵- محاسبه انرژی الکتریکی مصرف شده در یک مقاومت

در فصل قبل، دیدیم هنگامی که بار مثبت q در جهت میدان الکتریکی یکنواخت حرکت می‌کند، انرژی پتانسیل آن به اندازه $q\Delta V$ کاهش می‌باید. به همین ترتیب، اگر بار q از مقاومت R در شکل ۲-۱۰ عبور کند، انرژی پتانسیل الکتریکی آن به اندازه $q\Delta V = q\Delta U$ کاهش می‌باید. این کاهش انرژی صرف افزایش انرژی جنبشی بارها می‌شود. در اثر برخورد آن‌ها با اتم‌ها، این انرژی به اتم‌های رسانا منتقل می‌شود و انرژی درونی رسانا را افزایش می‌دهد. در نتیجه، رسانا در اثر عبور جریان گرم می‌شود. در یک لامپ، بخشی از انرژی پتانسیل الکتریکی به انرژی نورانی و در موتور الکتریکی به انرژی مکانیکی و انرژی درونی تبدیل می‌شود.

اکنون اگر جریان ثابت I در مدت t ثانیه در سیمی به مقاومت R برقرار باشد، بنابرآن چه گفته شد، انرژی پتانسیل الکتریکی U که به انرژی درونی رسانا تبدیل می‌شود از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید :

$$U = qV \quad (8-2)$$

در این رابطه، V اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R و U انرژی است که بار هنگام عبور از سیم از دست می‌دهد. با جایگذاری به جای q و V ، داریم :

$$U = (It)(RI) = RI^2t \quad (9-2)$$

۴-۲- مثال

مقاومت سیم گرم کن یک اتوی برقی 50Ω و جریانی که از آن می‌گذرد 4 آمپر است. در مدت 15 دقیقه، چند رُول و چند کیلووات ساعت انرژی الکتریکی در آن مصرف می‌شود؟

حل: بنابر رابطه‌ی ۹-۲ می‌توان نوشت :

$$U = RI^2t \Rightarrow U = 50 \times 16 \times 900$$

$$\text{رُول} = 72 \times 10^4$$

$$\text{کیلووات ساعت} = \frac{72 \times 10^4}{36 \times 10^5} = 0.2$$

۳-۲ فعالیت

آزمایشی طراحی کنید که با آن بتوان درستی رابطه‌ی $U = RI^t$ را تحقیق کرد.

۲-۲ تمرین

در دو سر یک سیم نیکروم (آلیاز کرم و نیکل) به طول ۵ متر و سطح مقطع $4 \times 10^{-9} \Omega m$ میلی‌مترمربع، اختلاف پتانسیل 20 ولت را برقرار کرده‌ایم. در هر نیم ساعت چند کیلوژول انرژی الکتریکی در این سیم به انرژی درونی تبدیل می‌شود؟ مقاومت ویژه نیکروم

توان الکتریکی مصرف شده در یک مقاومت: در فیزیک ۲ و آزمایشگاه خواندید که توان از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید و یکای آن ژول بر ثانیه است که وات نامیده می‌شود.

$$P = \frac{U}{t} \quad (10-2)$$

بنابر رابطه‌ی ۲-۸ داریم:

$$P = \frac{qV}{t} = VI \quad (11-2)$$

با استفاده از رابطه‌ی ۲-۳، رابطه‌ی ۱۱-۲ را می‌توان به صورت زیرنوشت:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (12-2)$$

$$P = RI^2 \quad (13-2)$$



۴-۲ فعالیت

با یک اهم‌متر، مقاومت رشته‌ی سیم داخل لامپ 100 واتی را اندازه‌گیری کنید.

شکل ۱۱-۲

سپس با استفاده از رابطه‌ی ۱۲-۲ و با داشتن مشخصات روی لامپ مقاومت آن را محاسبه کنید. نتیجه‌ی محاسبه را با مقدار اندازه‌گیری مقایسه کنید و نتیجه را پس از بحث گروهی گزارش دهید.

فعالیت ۳-۵

با استفاده از نتیجه‌ی به دست آمده از فعالیت ۴-۲، دمای رشته‌ی سیم داخل لامپ را در حال روشن برآورد کنید (رشته سیم لامپ از جنس تنگستن است. ضرب دمایی آن را با مراجعه به جدول ۱-۲ به دست آورید).

مثال ۳-۵

بر روی یک بخاری برقی رقم‌های ۷۲۰ و W ۱۵۰ ثبت شده است. الف - این بخاری هنگامی که به ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل است، در هر دقیقه چه مقدار انرژی الکتریکی بر حسب کیلووات ساعت مصرف می‌کند؟ ب - مقاومت سیم گرم کن آن چند اهم است؟

حل: الف - بنا به رابطه‌ی ۱-۲ داریم :

$$U = Pt \Rightarrow U = 1500 \times 60 = 9 \times 10^4 J$$

$$U = \frac{9 \times 10^4}{3/6 \times 10^6} = \frac{9}{3/6 \times 10^2} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ kWh}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow 1500 = \frac{220 \times 220}{R} \quad 12-2$$

$$R = \frac{22 \times 22}{15} = 32/26 \Omega$$

تمرین ۲

- روی یک لامپ الکتریکی رقم‌های 220 V و 100 W ثبت شده است.
- الف) از رژیم الکتریکی مصرفی این لامپ هنگامی که به ولتاژ 220 V ولت متصل است، در مدت 10 s چند کیلووات ساعت است؟
- ب) اگر این لامپ به اختلاف پتانسیل 180 V ولت وصل شود، با فرض ثابت ماندن مقاومت توان مصرفی آن چه قدر می‌شود؟

مطالعه‌ی آزاد

آثار تخریبی الکتریسیته بر بدن انسان

بررسی آثار الکتریسیته بر بدن انسان از دو جنبه اهمیت دارد. نخست آن که در بسیاری از موارد در اثری احتیاطی و یا حادثه‌های پیش‌بینی نشده، افرادی در معرض شوک الکتریکی قرار می‌گیرند، و دیگر اینکه برای برخی از بیماری‌ها می‌توان از شوک الکتریکی به عنوان یکی از راه‌های معالجه بهره جست.

تجربه نشان داده است که آثار تخریبی با شدت جریان الکتریکی متناسب است نه با ولتاژ. می‌دانیم که شدت جریان الکتریکی با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت الکتریکی نسبت عکس دارد.

در بیشتر موارد در حوادث برق گرفتگی، تماس بدن با منبع ولتاژ کامل نیست، و مقاومت الکتریکی زیاد منطقه‌ی تماس باعث می‌شود که شدت جریانی که شارش می‌کند بسیار کوچک باشد. ولی اگر شخصی بر زمین خیس و یا در آب ایستاده باشد و بین نقطه‌ای از بدن او با منبع ولتاژ تماس خوبی برقرار شود، جریان نسبتاً زیادی از بدن وی عبور خواهد کرد. در این صورت حتی اگر ولتاژ کم هم باشد، جریان می‌توان آن قدر زیاد باشد که موجب مرگ شود. از سوی دیگر اگر مقاومت الکتریکی منطقه‌ی تماس زیاد باشد و مثلاً شخصی بر پایه‌های عایق ایستاده باشد، این خطر وجود ندارد. حتی در ولتاژ زیاد هم که جریان مقدار قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند تنها در محل تماس که مقاومت الکتریکی زیاد است گرمای زیادی ایجاد می‌شود و سوختگی‌های سطحی بوستی روی خواهد داد.

دستگاه مرکزی اعصاب انسان در مقابل حادثه‌های الکتریکی بسیار آسیب‌پذیر است. اگر جریانی که در یک شوک الکتریکی از مغز می‌گذرد بزرگ باشد، حتی ممکن است منجر به بیهوشی کامل و حتی در برخی موارد موجب فراموشی می‌شود. به طوری که بیمار زمان‌های قبل از وقوع حادثه را نیز به یاد نمی‌آورد. مرگ در اثر شوک الکتریکی معمولاً در اثر ایست قلبی یا تنفسی روی می‌دهد.

۶-۲ نیروی محرکه‌ی مولد

بارهای الکتریکی ضمن شارش در مدار، انرژی جنبشی‌ای را که به دست آورده‌اند از دست می‌دهند. کارمولد این است که این انرژی را دوباره تأمین کند. همان‌طور که دیدیم، بارهای الکتریکی در رسانا از پتانسیل بالاتر به پتانسیل پایین‌تر شارش می‌کنند و وارد مولد می‌شوند. مولد با صرف انرژی، بارهای الکتریکی را از پتانسیل پایین‌تر به پتانسیل بالاتر سوق می‌دهد و سبب شارش آن‌ها در مدار می‌شود. بارهای الکتریکی هنگام شارش در رسانا، انرژی خود را از دست می‌دهند. برای این‌که شارش بار در مدار تداوم یابد، این انرژی باید به وسیله‌ی مولد تأمین شود. همان‌طور که در فیزیک ۱ و آزمایشگاه خواندید، کار مولد در این مورد نظیر کار تلمبه‌ای است که آب را از سطح زمین یا عمق چاه (پتانسیل گرانشی پایین‌تر) تا ارتفاع معینی (پتانسیل گرانشی بالاتر) بالا می‌برد. با این کار، آب انرژی پتانسیل لازم را برای جریان یافتن و به کارانداختن یک پروانه (توربین) کسب می‌کند. تا زمانی که مولد بتواند انرژی لازم را به بارهای الکتریکی بدهد، شارش و در نتیجه، جریان الکتریکی در مدار ادامه می‌یابد.

انرژی‌ای را که مولد به واحد بار الکتریکی (یعنی یک کولن) می‌دهد تا در مدار شارش کند، نیروی محرکه‌ی مولد نامیده می‌شود. اگر مولد انرژی U را به بار q بدهد تا آنرا از پایانه‌ی منفی به پایانه‌ی مثبت منتقل کند، بنا به تعریف نیروی محرکه‌ی مولد – که آنرا با نماد \mathcal{E} نشان می‌دهیم – می‌توان نوشت:

$$(۶-۲) \quad \mathcal{E} = \frac{U}{q}$$

یکای نیروی محرکه زول بر کولن ($\frac{J}{C}$) است یا ولت^۱ نامیده می‌شود. در نتیجه، انرژی‌ای که مولد به بار q می‌دهد، برابر eq است.

۱- واژه‌ی ولت به افتخار الکساندر ولتا، سازنده‌ی اولین پیل الکتریکی، انتخاب شده است.

۱۲-۷- مدارهای تک حلقه

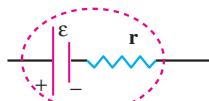
یک مدار الکتریکی ساده‌ی تک حلقه از یک یا چند مولد و یک یا چند مقاومت تشکیل شده است که یکی پس از دیگری به کمک سیم‌های رابط (که بدون مقاومت الکتریکی فرض می‌شوند) به دنبال هم بسته شده‌اند. شدت جریان در تمام قسمت‌های مدار یکسان است.

تمرین ۴-۲

با استفاده از قانون پایستگی بار، توضیح دهید چرا در مدار تک حلقه شدت جریان در همه‌ی قسمت‌های مدار یکسان است؟

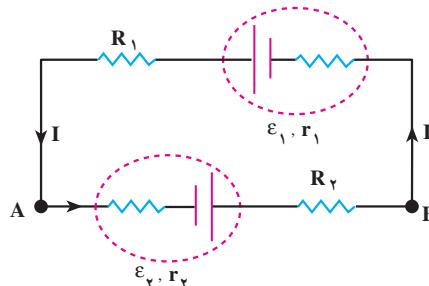
در این بخش، قاعده‌ی کلی برای محاسبه‌ی اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از مدار و محاسبه‌ی شدت جریان مدار را شرح می‌دهیم.

هر مولد دارای مقاومتی است که آن را با نماد (r) نشان می‌دهیم و آن را مقاومت درونی مولد می‌نامیم. در شکل ۱۲-۲ یک مولد به نیروی حرکتی U و مقاومت درونی r نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۲

الف - محاسبه‌ی اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از مدار: شکل ۱۳-۲ یک مدار تک حلقه را نشان می‌دهد. مدار شامل مقاومت‌های R_1 و R_2 و مولدهای ϵ_1 و ϵ_2 است.



شکل ۱۳-۲

با توجه به آن‌چه در بخش‌های قبل توضیح داده شد، معلوم می‌شود که تغییر پتانسیل (یعنی کاهش یا افزایش پتانسیل) بین دو نقطه از مدار به جهت جریان و اجزایی که بین آن دو نقطه قرار دارند، بستگی دارد.

در مداری که در شکل ۱۳-۲ می‌بینید، اگر بار الکتریکی q از نقطه‌ی A در جهت نشان داده شده حرکت کند، انرژی پتانسیل آن هنگام عبور از باتری به اندازه‌ی $\epsilon_2 q$ افزایش و به اندازه‌ی $IR_2 q$ کاهش می‌یابد. در عبور از مقاومت R_2 انرژی پتانسیل آن به اندازه‌ی $IR_2 q$ کاهش می‌یابد. به همین ترتیب، هنگام عبور از باتری ϵ_1 افزایش انرژی $\epsilon_1 q$ و کاهش انرژی $IR_1 q$ را خواهیم داشت. در R_1 انرژی پتانسیل بار q به اندازه‌ی $IR_1 q$ کاهش می‌یابد. هنگامی که بار q به نقطه‌ی A بر می‌گردد، چون تمام انرژی از دست رفته‌ی آن توسط باتری‌ها تأمین شده است، بنا به اصل پایستگی انرژی، باید بار q در این نقطه همان انرژی اولیه را داشته باشد؛ بنابراین،

$$U_A + \epsilon_2 q - IR_2 q - IR_1 q + \epsilon_1 q - IR_1 q = U_A$$

اگر طرفین این رابطه را بر q تقسیم کنیم، رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$V_A + \epsilon_2 - IR_2 - IR_1 + \epsilon_1 - IR_1 = V_A \quad (15-2)$$

با توجه به رابطه‌ی ۱۵-۲ دستورالعمل زیر به دست می‌آید.

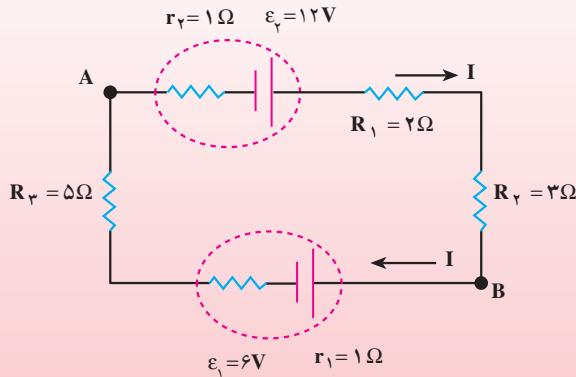
۱- هرگاه روی مدار در جهت جریان از مقاومت R یا r بگذریم، پتانسیل به اندازه‌ی IR یا Ir کاهش می‌یابد و اگر در خلاف جهت جریان از مقاومت‌ها بگذریم، پتانسیل به اندازه‌ی IR یا Ir افزایش می‌یابد.

۲- هرگاه برای گذر از مولّد (بدون توجه به جهت جریان) از پایانه‌ی منفی به طرف پایانه‌ی مثبت بگذریم، پتانسیل به اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی مولّد افزایش می‌یابد. اگر ضمن گذر از مولّد (بدون توجه به جهت جریان) از پایانه‌ی مثبت به پایانه‌ی منفی برویم، پتانسیل به اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی مولّد کاهش می‌یابد.

بنابراین، برای محاسبه‌ی اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از مدار، ابتدا پتانسیل نقطه‌ی اول (مثلاً V_A) را می‌نویسیم. آن‌گاه از این نقطه روی مدار در جهت دلخواه به طرف نقطه‌ی دوم می‌رویم و ضمن گذر از هر جزء، تغییر پتانسیل آن جزء را اضافه می‌کنیم تا به نقطه‌ی دوم برسیم. حاصل، برابر پتانسیل نقطه‌ی دوم است.

مثال ۷-۲

در یک مدار تک حلقه مطابق شکل ۱۴-۲ شدت جریان در جهت نشان داده شده ۵ آمپر است. اختلاف پتانسیل بین دو نقطه‌ی A و B (یعنی $V_B - V_A$) چه اندازه است؟



شکل ۱۴-۲

حل: اگر در جهت جریان از نقطه‌ی A به سمت نقطه‌ی B جلو رویم، می‌توانیم

بنویسیم:

$$V_A - Ir_2 + \varepsilon_2 - IR_1 - IR_2 = V_B$$

$$-0.5 \times 1 + 12 - 0.5 \times 2 - 0.5 \times 3 = V_B - V_A$$

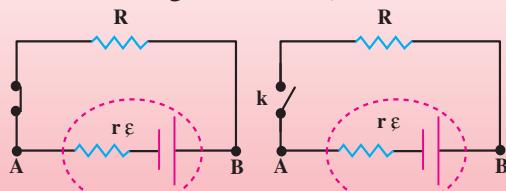
$$V_B - V_A = 9$$

مثال ۷-۳

در مدار شکل ۱۵-۲ اختلاف پتانسیل دو سر مولد را در دو حالت زیر حساب کنید.

الف) کلید k باز است.

ب) کلید k بسته است و جریان I از مدار می‌گذرد.



شکل ۱۵-۲

الف

حل: الف) در حالتی که کلید باز است، $I = 0$ و داریم:

$$V_A - \epsilon = V_B$$

$$V_B - V_A = \epsilon$$

ب) اگر از نقطه‌ی A در جهت جریان به سمت B جلو برویم، می‌توانیم بنویسیم:

$$V_A - Ir + \epsilon = V_B$$

$$V_B - V_A = \epsilon - Ir$$

اختلاف پتانسیل دو سر مولّد

همان‌طور که در بند الف مثال ۷-۲ دیدید، در حالتی که جریان از مولّد نگذرد ($Ir = 0$) اختلاف پتانسیل دو سر مولّد با نیروی محرکه مولّد برابر است؛ بنابراین، نیروی محرکه ای مولّد برابر اختلاف پتانسیل دو سر مولّد است وقتی که جریانی از آن نگذرد.

می‌دانیم که ولتسنج وسیله‌ای است با مقاومت زیاد؛ بنابراین، اگر پایانه‌های یک مولّد را فقط به دو سر یک ولتسنج بینندیم، چون عملاً جریانی برقرار نمی‌شود، عددی که ولتسنج نشان می‌دهد، برابر نیروی محرکه ای مولّد است. از طرفی، در بند ب مثال ۷-۲ دیدید که وقتی جریان I از مولّد می‌گذرد، اختلاف پتانسیل دو سر مولّد به اندازه‌ی Ir از نیروی محرکه ای مولّد کمتر است. Ir افت پتانسیل در مولّد است.

فعالیت ۲-۶

وقتی باتری اتومبیل فرسوده می‌شود، مقاومت درونی آن افزایش می‌یابد. چرا این باتری نمی‌تواند اتومبیل را روشن کند.

فعالیت ۲-۷

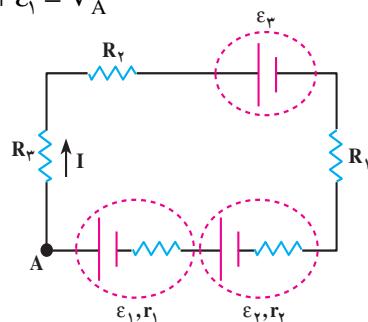
می‌دانیم که نیروی محرکه‌ی یک باتری اتومبیل ۱۲ ولت و نیروی محرکه‌ی هر باتری قلمی $1/5$ ولت است. به نظر شما، اگر ۸ باتری قلمی را به‌طور متواالی به هم وصل کنیم (یعنی پایانه‌ی مثبت یکی را به‌طور پی در پی به پایانه‌ی منفی دیگری وصل کنیم) تا نیروی محرکه‌ی کل آن‌ها ۱۲ ولت شود، آیا با این مجموعه می‌توان اتومبیل را روشن کرد؟ چرا؟

ب – محاسبه شدت جریان: برای محاسبه شدت جریان در یک مدار تک حلقه، ابتدا برای جریان جهت دلخواهی انتخاب می‌کیم و سپس با توجه به دو قاعده‌ای که برای اختلاف پتانسیل گفته شد، از یک نقطه روی مدار شروع می‌کنیم و تغییر پتانسیل دوسر هریک از اجزای مدار را می‌نویسیم تا دوباره به نقطه‌ی شروع برسیم. از رابطه‌ای که به این ترتیب به دست می‌آید، می‌توان شدت جریان را محاسبه کرد. برای مثال، در مدار شکل ۱۶-۲ برای محاسبه جریان، ابتدا جریان را در جهت نشان داده شده انتخاب می‌کنیم و سپس از نقطه‌ی A روی مدار در جهت جریان جلو می‌رویم. به این ترتیب، خواهیم داشت :

$$V_A - IR_3 - IR_2 - \varepsilon_2 - IR_1 - Ir_2 + \varepsilon_2 - Ir_1 + \varepsilon_1 = V_A$$

$$\varepsilon_2 + \varepsilon_1 - \varepsilon_3 = I(R_3 + R_2 + R_1 + r_2 + r_1)$$

$$I = \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{R_3 + R_2 + R_1 + r_2 + r_1}$$



شکل ۱۶-۲

با این روش، اگر جریان به دست آمده مثبت باشد، معلوم می‌شود که جهت انتخاب شده درست است و اگر جریانی که به دست می‌آید منفی باشد، معلوم می‌شود جهت جریان در مدار خلاف جهت انتخاب شده است.

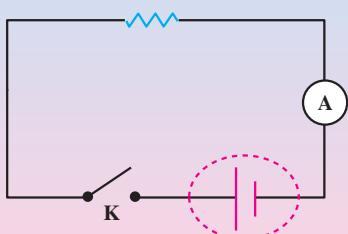
آزمایش ۳-۲

اندازه‌گیری مقاومت درونی مولّد

وسیله‌های آزمایش: باتری ۹ ولت، ولتسنج، آمپرسنج و یک مقاومت، کلید

قطع و وصل.

۱- مدار را مطابق شکل ۱۷-۲ بینندید.



شکل ۱۷-۲

۲- در حالتی که کلید باز است، اختلاف پتانسیل دو سر باتری را با ولتسنج اندازه بگیرید.

۳- کلید را وصل کنید و در این حالت، شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر باتری را بخوانید. به کمک این دو آزمایش، با استفاده از رابطه‌ای که در مثال ۷-۲ برای اختلاف پتانسیل دو سر مولّد به دست آمد، مقاومت درونی باتری را محاسبه کنید.

توان مولّد: با توجه به رابطه‌ی ۱۴-۲ اگر جریانی که از مولّد می‌گذرد I باشد، داریم :

$$U = \epsilon I t \quad (16-2)$$

از آنجا توان تولیدشده به وسیله‌ی مولّد از رابطه‌ی ۱۷-۲ به دست می‌آید.

$$P = \frac{U}{t} = \epsilon I \quad (17-2)$$

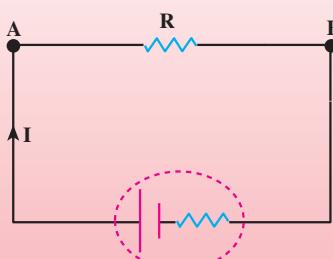
بخشی از این توان تولیدی به دلیل مقاومت درونی مولّد، در درون مولّد مصرف می‌شود، که بنا به آن چه در مورد توان مصرفی در یک مقاومت دیدیم، این مقدار برابر rI^2 است؛ بنابراین، توان مفید مولّد (یا توان خروجی) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$P = \epsilon I - rI^2 \quad (18-2)$$

مثال ۸-۲

دوسر مقاومت $\frac{3}{5}$ اهمی را به یک باتری به نیروی محرکه‌ی ϵ و مقاومت درونی 1Ω بسته‌ایم. شدت جریان در مدار $2A$ شده است.

الف) اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و توان مصرف شده در آن را حساب کنید.



شکل ۱۸-۲

ب) نیروی محرکه‌ی مولد و توان تولیدی آن چه اندازه است؟

حل: (الف) با توجه به شکل ۱۸-۲ می‌توان نوشت:

اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت

$$V_A - IR = V_B \Rightarrow V_A - V_B = IR = 2 \times 3/5 = 7.2V$$

توان مصرفی در مقاومت $P = RI^2 = 3/5 \times 4 = 14.4W$

$$V_A - IR - Ir + \epsilon = V_A \quad (ب)$$

$-2 \times 3/5 - 2 \times 1 + \epsilon = 0 \Rightarrow \epsilon = 9V$ نیروی محرکه‌ی مولد

$$P = \epsilon I \Rightarrow P = 9 \times 2 = 18W \quad \text{توان تولیدی مولد}$$

تمرین ۵-۲

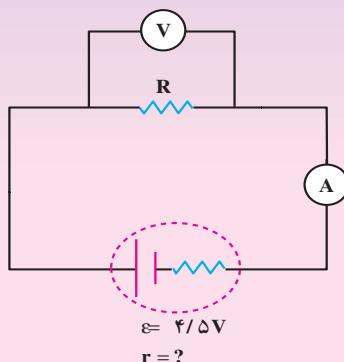
در مدار شکل ۱۹-۲ آمپرسنج $5A$ و ولتسنج $4V$ ولت را نشان می‌دهد.

(الف) مقاومت R را محاسبه کنید.

(ب) توان مصرف شده در مقاومت R و توان تولیدی مولد را محاسبه کنید.

(پ) افت پتانسیل در مولد را محاسبه کنید.

(ت) مقاومت درونی مولد را محاسبه کنید.

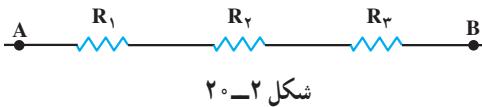


شکل ۱۹-۲

۲-۸- به هم بستن مقاومت‌ها

در مدارهای الکتریکی متداول معمولاً مقاومت‌ها به صورت‌های متفاوت به هم متصل می‌شوند. برخی از این مدارها می‌توانند بسیار پیچیده باشند. در ادامه به بررسی دو نوع ساده‌ی به هم بستن مقاومت‌ها می‌پردازیم. اکثر مدارهای پیچیده را می‌توانیم با استفاده از روابطی که برای دو نوع به هم بستن ساده‌ی زیر به دست می‌آوریم، بررسی کنیم.

الف - به هم بستن متواالی مقاومت‌ها: در این روش، مقاومت‌ها مطابق شکل ۲-۲ به هم بسته می‌شوند و در مدار قرار می‌گیرند.



شکل ۲-۲

در به هم بستن مقاومت‌ها به‌طور متواالی، هر مقاومت با مقاومت بعدی در یک سر مشترک است. اگر دو سر A و B را به اختلاف پتانسیل ثابتی ببنديم، جريان I از هر یک از مقاومت‌ها می‌گذرد. با توجه به شکل ۲-۲ و روش محاسبه‌ی اختلاف پتانسیل بين دو نقطه در مدار تک حلقه می‌توان نوشت:

$$V_A - IR_1 - IR_2 - IR_3 = V_B \quad (19-2)$$

و از آنجا خواهیم داشت:

$$V_A - V_B = IR_1 + IR_2 + IR_3 \quad (20-2)$$

مقادیت معادل هر مجموعه از این مقاومت‌ها مقاومتی است که اگر به جای آن‌ها به همان اختلاف پتانسیل $V_A - V_B$ وصل شود، همان شدت جريان از آن عبور کند؛ بنابراین، اگر مقاومت معادل این مجموعه را R بگیریم، خواهیم داشت:

$$V_A - V_B = IR \quad (21-2)$$

$$IR_1 + IR_2 + IR_3 = IR \quad (22-2)$$

یا:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (23-2)$$

بدیهی است که اگر به جای سه مقاومت، n مقاومت متواالی داشته باشیم، مقاومت معادل آن‌ها از رابطه‌ی ۲۳-۲ به دست می‌آید.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (23-2)$$

مثال ۹-۲

مقاومت‌های $R_1 = 2\Omega$ و $R_2 = 4\Omega$ و $R_3 = 1\Omega$ و $R_4 = 3\Omega$ را به‌طور

متوالی به هم بسته‌ایم.

الف – مقاومت معادل مجموعه مقاومت‌ها را حساب کنید. اگر این مجموعه از مقاومت‌ها را به دو سر مولدی به نیروی محرکه‌ی ۶ ولت و مقاومت درونی ناچیز بیندیم، شدت جریان در مدار چه قدر می‌شود؟

ب – توان مصرفی هر یک از مقاومت‌ها و مجموع توان مصرفی هر مقاومت و توان مصرفی کل را محاسبه و با هم مقایسه کنید.

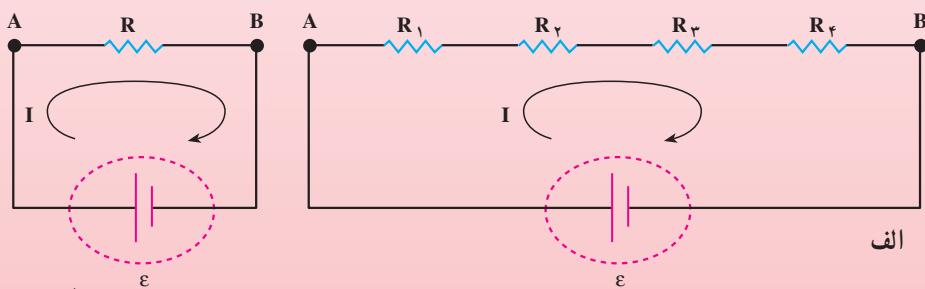
حل: الف – بنا به رابطه‌ی ۲-۲۳ داریم :

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = 2 + 4 + 1 + 3 = 10 \Omega$$

مقاومت معادل

در شکل ۲۱-۲ الف و ب به‌ترتیب به هم بستن مقاومت‌های متوالی را به باتری و قرار گرفتن مقاومت معادل را به‌جای آن‌ها مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۱-۲

در این حالت، بنا به آن‌چه در مورد مدارهای تک‌حلقه گفتیم، شدت جریان مدار

$$I = \frac{\epsilon}{R} \Rightarrow I = \frac{6}{10} = 0.6 \text{ A}$$

– ب

$$P_1 = R_1 I^2 \rightarrow P_1 = 2 \times 0.36 = 0.72 \text{ W}$$

$$P_2 = 4 \times 0.36 = 1.44 \text{ W}$$

$$P_3 = 1 \times 0.36 = 0.36 \text{ W}$$

$$P_4 = 3 \times 0 / 36 = 1 / 0.8 W$$

$$P = RI^2 \Rightarrow P = 1 \times 0 / 36 = 3 / 6 W$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0 / 72 + 1 / 44 + 0 / 36 + 1 / 0.8 = 3 / 6 W$$

بنابراین توان مصرفی کل برابر مجموع توان مصرفی مقاومت‌هاست.

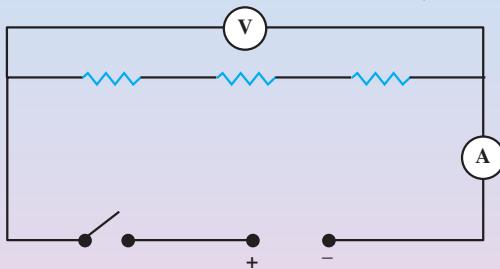
تمرین ۶-۲

می‌خواهیم تعدادی لامپ ۱۲ ولتی و ۲۶ واتی را با برق ۱۸۰ ولت روشن کنیم.
چند عدد از این لامپ‌ها را به‌طور متواالی به هم بیندیم تا بدون آن که بسوزند، توان
مصرفی هر کدام همان ۲۶ وات باشد؟

آزمایش ۴-۲

وسیله‌های لازم: چند مقاومت $1/7\Omega$ ، 12Ω ، 10Ω و 15Ω ، سیم رابطه،
ولت‌سنج، آمپرسنج، کلید قطع و وصل، منبع تقدیم و اهم متر.

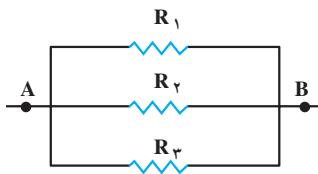
۱- ابتدا سه یا چهار مقاومت را به‌طور متواالی به هم بیندیم و پس از آن با این
مقاومت‌ها مداری مطابق شکل ۲۲-۲ ترتیب دهید.



شکل ۲۲-۲

۲- با اندازه‌گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه‌ی مقاومت‌ها
از رابطه‌ی $R = \frac{V}{I}$ مقاومت معادل را اندازه بگیرید و پس از آن، با استفاده از اهم متر،
 مقاومت معادل مجموعه‌ی مقاومت‌ها را اندازه گیری کنید. نتیجه را با آن‌چه از رابطه‌ی
 $R = \frac{V}{I}$ به‌دست آورده‌اید، مقایسه نمایید.

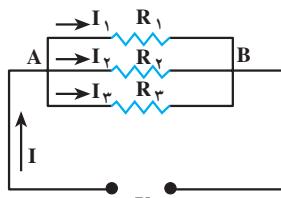
ب — به هم بستن مقاومت‌ها به طور موازی: شکل ۲۳-۲ سه مقاومت را نشان می‌دهد که بین دو نقطه‌ی A و B به طور موازی به هم بسته شده‌اند.



۲۳-۲

در به هم بستن موازی مقاومت‌ها یک سر همه‌ی مقاومت‌ها به یک نقطه (مثلاً نقطه‌ی A) و سر دیگر همه‌ی آن‌ها نیز به یک نقطه (مثلاً نقطه‌ی B) بسته شده است. در این حالت، اگر دو سر مجموعه مطابق شکل ۲۴-۲ به اختلاف پتانسیل V وصل شود، جریان الکتریکی در هر یک از مقاومت‌ها برقرار می‌گردد. بنابر اصل پایستگی بار، باید شدت جریان در شاخه‌ی اصلی با مجموع شدت جریان‌هایی که در هر یک از مقاومت‌ها برقرار شده است، برابر باشد.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (24-2)$$



۲۴-۲

۱-۲ فعالیت

آزمایشی را طراحی کنید که درستی رابطه‌ی ۲۴-۲ را نشان دهد.

در به هم بستن مقاومت‌ها به طور موازی چون یک سر مقاومت‌ها به نقطه‌ی A و سر دیگر به نقطه‌ی B وصل است بنابراین ولتاژ یک سر همه مقاومت‌ها V_A و سر دیگر V_B است. به عبارت دیگر، در این حالت اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های موازی یکسان است؛ بنابراین، براساس قانون اهم می‌توان نوشت:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad I_2 = \frac{V}{R_2} \quad I_3 = \frac{V}{R_3} \quad (25-2)$$

اگر مقاومت معادل این مقاومت‌های موازی را با R نشان دهیم، برای مقاومت معادل آن‌ها نیز داریم:

$$I = \frac{V}{R} \quad (26-2)$$

از رابطه‌های ۲۴-۲ و ۲۵-۲ و ۲۶-۲ نتیجه می‌شود:

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \quad (27-2)$$

یا:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (27-2)$$

بنابراین، در به هم بستن مقاومت‌ها به‌طور موازی، وارون مقاومت معادل برابر مجموع وارون مقاومت‌هاست.

تمرین ۷-۲

نشان دهید وقتی دو مقاومت به‌طور موازی به یک‌دیگر وصل شوند، نسبت شدت جریان‌های آن‌ها به نسبت وارون مقاومت‌هاست.

مثال ۱۰-۳

مقاومت‌های $R_1 = 6\Omega$ و $R_2 = 4\Omega$ و $R_3 = 12\Omega$ و $R_4 = 6\Omega$ را به‌طور موازی به هم می‌بندیم و در دو سر آن‌ها اختلاف پتانسیل ۱۵ ولت برقرار می‌کنیم.

الف – مقاومت معادل و شدت جریان کل را بدست آورید.

ب – شدت جریان را در هر یک مقاومت‌ها حساب کنید.

پ – توان مصرفی هر مقاومت و توان مصرفی کل را محاسبه کنید.

حل: الف – برای محاسبه‌ی مقاومت معادل بنا به رابطه‌ی ۲۷-۳ داریم:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{6} + \frac{1}{4} + \frac{1}{12} + \frac{1}{6} = \frac{2+3+1+2}{12} = \frac{8}{12}$$

$$R = \frac{12}{1} = 1.5 \Omega$$

مقاومت معادل

شدت جریان کل از رابطه‌ی $I = \frac{V}{R}$ به دست می‌آید.

$$I = \frac{15}{1.5} = 10 A$$

شدت جریان کل

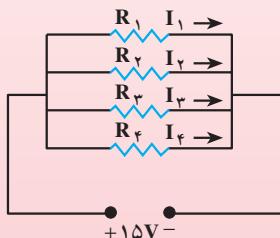
ب- با توجه به شکل ۲۵-۲ برای محاسبه‌ی شدت جریان در هر یک از

مقاومت‌ها، می‌توان نوشت:

$$V = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = I_4 R_4$$

$$I_1 = \frac{15}{6} = 2.5 A \quad \text{و} \quad I_2 = \frac{15}{4} = 3.75 A$$

$$I_3 = \frac{15}{12} = 1.25 A \quad \text{و} \quad I_4 = \frac{15}{6} = 2.5 A$$



شکل ۲۵-۲

همان‌طور که می‌بینید، شدت جریان به نسبت وارون مقاومت‌ها توزیع شده است.

بنابراین رابطه‌ی ۱۱-۲ داریم:

$$P = VI$$

$$P_1 = 15 \times 2.5 = 37.5 W \quad P_2 = 15 \times 3.75 = 56.25 W$$

$$P_3 = 15 \times 1.25 = 18.75 W \quad P_4 = 15 \times 2.5 = 37.5 W$$

برای محاسبه‌ی توان کل با استفاده از مقاومت معادل می‌توان نوشت:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{225}{1.5} = 150 W$$

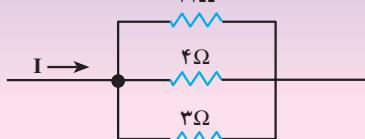
همان‌طور که پیشتر هم دیدیم، برای محاسبه‌ی توان کل می‌توانستیم توان مصرفی

در مقاومت‌ها را با هم جمع کنیم.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 37.5 + 56.25 + 18.75 + 37.5 = 150 W$$

تمرین ۱-۲

در شکل ۲۶-۲ قسمتی از یک مدار را مشاهده می‌کنید. اگر توان مصرفی در مقاومت ۱۲ اهمی ۳ وات باشد، شدت جریان در مقاومت‌های 4Ω و 3Ω و شدت جریان کل چه قدر است؟



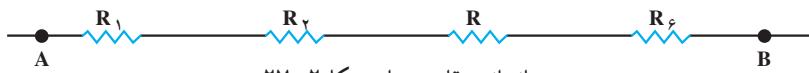
شکل ۲۶-۲

در مواردی ممکن است تعدادی از مقاومت‌ها به طور متواالی و تعدادی دیگر به صورت موازی به هم بسته شده باشند. در شکل ۲۷-۲ تعدادی مقاومت شامل مقاومت‌های موازی R_5 و R_4 و R_3 را مشاهده می‌کنید که با سه مقاومت R_1 و R_2 و R_6 به طور متواالی بسته شده‌اند. در این موارد که مقاومت‌ها شامل مجموعه‌ای موازی و متواالی است، برای محاسبه‌ی مقاومت معادل مجموعه، می‌توان به جای مقاومت‌های موازی در هر قسمت معادل آن‌ها را قرار داد و پس از آن، مقاومت معادل مجموعه‌ی متواالی را محاسبه کرد.

در شکل ۲۷-۲ اگر مقاومت معادل R_3 و R_4 و R_5 برابر R باشد، به جای مقاومت‌های شکل ۲۸-۲ را نشاند.



شکل ۲۷-۲



جانشانی مقاومت‌های شکل ۲۷-۲

شکل ۲۸-۲

به همین ترتیب، به جای مقاومت‌های شکل ۲۸-۲ می‌توان مقاومت معادل آن‌ها را مطابق شکل ۲۹-۲ نشاند.



$$R' = R_1 + R_2 + R + R_6$$

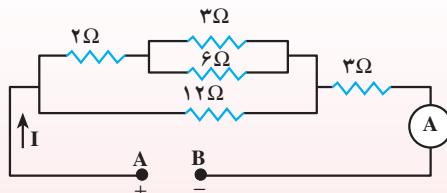
شکل ۲۹-۲

R' مقاومت معادل مقاومت‌های شکل ۲۷-۲ است.

مثال ۱۲-۳

در مدار شکل ۲-۳ اختلاف پتانسیل بین دو نقطه‌ی A و B ۲۴ ولت است.

شدت جریانی را که آمپرسنچ (A) نشان می‌دهد، چند آمپر است؟



شکل ۲-۳

حل: برای محاسبه‌ی شدت جریان کل، نخست با اعمال ساده‌سازی‌های نشان داده شده در شکل‌های ۳۱-۲ الف تا ت مدار معادل شکل ۲-۳ را به دست می‌آوریم.

الف - مقاومت معادل دو مقاومت موازی 3Ω و 6Ω برابر 2Ω است.

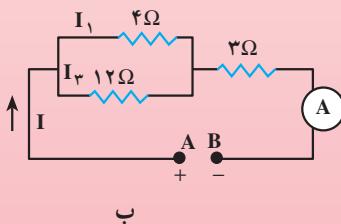
ب - مقاومت معادل دو مقاومت متواالی 2Ω و 2Ω برابر 4Ω است.

پ - مقاومت معادل دو مقاومت موازی 4Ω و 12Ω برابر 3Ω است.

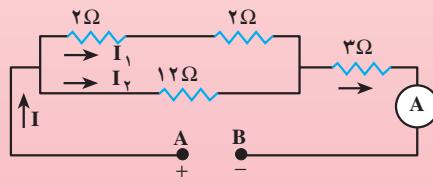
ت - مقاومت معادل دو مقاومت متواالی 3Ω و 3Ω ، یعنی مقاومت معادل مدار

شکل ۲-۳، برابر 6Ω است. در این حالت، شدت جریانی که آمپرسنچ نشان می‌دهد،

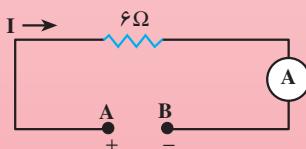
$$I = \frac{V}{R} = \frac{24}{6} = 4A$$



ب

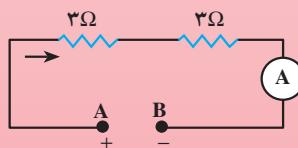


الف



ت

شکل ۳۱-۲

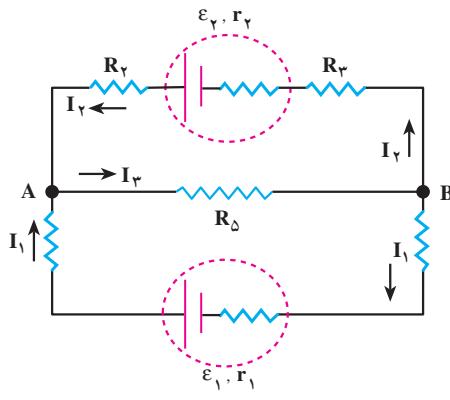


پ

۹-۲ قانون کیرشهف

در مثال‌های ۱۰-۲، ۱۱-۲ و ۱۲-۲ با استفاده از مقاومت معادل، مدار را ساده کردیم و پاسخ مورد نظر را به دست آوردیم. این روش ساده‌سازی همواره قابل استفاده نیست. بهویژه در مدارهایی که شامل باتری‌های متعددند. این گونه مدارها را می‌توان با به کار بردن قانون‌هایی که در همهی مدارها به کار می‌روند و به قانون‌های کیرشهف معروف‌اند، بررسی کرد. این قانون‌ها عبارت‌اند از :

الف - قانون شدت جریان‌ها: مجموع جریان‌هایی که به هر گره (یعنی نقطه‌ای که اجزایی مدار در آن نقطه به هم متصل شده‌اند) می‌رسند، برابر مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطه خارج می‌شوند (این قاعده از اصل پایستگی بار نتیجه می‌شود). در شکل ۳۲-۲ I_1 و I_2 به نقطه‌ی A وارد و I_3 از آن نقطه خارج می‌شود یا $I_3 = I_1 + I_2$ به نقطه‌ی B وارد و I_1 و I_2 از آن نقطه خارج می‌شوند. اگر P گره در مدار وجود داشته باشد، این قانون را برای ۱-P گره می‌توان نوشت :



۳۲-۲ شکل

با به قانون شدت جریان‌ها

$$I_3 = I_1 + I_2$$

ب - قانون اختلاف پتانسیل‌ها: در هر حلقه یا هر مدار بسته، مجموع جبری اختلاف پتانسیل‌ها صفر است. در به کار بردن این قانون باید نکته‌های زیر را رعایت کرد.

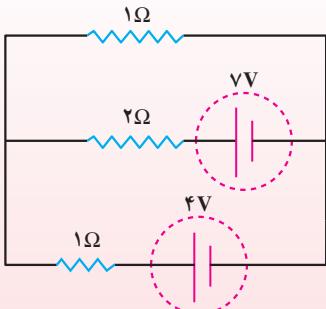
۱ - همان‌طور که در بخش ۶-۲ در مورد مدار تک‌حلقه دیدیم، اگر جهت جریان در مدار مشخص نباشد، جهتی را برای جریان انتخاب می‌کنیم و همان روش را برای حل‌های موردنظر به کار می‌بریم.

۲ - اگر n شاخه در مدار وجود داشته باشد، برای حل مدار به n معادله نیاز داریم و برای نوشتمن معادله‌ها به تعداد لازم حلقه درنظر می‌گیریم.

در مثال‌هایی که در ادامه می‌آید، با کاربردهای این قانون‌ها در حل مسئله‌ها آشنا می‌شویم.

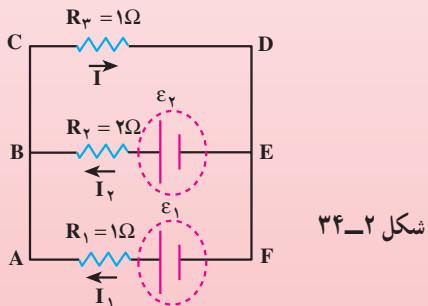
مثال ۲

در مدار شکل ۳۳-۲ شدت جریان را در هر یک از مقاومت‌ها حساب کنید (مقاومت درونی مولدها ناچیز است).



شکل ۳۳-۲

حل: ابتدا برای هر شاخه، جریانی در جهت دلخواه مطابق شکل ۳۴-۲ انتخاب می‌کنیم. با توجه به تعریف گره - همان طور که در شکل ۳۴-۲ دیده می‌شود - دو گره در این مدار وجود دارد (نقطه‌های B و E).



شکل ۳۴-۲

در این صورت، بنا به قانون شدت جریان‌ها بین شدت جریان‌ها رابطه‌ای به صورت زیر برقرار است.

$$I = I_1 + I_2 \quad (1)$$

بنا به قانون اختلاف پتانسیل‌ها در حلقه‌ی (مسیر بسته) CDFAC (شامل R_3 و ϵ_1 و R_1) می‌توان نوشت:

$$-IR_3 + \epsilon_1 - I_1R_1 = 0 \quad (2)$$

در حلقه‌ی CDEBC (شامل R_2 و ϵ_2 و R_1) نیز می‌توان نوشت:

$$-IR_3 + \epsilon_2 - I_2R_2 = 0 \quad (3)$$

از سه معادله‌ی ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب I_1 و I_2 و I را بدست می‌آوریم. برای حل کردن این معادله‌ها، در معادله‌های ۲ و ۳ به جای I مساوی آن – یعنی $I_1 + I_2 - I$ – را قرار می‌دهیم. درنتیجه، خواهیم داشت:

$$\begin{cases} -2I_1 - I_2 = -4 \\ -I_1 - 3I_2 = -7 \end{cases}$$

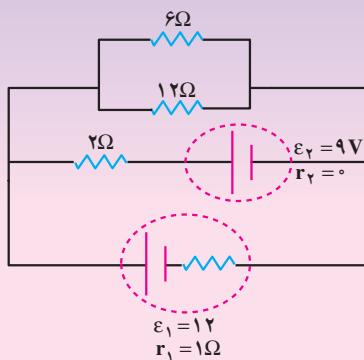
و از آن‌جا نتیجه می‌شود:

$$I_2 = 2A \quad \text{و} \quad I_1 = 1A$$

$$I = I_1 + I_2 = 2 + 1 = 3A$$

تمرین ۹-۲

در مدار شکل ۳۵-۲ شدت جریان را در هر شاخه محاسبه کنید.



شکل ۳۵-۲

مثال ۱۴-۲

در مدار شکل ۳۶-۲ شدت جریان در هر شاخه چند آمپر است؟

حل: در حلقه‌ی ۱ بنا به قاعده‌ی اختلاف پتانسیل‌ها می‌توان نوشت:

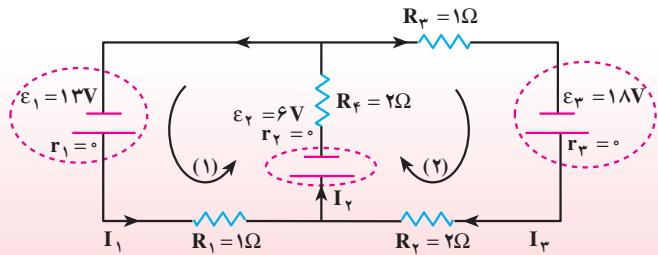
$$-I_1 R_1 - \varepsilon_2 - I_2 R_4 + \varepsilon_1 = 0$$

در حلقه‌ی ۲ می‌توان نوشت:

$$-I_2 R_2 - \varepsilon_2 - I_2 R_4 - I_3 R_3 + \varepsilon_3 = 0$$

و بنا به قاعده‌ی شدت جریان‌ها

$$I_2 = I_1 + I_3$$



شکل ۳۶-۲

: یا

$$\begin{cases} -1 \times I_1 - 6 - 2 \times I_2 + 13 = 0 \\ -2 \times I_3 - 6 - 2I_2 - 1 \times I_3 + 18 = 0 \end{cases}$$

$$-I_1 - 6 - 2(I_1 + I_2) + 13 = 0 \Rightarrow 3I_1 - 2I_2 + 7 = 0$$

$$-2I_3 - 6 - 2(I_1 + I_3) - I_2 + 18 = 0 \Rightarrow 2I_1 - 5I_3 + 12 = 0$$

از حل دو معادله ای اخیر نتیجه می شود :

$$I_3 = 2A \quad I_2 = 3A \quad I_1 = 1A$$

مثال ۳۷-۲

شکل ۳۷-۲ قسمتی از یک مدار را نشان می دهد. $V_A - V_B$ را حساب کنید.

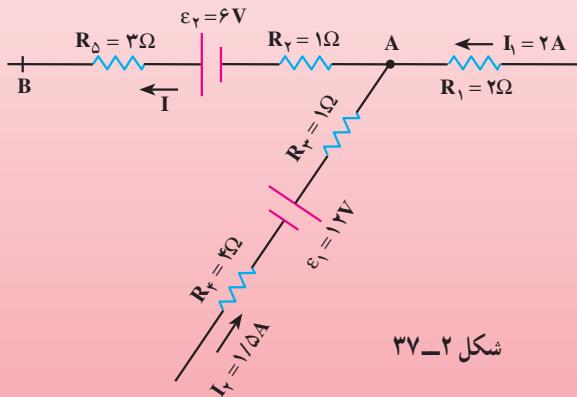
حل: همان طور که در شکل ۳۷-۲ دیده می شود، I_1 و I_2 به نقطه A تزدیک و

از آن نقطه دور می شود بنابراین :

$$I = I_1 + I_2 = 2 + 1/5 = 3/5A$$

$$V_A - IR_2 + \epsilon_2 - IR_5 = V_B \quad \text{از طرفی}$$

$$V_A - V_B = 3/5 \times 1 - 6 + 3/5 \times 3 = 8V$$



شکل ۳۷-۲

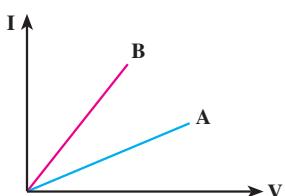
تمرین‌های فصل دوم

۱- شارش بار در هر مقطع رسانا را هنگام اعمال میدان الکتریکی در دو سر رسانا و موقع عدم حضور میدان مقایسه کنید. تغییر دما در هر یک از این وضعیت‌ها چه اثری بر آهنگ شارش بار دارد؟

۲- مناسب‌ترین ولتسنج برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل در یک مدار چه ویژگی‌ای باید داشته باشد؟ اگر ولتسنج مناسب نباشد، آن‌چه اندازه‌گیری می‌شود با اندازه‌ی واقعی چه تفاوتی دارد؟ سؤال بالا را در مورد آمپرسنج مناسب هم بررسی کنید.

۳- قانون اهم رابطه‌ی مقاومت را با شدت جریان و ولتاژ بیان می‌کند $\frac{V}{I} = R$. توضیح دهید اگر ولتاژ افزایش یا کاهش یابد مقادار R تغییر می‌کند؟

۴- اختلاف پتانسیل دو سر باتری اتمبیل‌های سواری برابر ۱۲ ولت است. اگر ۸ باتری قلمی ۱/۵ ولتی به طور متواالی به یکدیگر وصل کنیم، اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه‌ی آن‌ها نیز برابر ۱۲ ولت می‌شود. توضیح دهید چرا در خودروها به جای باتری خودرو از ۸ باتری قلمی استفاده نمی‌شود.

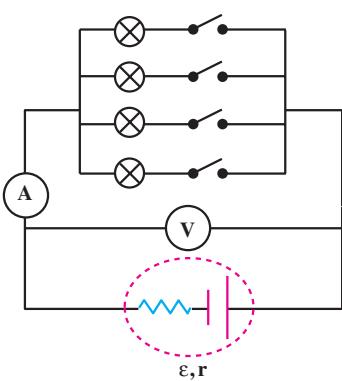


شکل ۲-۲

۵- شکل ۲-۲ نمودار $I-V$ را برای دو نوع رسانا نشان می‌دهد. مقاومت کدام‌یک بیش‌تر است؟

۶- نمودار تغییرات ولتاژ دوسر مولد را بر حسب شدت جریانی که از آن می‌گذرد به طور کیفی رسم کنید.

۷- لامپ‌های یک درخت زینتی، به طور متواالی متصل شده‌اند. اگر یکی از لامپ‌ها بسوزد، چه انفاقی می‌افتد؟



شکل ۲-۳

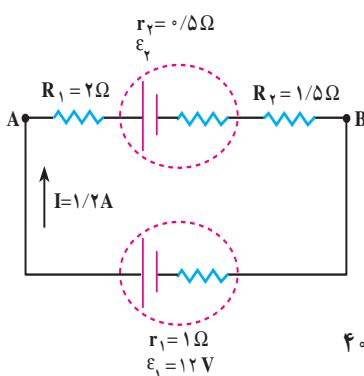
۸- در شکل ۲-۳ تعدادی لامپ مشابه به طور موازی به هم متصل شده‌اند و هر لامپ با کلیدی همراه است. بررسی کنید که با بستن کلیدها یکی پس از دیگری، اعدادی که آمپرسنج و ولتسنج نشان می‌دهند، چه تغییری می‌کند؟

۹- دو مقاومت مساوی R را یک‌بار به طور متواالی و بار دیگر به طور موازی به یک دیگر می‌بندیم و آن‌ها را هر بار به ولتاژ V وصل می‌کنیم. نسبت توان مصرف شده در حالت موازی به توان مصرف شده در حالت متواالی چه قدر است؟

- ۱۰- سه مقاومت مشابه $12\ \Omega$ را یک بار به طور متواالی و بار دیگر به طور موازی به یکدیگر می‌بندیم و به اختلاف پتانسیل 12 ولت وصل می‌کنیم. در هر بار، چه جریانی از هر مقاومت می‌گذرد؟
- ۱۱- دو مقاومت موازی $6\ \Omega$ و $12\ \Omega$ اهمی به طور متواالی به یک مقاومت $2\ \Omega$ اهمی وصل شده است. در این حال، شبکه را به دو سر یک باتری 36 ولتی با مقاومت داخلی ناچیز می‌بندیم. توان مصرفی را در مقاومت $6\ \Omega$ اهمی محاسبه کنید.

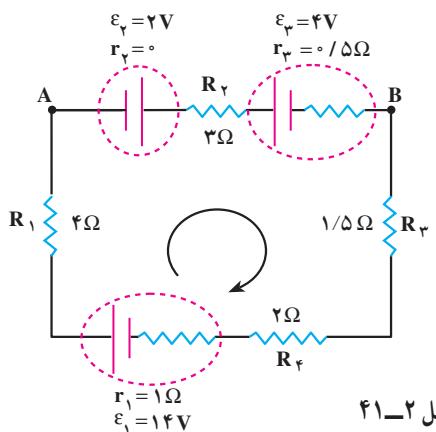
- ۱۲- از مقاومت‌های موازی $4\ \Omega$ ، $6\ \Omega$ و $12\ \Omega$ جریان $21\ A$ عبور می‌دهیم. چه جریانی از مقاومت $6\ \Omega$ می‌گذرد؟

- ۱۳- در مدار شکل ۲-۴ شدت جریان در جهت نشان داده شده $1/2\ A$ مپر است.



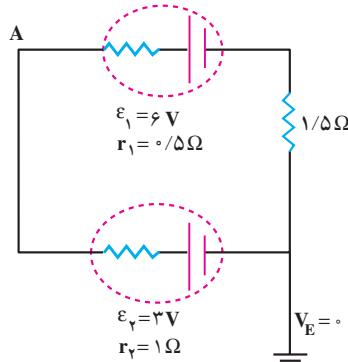
شکل ۲-۴

- الف - نیروی محرکه‌ی ϵ_2 و $V_A - V_B$ چه قدر است؟
- ب - انرژی مصرف شده در R_1 و R_2 را در مدت 5 ثانیه حساب کنید.
- ۱۴- در مدار شکل ۲-۴۱، شدت جریان در مدار و اختلاف پتانسیل بین دو نقطه‌ی A و B را محاسبه کنید.



شکل ۲-۴۱

۱۵- در شکل ۴۲-۲ پتانسیل نقطه‌ی A را محاسبه کنید.

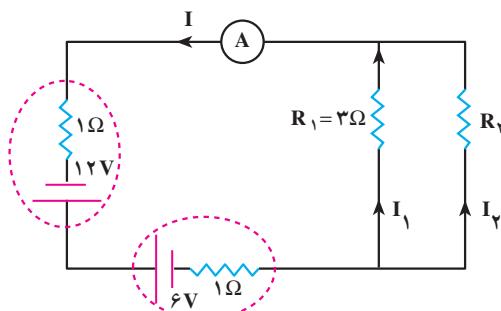


شکل ۴۲-۲

۱۶- شدت جریانی که آمیرسنج در مدار شکل ۴۳-۲ نشان می‌دهد، برابر ۲ آمپر است.

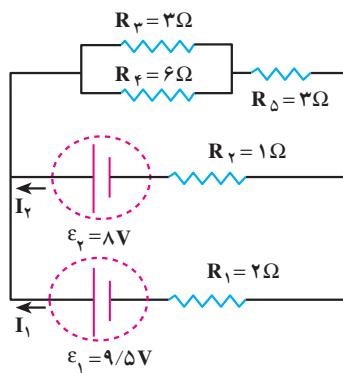
الف - مقاومت R_7

ب - توان مصرفی هر یک از دو مقاومت را حساب کنید.



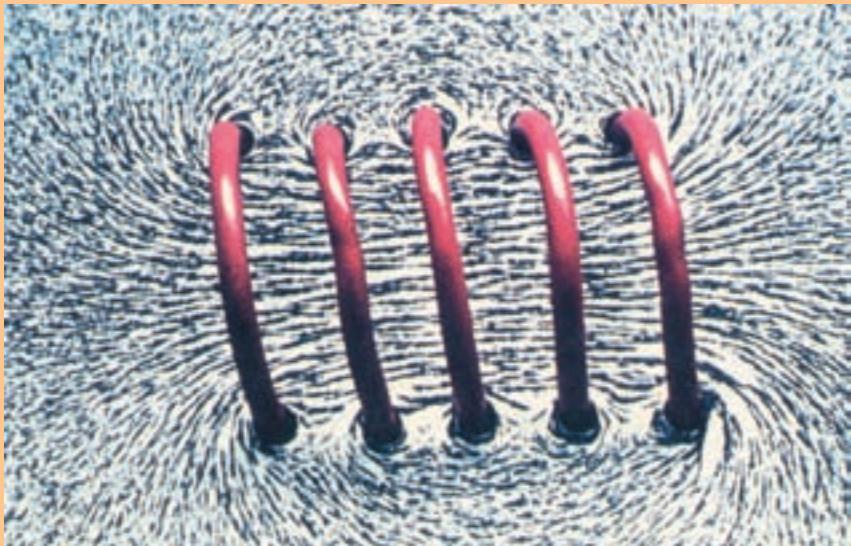
شکل ۴۳-۲

۱۷- در مدار شکل ۴۴-۲، شدت جریان در هر باتری و توان مصرفی کل مقاومت‌های $R_۴$ و $R_۵$ را به دست آورید.



شکل ۴۴-۲

۳



می‌دانیم آهنرباهای دائم در فضای اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنند. در این فصل خواهیم دید جریان الکتریکی نیز می‌تواند میدان مغناطیسی تولید کند. شکل بالا یک سیم‌لوهی حامل جریان را نشان می‌دهد که در فضای اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد کرده است و این میدان باعث جهت‌گیری برآدهای آهن در راستای خط‌های میدان مغناطیسی شده است.

فصل ۳

مغناطیس

اگر تاکنون با یک اسباب بازی مغناطیسی بازی کرده باشید، یا یک قطب‌نما را به کار برده باشید و یا آهنربایی را مثلاً برای نگهداشتن یک برگه‌ی کاغذ روی بدن‌هی یخچال مورد استفاده قرار داده باشید، احتمالاً از مشاهده‌ی پدیده‌های مربوط به شگفت آمده‌اید. آهنرباها برای بسیاری از ما جذبیت خاصی دارند.



شب هنگام نور شمالگان (شفق قطبی) در نیم‌کره‌ی شمالی به صورت پرده‌ای نورانی در آسمان دیده می‌شود. ضخامت این پرده‌ی خمیده می‌تواند به ارتفاع چند کیلومتر و به طول چندین هزار کیلومتر باشد.

آهنربایی را در دست خود نگه دارید و تزدیک یک جسم آهنی یا فولادی بایستید، آیا احساس نمی‌کنید که دست شما به طرف آن جسم کشیده می‌شود. در هر یک از دستان خود یک آهنربا نگه دارید، حتی وقتی هم که دو آهنربا با هم در تماس نیستند، وجود نیروی مغناطیسی را احساس می‌کنید. اگر یک ماده‌ی غیرمغناطیسی مثل شیشه نیز بین دو آهنربا باشد، باز هم این نیرو وجود دارد. دو آهنربا حتی در خلاً هم به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. زمین نیز خود یک آهنربای عظیم است، که اثرهای ناشی از آن در پدیده‌های متفاوت دیده می‌شود.

در این فصل خواهیم دید که جریان‌های الکتریکی نیز اثرهای مغناطیسی دارند. از اثرهای مغناطیسی سیم‌های حامل جریان و مواد مغناطیسی در بسیاری از ماشین‌ها و دستگاه‌هایی که زندگی روزانه‌ی ما را ساده‌تر می‌کنند، استفاده می‌شود.

۱-۳ آهنربا

یونانیان باستان، بیش از ۲۵۰ سال پیش با پدیده‌ی آهنربایی آشنا بودند. تالس که اغلب از او به عنوان پدر علم یونان یاد می‌شود، ماده‌ی کانی مگنتیت (Fe_3O_4) را که آهن را می‌رباید می‌شناخت. همان‌گونه که می‌دانید، ماده‌های دارای این ویژگی را آهنربا می‌نامند. چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربا آشنایی داشتند و تکه‌هایی از این سنگ‌ها را به صورت قطب‌نماهای ساده در دریانوردی به کار می‌بردند.

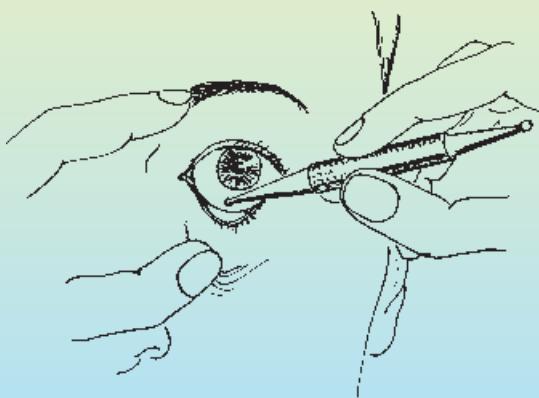
فعالیت ۱-۳

در گروه خود آن‌چه را که درباره‌ی آهنرباها و کاربردهای آن‌ها می‌دانید، به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

آهنرباها را با توجه به نوع کاربردی که دارند، به شکل‌های مختلف (میله‌ای، نعلی‌شکل، تیغه‌ای و ...) می‌سازند.

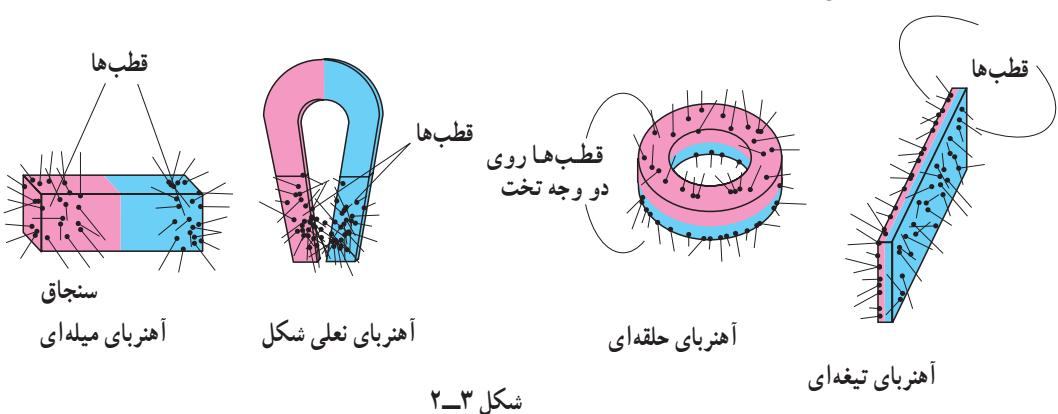
فناوری

یکی از موارد استفاده از آهنربای در پزشکی در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است. همان‌گونه که شکل نشان می‌دهد از یک آهنربای میله‌ای خاص که قطب‌های آن به صورت گرد و هموار درآمده است برای بیرون آوردن تراشه‌های آهن و فولاد از درون چشم استفاده شده است. این روش بیرون آوردن قطعه‌های آهنی یا فولادی از برخی نواحی دیگر بدن نیز در بعضی از عمل‌های جراحی انجام می‌شود.



شکل ۱-۳

قطب‌های آهنربای: در آهنربای – بهر شکلی که باشد – دو ناحیه وجود دارد که خاصیت آهنربایی در آن‌ها بیش از قسمت‌های دیگر است. این ناحیه‌ها را قطب‌های آهنربای می‌نامند. قطب‌های آهنربای‌های به شکل‌های مختلف را در شکل ۲-۳ مشاهده می‌کنید. تجمع سنجاق‌های کوچک مکان قطب‌های آهنربای را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳

فعالیت ۳-۲

به کمک براده‌های آهن یا چند سنجاق، قطب‌های هر یک از آهنرباهای را که در اختیار دارید، تعیین کنید.

پیش از این دیده‌اید که عقریه‌ی مغناطیسی همواره در جهت معینی می‌ایستد، به گونه‌ای که یک قطب معین آن مطابق شکل ۳-۳ تقریباً به طرف شمال و قطب دیگر آن به طرف جنوب قرار می‌گیرد. قطبی را که به سوی شمال تمایل دارد (یا به عبارت دیگر شمال‌گرا است) قطب N و قطب جنوب‌گرا را قطب S می‌نامند (شکل ۳-۳). قطب‌های همنام آهنرباها یک دیگر را می‌رانند و قطب‌های غیرهمنام یک دیگر را می‌ربایند.



شکل ۳-۳-قطب‌نمایه‌ایی که ملاحان در دریا و کوهنوردان به هنگام مه غلیظ برای تعیین جهت حرکت به کار می‌برند، در واقع یک آهنربای میله‌ای نازک است که بر روی پایه‌ای سوار است و می‌تواند آزادانه بر روی آن بچرخد، و جهت تقریبی شمال را نشان دهد. قطب‌نما را عقریه‌ی مغناطیسی هم می‌نامند.

فعالیت ۳-۳

آزمایشی که اثر قطب‌های آهنربا را بر یک دیگر نشان دهد طراحی کنید و انجام دهید.

اگر دو آهنربای نعلی‌شکل را مطابق شکل ۴-۳ در دو دست خود نگه‌دارید و سعی کنید آن‌ها را طوری به هم نزدیک کنید که قطب‌های همنام به یک دیگر نزدیک شوند، به خوبی می‌توانند نیروی رانش بین قطب‌های همنام را احساس کنید.



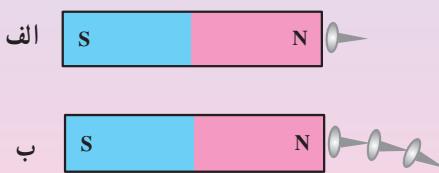
شکل ۳-۴

القای خاصیت مغناطیسی: دیدیم که آهن باها قطعه‌هایی از جنس آهن را می‌ربایند. علاوه بر آهن، ماده‌هایی نظیر نیکل، کالت و آلیاژ‌هایی که از این سه فلز تشکیل شده‌اند نیز جذب آهن را می‌شوند. با انجام دادن آزمایش ۱-۳ در می‌یابید که قطعه‌ی آهنی ریوده شده توسط آهن ربا، خود خاصیت آهن را پیدا کرده است.

آزمایش ۳-۱

وسیله‌های آزمایش: یک آهن ربا میله‌ای، تعدادی میخ آهنی، مقداری براده و آهن (یا سنjac کوچک).

- ۱- به کمک براده‌های آهن تحقیق کنید که میخ‌ها خاصیت آهن را پیدا ندارد.
- ۲- آهن ربا مطابق شکل ۳-۵ الف به یک انتهای میخ نزدیک کنید. بار دیگر خاصیت آهن را به کمک براده‌های آهن تحقیق کنید.
- ۳- مانند شکل ۳-۵ ب میخ‌های دیگر قرار دهید و هر بار وجود یا نبود خاصیت آهن را ایجاد شده پشت سر یک دیگر قرار دهید و هر بار وجود یا نبود خاصیت آهن را در آخرین میخ را بررسی کنید.
- ۴- آهن ربا میله‌ای را از میخ‌ها دور کنید و بار دیگر خاصیت آهن را میخ را بررسی کنید.



شکل ۳-۳

نتیجه‌ی آزمایش ۱-۳ را می‌توانیم به شرح زیر توجیه کنیم: وقتی که آهن ربا در نزدیکی میخ قرار می‌گیرد، در میخ خاصیت مغناطیسی القا می‌شود. اگر قطب N آهن ربا را نزدیک به یک سر میخ بیاوریم، مطابق شکل ۳-۶ خاصیت آهن را طوری القا می‌شود که آن سر، قطب S و سر دورتر قطب N شود. ریاش بین دو قطب غیرهمنام (N در آهن ربا و S در میخ) سبب ریوده شدن میخ به سمت آهن ربا می‌شود.



شکل ۳-۶

این پدیده را القای خاصیت مغناطیسی می‌نامند. همان‌طور که با انجام دادن آزمایش ۳-۱ نشان داده‌اید، با دور کردن آهنربای اصلی، خاصیت آهنربایی القا شده نیز از بین می‌رود. علاوه بر این، خاصیت آهنربایی که در اثر القا در یک قطعه آهن، نیکل یا کبالت ایجاد می‌شود، همواره به صورتی است که قطعه‌ی یاد شده جذب آهنربای اصلی می‌شود.

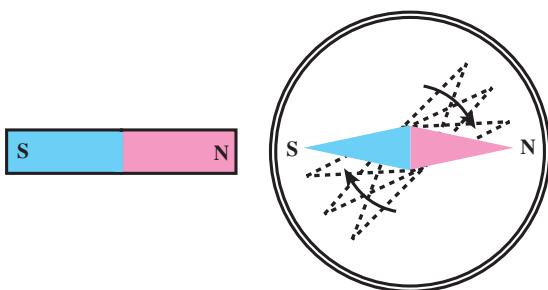
فعالیت ۳-۴

فرض کنید دو میله‌ی کاملاً مشابه یکی از جنس آهن و دیگری آهنربای در اختیار دارید. با بحث در گروه خود، روشی را پیشنهاد کنید که با استفاده از آن بتوانید بدون استفاده از هیچ وسیله‌ی دیگری، میله‌ای را که از جنس آهنربای است مشخص کنید.

۳-۲- میدان مغناطیسی

در فصل دوم با مفهوم میدان الکتریکی آشنا شدید. در آنجا دیدید که در فضای اطراف هر جسمی که بار الکتریکی دارد خاصیتی ایجاد می‌شود که می‌تواند بر هر جسم باردار دیگری که در آن فضا قرار گیرد نیرو وارد کند. هم‌چنین دیدیم که برای توصیف این خاصیت از یک کمیت برداری به نام میدان الکتریکی با نماد \vec{E} استفاده می‌شود.

در فضای اطراف یک آهنربای نیز خاصیتی وجود دارد که در اثر آن در قطعه‌های آهنی خاصیت آهنربایی القا می‌شود و بر قطب‌های آهنربایی دیگر نیرویی وارد می‌شود. برای مثال هرگاه یکی از قطب‌های آهنربایی میله‌ای را به یک عقربه‌ی مغناطیسی که در راستای تقریبی شمال و جنوب جغرافیایی بر روی پایه‌ای قرار دارد، تزدیک کنیم، می‌بینیم که عقربه‌ی مغناطیسی می‌چرخد (شکل ۷-۳).



شکل ۳-۷ - اثر آهنربای بر عقربه‌ی مغناطیسی ای که در نزدیکی آن قرار دارد.

در این وضع اگر آهنربا را دور کنیم، عقربه دورباره در راستای تقریبی شمال و جنوب محل قرار می‌گیرد. این آزمایش وجود خاصیتی را در محیط اطراف یک آهنربا نشان می‌دهد. خاصیتی را که در اطراف آهنربا ایجاد می‌شود و به موجب آن به عقربه مغناطیسی نیرو وارد می‌شود میدان مغناطیسی می‌نامند. میدان مغناطیسی را با نماد \vec{B} نمایش می‌دهند.

میدان مغناطیسی کمیتی برداری است و مانند هر کمیت برداری دیگری دارای جهت و بزرگی است. در ادامه بحث، نخست جهت این بردار و سپس بزرگی و یکای آن را تعریف می‌کنیم.

جهت میدان مغناطیسی: دیدیم هنگامی که یک عقربه مغناطیسی را در میدان مغناطیسی یک آهنربا قرار می‌دهیم، عقربه می‌چرخد و در جهت معینی می‌ایستد. اگر آهنربا را در امتداد جدیدی قرار دهیم، عقربه مغناطیسی نیز خواهد چرخید و در جهت دیگری قرار خواهد گرفت. میدان مغناطیسی در هر نقطه بنا به تعریف هم راستای عقربه مغناطیسی است که در آن نقطه به حال تعادل درآمده باشد و سوی آن از S عقربه به N آن است. به این ترتیب، می‌توانیم بگوییم :

هنگامی که آهنربا در نزدیکی عقربه مغناطیسی قرار می‌گیرد، عقربه می‌چرخد تا در امتداد میدان مغناطیسی آهنربا قرار گیرد و قطب N آن سوی میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.

خطهای میدان مغناطیسی: در فصل اول دیدیم که میدان الکتریکی را با خطهای میدان الکتریکی نمایش می‌دهند. میدان مغناطیسی را نیز می‌توان توسط خطهای میدان مغناطیسی نمایش داد. این خطها طوری رسم می‌شوند که راستای میدان مغناطیسی در هر نقطه مماس بر خط میدان در آن نقطه باشد. خط میدان مغناطیسی در هر نقطه همسو با میدان مغناطیسی در آن نقطه است. علاوه بر این تراکم این خطها در هر ناحیه از فضانگ بزرگی میدان مغناطیسی در آن ناحیه است.

۲-۳ آزمایش

وسیله‌های آزمایش: یک آهنربای میله‌ای، یک عقربه مغناطیسی، مداد و کاغذ.

۱- آهنربای میله‌ای را روی کاغذ قرار دهید.

۲- عقربه مغناطیسی را مطابق شکل ۸-۳ الف نزدیک قطب N آهنربا قرار دهید و با مداد در نقطه‌ای که قطب N عقربه به آن سمت ایستاده یک نقطه بگذارید.

۳- عقربه را جایه‌جا کنید به طوری که قطب S آن روی نقطه‌ای که علامت

زدهاید قرار گیرد. بار دیگر با مداد در مکان قطب N عقره نقطه‌ای بگذارید.

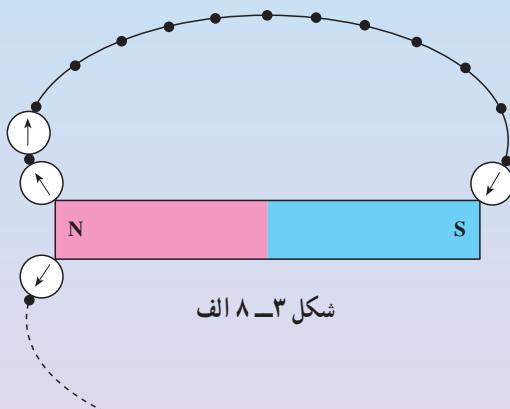
۴- این کار را آنقدر ادامه دهید تا بار دیگر عقره به آهنربای میله‌ای برسد.

۵- این نقطه‌ها را به هم وصل کنید. روی منحنی حاصل، جهتی را که قطب N

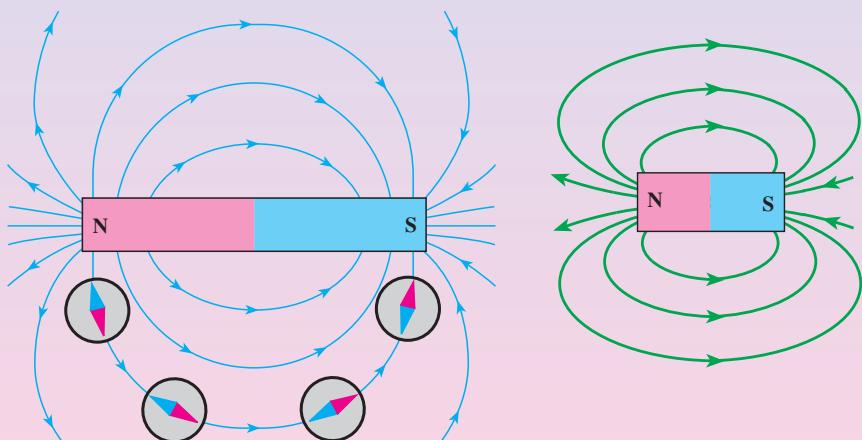
عقره در آن می‌ایستد، با رسم پیکان مشخص کنید.

۶- مرحله‌های ۲ تا ۴ را چند بار تکرار کنید. هر بار از نقطه‌ای تزدیک نقطه‌ی

شروع قبلی آغاز کنید تا آنکه شکلی مانند شکل ۳-۸ ب به دست آورید.



شکل ۳-۸(الف)



شکل ۳-۸(ب)

با استفاده از مقداری براده‌ی آهن می‌توان طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربا تهیه کرد. برای این کار آزمایش ۳-۳ را انجام دهید.

آزمایش ۳-۳

وسیله‌های آزمایش: آهنربای میله‌ای، آهنربای نعلی‌شکل، براده‌ی آهن، یک صفحه‌ی شیشه‌ای یا مقوایی، یک نمک‌پاش (یا وسیله‌ی دیگری برای پاشیدن براده‌ی آهن).

۱- آهنربای میله‌ای را روی میز قرار دهید و صفحه‌ی شیشه‌ای (یا مقوایی) را روی آن بگذارید.

۲- به کمک نمک‌پاش براده‌های آهن را به طور یکنواخت به ضخامت خیلی کم روی شیشه پاشید.

۳- چند ضربه‌ی آرام به صفحه‌ی شیشه‌ای بزنید تا براده‌های آهن در راستای خط‌های میدان مغناطیسی قرار گیرند. طرحی که روی صفحه‌ی شیشه‌ای پدیدار می‌شود، نقشه‌ای از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربای میله‌ای است.

پرسش ۳-۱

با استفاده از خاصیت القای مغناطیسی، توضیح دهید که چرا براده‌های آهن در آزمایش ۳-۳ در راستای خط‌های میدان مغناطیسی می‌ایستند.

میدان مغناطیسی یکنواخت: اگر خط‌های میدان مغناطیسی در ناحیه‌ای از فضا با یک دیگر موازی و هم فاصله باشند، بردار میدان مغناطیسی در همه‌ی نقطه‌های آن ناحیه، بزرگی و جهت ثابتی دارد. یک چنین میدان مغناطیسی‌ای را میدان مغناطیسی یکنواخت می‌نامند. خط‌های میدان مغناطیسی مربوط به آهنرباهای را که در وضعیت‌های مختلف به کمک براده‌های آهن بدست آمده است، در شکل ۳-۹ مشاهده می‌کنید.



(الف) آهنربای میله‌ای
(ب) دو آهنربای میله‌ای که قطب‌های همنامشان نزدیک یک دیگر است.

(پ) دو آهنربای میله‌ای که قطب‌های غیرهمنامشان نزدیک یک دیگر است.

شکل ۳-۹- خط‌های میدان مغناطیسی آهنرباهای در وضعیت‌های مختلف

۳-۳- تعریف میدان مغناطیسی با استفاده از نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی

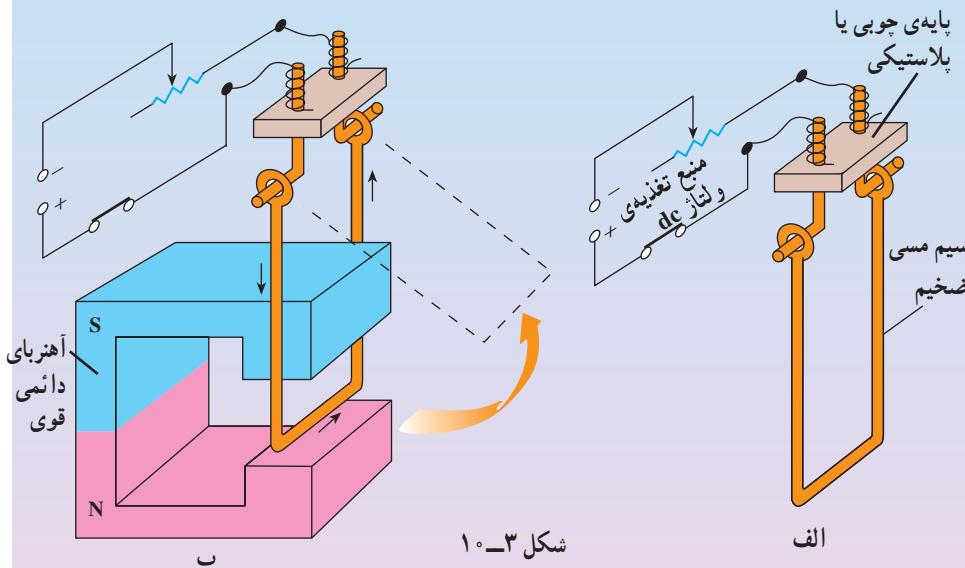
دیدیم که هرگاه یک عقربه‌ی مغناطیسی یا هر آهنربای دیگری در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، بر آن نیرو وارد می‌شود. در ادامه خواهیم دید که بر سیم‌های حامل جریان الکتریکی نیز در میدان مغناطیسی نیرو وارد می‌شود، بزرگی میدان مغناطیسی و یکای آن را می‌توان با استفاده از این اثر تعریف کرد. برای مشاهده‌ی این نیرو آزمایش زیر را انجام دهید.

آزمایش ۳-۴

وسیله‌های آزمایش: یک آهنربای نعلی‌شکل قوی، سیم مسی ضخیم، سیم رابط، روستا و منبع تغذیه.

۱- مداری مطابق شکل ۳-۱۰ الف بینید.

۲- آهنربای نعلی‌شکل را مطابق شکل ۳-۱۰ ب در اطراف سیم مسی قرار دهید.



شکل ۳-۱۰

۳- کلید را بینید تا جریان از سیم مسی بگذرد. آنچه را که مشاهده می‌کنید، بنویسید.

۴- این آزمایش را چند بار تکرار کنید و هر بار آهنربای را در وضعیت جدیدی در اطراف سیم مسی قرار دهید و با استن کلید مشاهده‌های خود را یادداشت کنید.

۵- نتیجه‌ی آزمایش را به کلاس گزارش دهید.

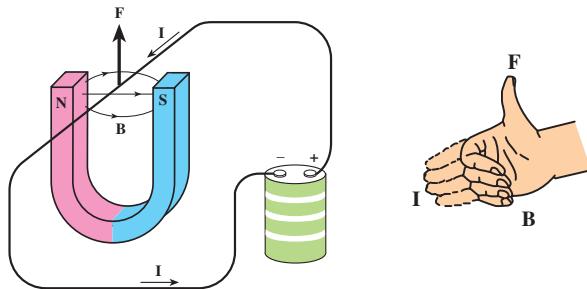
۶- این آزمایش را با یک آهنربای دیگر تکرار کنید.

۷- جهت و بزرگی شدت جریان را تغییر دهید و آزمایش‌های بالا را تکرار کنید.

اورستد (فیزیکدان دانمارکی) با انجام آزمایش‌های مشابه آزمایش ۳-۴ و اندازه‌گیری دقیق نیرویی که بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی وارد می‌شود، نشان داد که: نیرویی که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود، بر راستای جریان و نیز بر میدان مغناطیسی عمود است.

جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی را می‌توان از قاعده‌ای به نام قاعده‌ی دست راست به این صورت پیش‌بینی کرد:

اگر دست راست خود را باز نگه دارید و چهار انگشت را مطابق شکل ۱۱-۳ در جهت جریان بگیرید به طوری که اگر انگشتان خود را خم کنید، در جهت میدان مغناطیسی قرار گیرد—در این صورت، انگشت شست شما جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان را نشان خواهد داد.



شکل ۱۱-۳—قاعده‌ی دست راست برای تعیین جهت نیروی \vec{F} وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی I در میدان مغناطیسی \vec{B}

عامل‌های مؤثر بر نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی: بزرگی نیروی \vec{F} که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود، به عامل‌های زیر بستگی دارد:

۱—جریانی که از سیم می‌گذرد (I)؛ هرچه جریان بیش‌تر باشد، نیروی وارد بر سیم از سوی میدان مغناطیسی بیش‌تر خواهد بود.

$$F \propto I$$

۲—طول قسمتی از سیم که در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد (l)؛ هرچه طول بیش‌تری از سیم در میدان قرار گیرد، نیروی وارد بر آن بزرگ‌تر خواهد بود.

$$F \propto l$$

۳—میدان مغناطیسی (\vec{B})؛ نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان‌های مغناطیسی

مختلف یکسان نیست. نیرویی که در میدان مغناطیسی یک آهنربای قوی تر بر سیم حامل جریان وارد می‌شود، بزرگ‌تر است. با استفاده از این واقعیت، می‌توانیم بزرگی میدان مغناطیسی را تعریف کنیم. اندازه‌ی میدان مغناطیسی را با B نمایش می‌دهند:

$$F \propto B$$

۴- سینوس زاویه‌ای که جریان با میدان مغناطیسی می‌سازد ($\sin\alpha$)؛ نیروی وارد بر سیم حامل جریان در یک میدان مغناطیسی با سینوس زاویه‌ی بین راستای میدان و راستای جریان مناسب است.

$$F \propto \sin\alpha$$

تناسب‌های بالا را می‌توان با استفاده از ضریب تناسب k ، به صورت زیر خلاصه کرد.

$$F = kBI \sin\alpha \quad (1-3)$$

با انتخاب یکای مناسب برای میدان مغناطیسی، می‌توان ضریب تناسب k را برابر یک گرفت. در نتیجه داریم

$$F = BI \sin\alpha \quad (2-3)$$

اگر جریان I و میدان B بر هم عمود باشند، داریم:

$$\sin\alpha = 1$$

در نتیجه، نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی عمود بر آن به قرار زیر است:

$$F = BI \quad (3-3)$$

این بیش‌ترین نیرویی است که میدان مغناطیسی B می‌تواند بر طول 1 از سیم حامل جریان I وارد کند. بنابراین، می‌توانیم اندازه‌ی میدان مغناطیسی B را با رابطه‌ی زیر تعریف کنیم.

$$B = \frac{F}{I} \quad (4-3)$$

يعنى بزرگی میدان مغناطیسی در هر نقطه، برابر است با نیرویی که بر یک متر از طول سیم حامل جریانی به شدت یک آمپر که در راستای عمود بر میدان قرار گرفته باشد وارد می‌شود.

یکای میدان مغناطیسی، تسلا: رابطه‌ی ۴-۳ را برای تعریف یکای میدان مغناطیسی به کار می‌بریم. یکای میدان مغناطیسی در SI تسلا نام دارد و با نماد T نشان داده می‌شود.

بنابراین، یک تسلا بزرگی میدان مغناطیسی است که در آن بر یک متر از سیمی که حامل جریان الکتریکی به شدت یک آمپر است و در راستای عمود بر میدان قرار دارد

نیرویی به بزرگی یک نیوتون وارد شود. در نتیجه، می‌توانیم بنویسیم:

$$1 \text{ نیوتون} = \frac{1 \text{ تسلا}}{(1 \text{ متر}) \times (1 \text{ آمپر})}$$

تسلا یکای بزرگی است. در کاربردهای عملی از یکای کوچکتری استفاده می‌کنند که گاؤس نام دارد و با نماد G نمایش داده می‌شود.

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$$

مثال ۳-۱

یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی به بزرگی 4 mT در راستایی که با جهت میدان زاویه‌ی 30° می‌سازد، قرار دارد. اگر شدت جریانی که از سیم می‌گذرد 5 آمپر باشد، نیروی مغناطیسی وارد بر یک متر از این سیم را محاسبه کنید.
حل: بزرگی نیروی مغناطیسی برابر است با:

$$F = IIB \sin \alpha$$

$$F = 5 \times 1 \times 4 \times 10^{-5} \sin 30^\circ$$

$$F = 10 \times 10^{-5} \text{ N} = 0.1 \text{ mN}$$

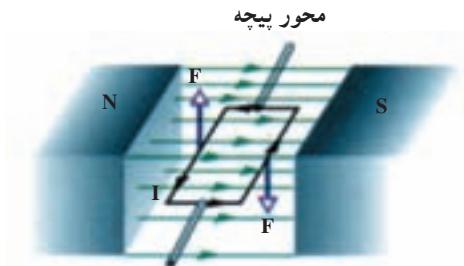
تمرین ۳-۱

سیم افقی مستقیم حامل جریانی در یک میدان مغناطیسی یکنواخت افقی که جهت آن از شمال به جنوب است، قرار دارد. جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم را تعیین کنید؛ (الف) اگر سیم در راستای شمال – جنوب و جریان آن از شمال به جنوب باشد. (ب) اگر سیم در راستای شرق – غرب و جریان آن از غرب به شرق باشد.

فعالیت ۳-۵

آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن بتوان نیروی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی را اندازه‌گیری کرد.

طرز کار گالوانومتر: گالوانومتر وسیله‌ای است که با آن جریان‌های الکتریکی بسیار کوچک را اندازه می‌گیرند. امروزه وسیله‌های اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی (یعنی شدت جریان، اختلاف پتانسیل، مقاومت و ...) معمولاً عقربه‌ای یا رقمی (دیجیتالی) هستند. تشریح سازوکار وسیله‌های رقمی به مطالب موجود در این کتاب مربوط نمی‌شود. ولی با استفاده از مطالبی که فراگرفته‌ایم، می‌توانیم سازوکار گالوانومتر عقربه‌ای را مورد بررسی قرار دهیم. برای این کار، ابتدا بینیم اگر یک سیم حامل جریان به شکل یک قاب مطابق شکل ۱۲-۳ در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار گیرد، چه نیروهایی بر آن وارد می‌شود. چنین سیمی را یک پیچه می‌نامند.

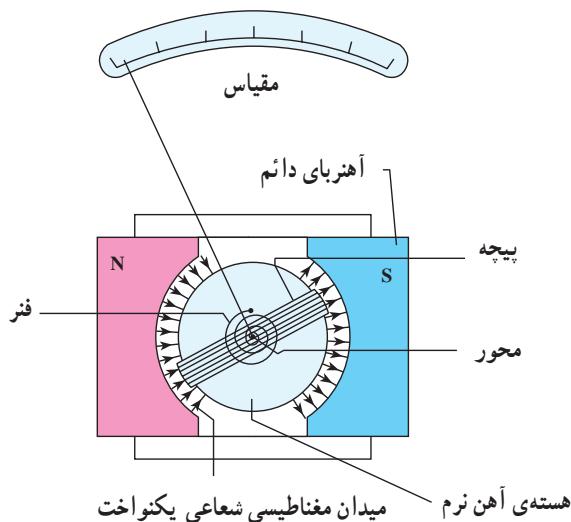


شکل ۳-۱۲- پیچه‌ی حامل جریان در میدان مغناطیسی

هنگامی که جریان از پیچه می‌گذرد، از طرف میدان بر اضلاع آن نیرو وارد می‌شود و در نتیجه پیچه مطابق شکل ۱۲-۳ حول محورش می‌چرخد. هر گالوانومتر دارای یک قاب است که به دور آن سیم پیچیده شده است، این قاب در یک میدان مغناطیسی دائم و قوی قرار گرفته است. وقتی جریان از این پیچه می‌گذرد، از سوی میدان مغناطیسی به قاب نیرو وارد می‌شود و آن را می‌چرخاند (شکل ۱۲-۳) را بینید) و عقربه‌ی متصل به قاب را منحرف می‌کند. هرقدر اندازه‌ی شدت جریان بیشتر باشد، میزان چرخش پیچه و انحراف عقربه بیشتر خواهد شد.

اگر جریانی در جهت وارون شارش کند، جهت چرخش پیچه و انحراف وارون خواهد شد. با قطع جریان، فنر ظریفی که در پشت پیچه قرار دارد، پیچه و عقربه را به حالت اولیه‌ی خود بر می‌گرداند. صفحه‌ی گالوانومتر که عقربه در مقابل آن می‌چرخد را بر حسب آمپر مدرج می‌کنند، به این ترتیب که در مقابل هر زاویه، بزرگی شدت

جريانی که عقربه را به اندازه‌ی آن زاویه منحرف می‌کند، ثبت می‌کنند.



شکل ۱۳-۳

فناوری

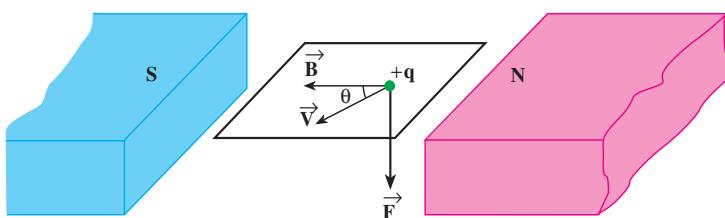
موتور الکتریکی: موتورهای الکتریکی ابزارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. این موتورها در انجام کارهای مختلف روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرند، و اساس کار بسیاری از دستگاه‌ها نظیر جاروی برقی، مته‌ی برقی، آسیاب برقی، ماشین لباس‌شویی، پنکه و ... را تشکیل می‌دهند.

ساختمان موتور الکتریکی مانند ساختمان گالوانومتر است، از این نظر که در موتور الکتریکی نیز عبور جریان از یک قاب (به نام روتور) واقع در میدان مغناطیسی، باعث چرخش پیچه می‌شود. چرخش قطعات در دستگاه‌های بالا از این حرکت پیچه ناشی می‌شود.

۳-۴- نیروی وارد بر ذرهی باردار متحرک در میدان مغناطیسی

در بخش گذشته دیدیم که در میدان مغناطیسی، نیرویی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود. هرگاه جریان صفر شود، نیرویی وارد بر سیم نیز صفر می‌شود. در فصل دوم دیدیم که جریان الکتریکی در واقع شارش بارهای الکتریکی است و صفر شدن جریان در یک رسانا به طور متوسط به معنای توقف شارش بارهای الکتریکی است. پس نتیجه می‌گیریم که نیرویی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی، درواقع بر بارهایی وارد می‌شود که در سیم درحال حرکت‌اند.

آزمایش نشان می‌دهد که اگر ذرهی باردار q با سرعت \vec{v} در میدان مغناطیسی \vec{B} حرکت کند (به شرط آن که جهت حرکت آن موازی با میدان نباشد) بر آن نیرویی وارد خواهد شد که مطابق شکل ۱۴-۳ بر راستای \vec{v} و میدان مغناطیسی \vec{B} عمود است. این نیرو را نیروی الکترومغناطیسی می‌نامند.



شکل ۱۴-۳- ذرهی با بار مشتبه q که در میدان مغناطیسی \vec{B} با سرعت \vec{v} حرکت می‌کند.

آزمایش نشان می‌دهد که بزرگی نیرویی که در میدان مغناطیسی بر بار الکتریکی q که با سرعت \vec{v} در حرکت است وارد می‌شود، به عامل‌های زیر بستگی دارد.

۱- بار الکتریکی (q): هرچه بار الکتریکی q بزرگ‌تر باشد، نیرویی وارد بر آن از سوی

میدان مغناطیسی بزرگ‌تر خواهد بود.

$$F \propto q$$

۲- سرعت حرکت بار الکتریکی (\vec{v}): هرچه سرعت حرکت بار الکتریکی در میدان مغناطیسی

بیش‌تر باشد، نیرویی که از سوی میدان مغناطیسی بر آن وارد می‌شود، بزرگ‌تر خواهد بود.

$$F \propto v$$

۳- میدان مغناطیسی (\vec{B}): هرچه میدان مغناطیسی قوی‌تر باشد، نیرویی که بر بار وارد

می شود، بیش تر خواهد بود.

$$F \propto B$$

۴—سینوس زاویه‌ی θ که جهت حرکت بار الکتریکی (یعنی بردار \vec{v}) با میدان مغناطیسی می‌سازد؛ نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی با سینوس این زاویه متناسب است (شکل ۱۴-۳).

$$F \propto \sin \theta$$

تناسب‌های بالا را می‌توان در رابطه‌ی زیر خلاصه کرد.

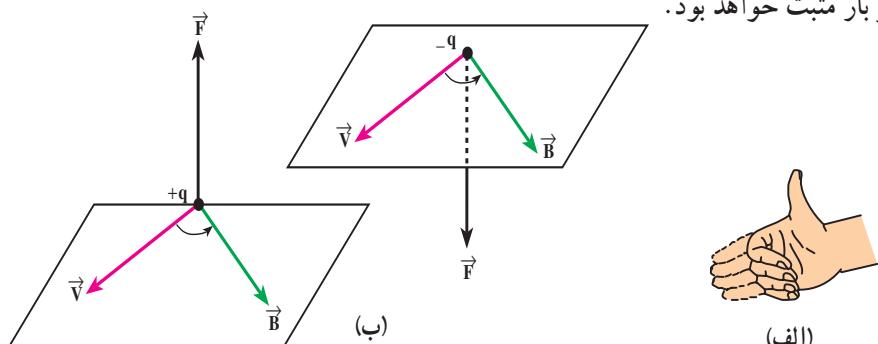
$$F = kqvB \sin \theta \quad (5)$$

که در آن k ضریب تناسب است. اگر F بر حسب نیوتون و q بر حسب کولن و v بر حسب m/s و B بر حسب تسلا باشد، ضریب تناسب یک خواهد شد. در نتیجه، داریم:

$$F = qvB \sin \theta \quad (6-3)$$

جهت نیروی وارد بر بار متحرک: سوی نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی مثبت که در میدان مغناطیسی \vec{B} با سرعت \vec{v} حرکت می‌کند نیز توسط قاعده‌ی دست راست به ترتیب زیر تعیین می‌شود.
اگر دست راست خود را طوری نگه داریم که انگشتان باز شده‌ی ما در راستای \vec{v} (یعنی درجهت حرکت بار الکتریکی) باشد — به‌گونه‌ای که وقتی آن‌ها را روی زاویه‌ی کوچک‌تری که \vec{v} با \vec{B} می‌سازد مطابق شکل ۱۵-۳ الف خم کنیم در جهت B قرار گیرد — انگشت شست ما در جهت نیروی وارد بر بار خواهد بود. نیروی وارد بر بار منفی مانند شکل ۱۵-۳ ب در خلاف جهت نیروی

وارد بر بار مثبت خواهد بود.



شکل ۱۵-۳—(الف) قاعده‌ی دست راست برای تعیین جهت نیروی وارد بر بار متحرک در میدان مغناطیسی،
(ب) جهت نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک مثبت و منفی، در میدان مغناطیسی

پرسش ۲-۳

اگر بار الکتریکی موازی با \vec{B} حرکت کند، نیروی مغناطیسی وارد بر آن چه قدر است؟

مثال ۲-۳

ذره‌ای با بار $4 \mu\text{C}$ میکروکولن و با سرعت $2 \times 10^3 \text{ m/s}$ در راستایی که با میدان مغناطیسی یکنواخت $G = 10^0$ می‌سازد، در حرکت است. بزرگی نیروی وارد بر این ذره را محاسبه کنید.

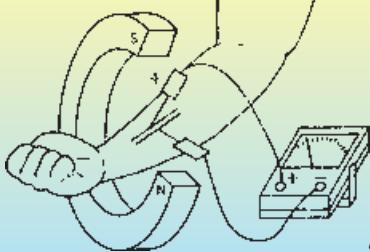
حل: نیروی وارد بر بار متوجه در میدان مغناطیسی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} F &= qvB \sin \theta \\ &= 4 \times 10^{-9} \times 2 \times 10^3 \times 10^{-2} \sin 30^\circ \\ &= 4 \times 10^{-5} \text{ N} \end{aligned}$$

فناوری

دستگاه اندازه‌گیری سرعت شارش خون: سرعت شارش خون را می‌توان توسط روشی که به صورت طرح‌وار در شکل ۲-۱۶ نشان داده شده است اندازه‌گرفت. اساس این روش آن است که یون‌های موجود در خون همراه با حرکت خون در رگ، در آن را شارش می‌کنند. قطب‌های آهنربا را مطابق شکل به گونه‌ای در اطراف دست قرار می‌دهند که میدان مغناطیسی آن در راستای عمود بر راستای سرخ رگ دست باشد. با حرکت یک یون مثبت در میدان مغناطیسی عمودی، نیرویی بر آن وارد می‌شود که آنرا به یک سمت می‌راند. تجمع بارهای مثبت در یک طرف رگ باعث می‌شود که بین دو طرف رگ یک اختلاف پتانسیل ایجاد شود. این اختلاف پتانسیل را می‌توان با نصب الکترودهایی بر روی پوست در دو طرف رگ اندازه‌گیری کرد. هرچه سرعت شارش خون بیش‌تر باشد، نیروی وارد بر یون‌های مثبت موجود در آن بیش‌تر خواهد بود، در نتیجه تعداد بیش‌تری از یون‌ها در کنار رگ انباشته می‌شوند و اختلاف

پتانسیلی که ولت متر نشان می‌دهد
بیش‌تر می‌شود.



شکل ۳-۲

۳-۵ آثار مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

اورستد ضمن انجام دادن برخی آزمایش‌های الکتریسیته برای جمیع از دانشجویان خود، مشاهده کرد که عقرهای مغناطیسی موجود در کنار سیم حامل جریان الکتریکی منحرف می‌شود. او با انجام دادن آزمایش‌های بیش‌تر کشف کرد که عبور جریان الکتریکی از یک سیم، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی به وجود می‌آورد. این کشف اورستد نخستین گام در راه درک رابطه‌ی بین الکتریسیته و مغناطیسی بود که به گسترش مبحث الکترومغناطیس انجامید. در این بخش، به بررسی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در سیم‌ها می‌پردازیم.

آزمایش ۳-۵ (آزمایش اورستد)

وسیله‌های آزمایش: منبع تغذیه، سیم مسی نسبتاً ضخیم، رئوستا، آمپرسنچ، صفحه‌ی مقوایی، عقرهای مغناطیسی، کلید قطع و وصل و سیم رابط.

۱- سیم مسی را از صفحه‌ی مقوایی عبور دهید و با آن مداری مطابق شکل ۳-۷ ترتیب دهید.

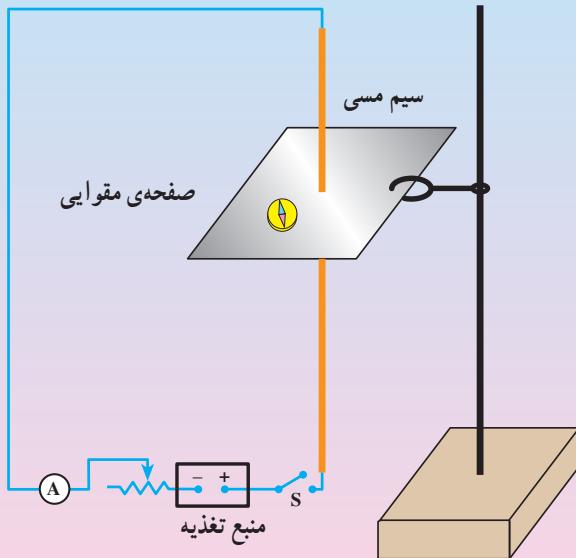
۲- قبل از بستن کلید و برقراری جریان الکتریکی، عقرهای مغناطیسی را در مجاورت سیم، روی مقوایی قرار دهید و به راستای قرار گرفتن آن توجه کنید.

۳- با وصل کردن کلید و تنظیم رئوستا، جریان مناسبی را از مدار عبور دهید. آنگاه به سمت گیری عقرهای مغناطیسی توجه کنید.

۴- عقرهای مغناطیسی را در نقاط مختلف روی مقوایی قرار دهید و سمت گیری آن را بررسی کنید.

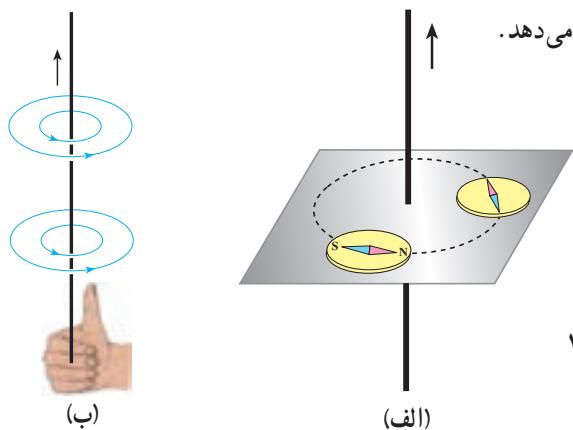
۵- چند خط میدان مغناطیسی را به روش آزمایش ۳-۲ رسم کنید.

- ۶- نتیجه‌ی این آزمایش را در گروه خود بحث کنید و به کلاس گزارش دهید.
- ۷- این آزمایش را بار دیگر با جریانی در جهت مخالف تکرار کنید.
- ۸- تحقیق کنید که افزایش شدت جریان چه تأثیری در نتیجه‌ی آزمایش دارد؟



شکل ۳

با انجام دادن این آزمایش می‌بینید که خط‌های میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم حامل جریان، مطابق شکل ۱۸-۳-الف به صورت دایره‌های هم مرکزی در اطراف سیم حامل جریان خواهد بود. جهت خط‌های میدان مغناطیسی سیم حامل جریان را می‌توان به کمک عقربه‌ی مغناطیسی تعیین کرد. علاوه بر آن با استفاده از قاعده‌ی دست راست نیز می‌شود این جهت را تعیین کرد؛ بنابراین قاعده، اگر سیم را مطابق شکل ۱۸-۳-ب در دست راست خود بگیرید – به گونه‌ای که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد – جهت خم شدن چهار انگشت دست شما جهت خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف سیم نشان می‌دهد.



شکل ۱۸-۳

آزمایش نشان می‌دهد که بزرگی میدان مغناطیسی B در اطراف یک سیم نازک دراز مستقیم حامل جریان الکتریکی ای به شدت I در نقطه‌ای که فاصله‌ی عمودی آن از سیم برابر R است با I نسبت مستقیم و با R نسبت وارون دارد، یعنی

$$B \propto \frac{I}{R}$$

ضریب تناسب در SI برابر $\frac{\mu_0}{2\pi}$ است که در آن μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ نام دارد و برابر است با

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (7-3)$$

مثال ۳-۳

بزرگی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی ای به شدت ۲ آمپر را که از سیمی نازک، دراز و مستقیم می‌گذرد، در نقطه‌ای به فاصله‌ی (الف) ۲ متر، (ب) ۲ میلی‌متر از سیم حساب کنید.

حل: داریم

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

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 2} = 2 \times 10^{-7} \text{ T} \quad (\text{الف})$$

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 2 \times 10^{-3}} = 2 \times 10^{-4} \text{ T} \quad (\text{ب})$$

میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی در یک پیچه‌ی مسطح: پیچه‌ی مسطح از چند دور سیم نازک به شکل حلقه تشکیل شده که به هم فشرده شده‌اند و به صورت یک حلقه‌ی مسطح درآمده‌اند. خطی که از مرکز این حلقه می‌گذرد و عمود بر سطح آن است، محور پیچه نامیده می‌شود. پیچه‌ها در بسیاری از وسیله‌های برقی برای ایجاد میدان مغناطیسی به کار می‌روند.

مغناطو انسفالوگراف

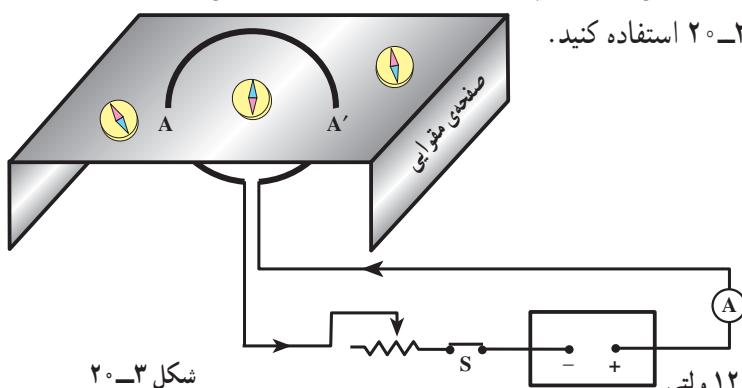
خون حاوی مقداری بون است. این بون‌ها همراه با حرکت خون در رگ، در آن شارش می‌کنند. شارش این بون‌ها درست مانند یک جریان الکتریکی ضعیف عمل می‌کند. این جریان‌ها در مغز و قلب انسان تولید میدان‌های مغناطیسی می‌کنند. این میدان‌های مغناطیسی ضعیف‌تر از آن‌اند که بتوان آن‌ها را با تجهیزات معمولی آشکار کرد. در دهه‌ی اخیر با دستگاهی به نام مغناطو انسفالوگراف امکان اندازه‌گیری این میدان‌ها فراهم شده است. (شکل ۱۹-۳). با این دستگاه می‌توان سرچشمه‌ی علامت‌های عصبی مغز را با دقیقی حدود چند میلی‌متر تعیین کرد.



شکل ۱۹-۳

فعالیت ۶-۳

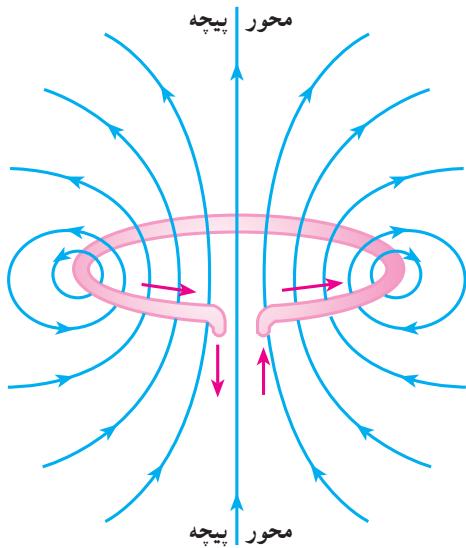
با استفاده از عقره‌ی مغناطیسی و براده‌ی آهن خط‌های میدان مغناطیسی ناشی از عبور جریان الکتریکی از یک پیچه را تعیین کنید. برای این کار، می‌توانید از مداری مطابق شکل ۲۰-۳ استفاده کنید.



شکل ۲۰-۳

منبع تغذیه‌ی ۶ تا ۱۲ ولتی

خطهای میدان مغناطیسی پیچه روی صفحه‌ای که از محور پیچه می‌گذرد، در شکل ۲۱-۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، خطهای میدان در ناحیه‌ی داخل پیچه به یک دیگر تزدیک ترند؛ یعنی، میدان در این ناحیه قوی‌تر است.



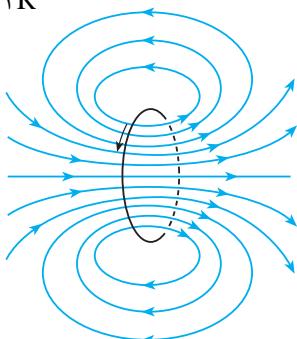
شکل ۲۱-۳— نقشه‌ی خطهای میدان مغناطیسی در صفحه‌ی عمود بر سطح پیچه که از محور پیچه می‌گذرد.

هم‌چنین در شکل ۲۱-۳ دیده می‌شود که در نقطه‌هایی که بر محور پیچه قرار دارند، میدان موازی با محور پیچه است.

جهت میدان مغناطیسی پیچه را در هر نقطه می‌توان با قاعده‌ی دست راست – به روشی که قبلاً توضیح داده شد – تعیین کرد (شکل ۲۲-۳).

بزرگی میدان مغناطیسی پیچه‌ی مسطحی به شعاع R که دور دارد و جریان الکتریکی‌ای به شدت I آمپر از آن می‌گذرد، در مرکز پیچه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R} \quad (۸-۳)$$



شکل ۲۲-۳— استفاده از قاعده‌ی دست راست برای تعیین جهت میدان مغناطیسی پیچه

مثال ۴-۳

از پیچه‌ی مسطحی به شعاع $6/28\text{cm}$ که از 100 دور سیم نازک درست شده است جریانی به شدت 2 آمپر می‌گذرد. میدان مغناطیسی را در مرکز پیچه به دست آورید.

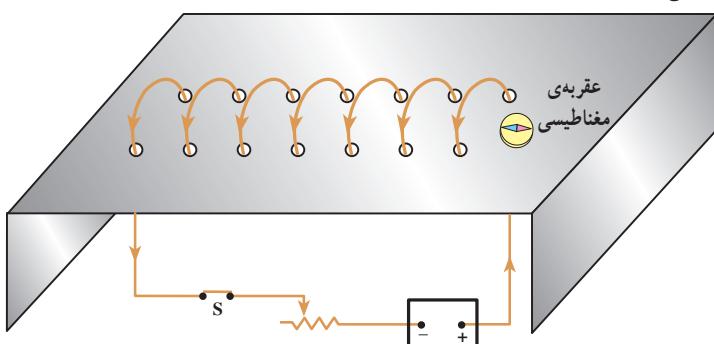
حل: داریم

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 100 \times 2}{2 \times 6/28 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-3} \text{T}$$

میدان مغناطیسی حاصل از سیم‌لوله‌ی حامل جریان: سیم‌لوله از چند دور سیم تشکیل شده است که شبیه به یک فر پیچیده شده است. اگر جریان الکتریکی ای از سیم‌لوله عبور کند، در فضای اطراف سیم‌لوله خاصیت مغناطیسی ایجاد می‌شود. با انجام فعالیت زیر به وجود میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌لوله‌ی حامل جریان بی می‌برید.

فعالیت ۷-۳

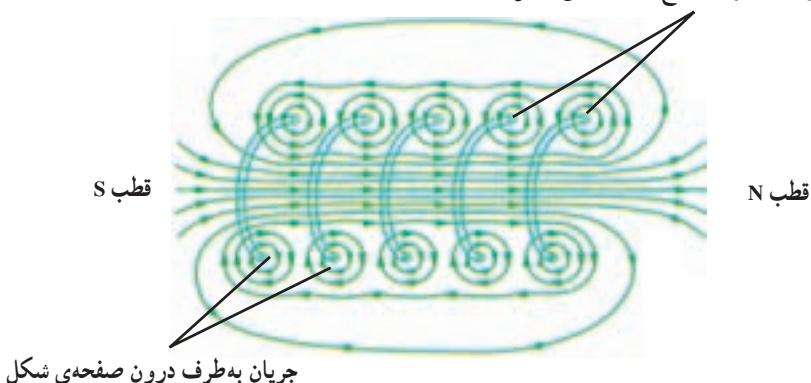
روی یک جعبه‌ی مقوایی یا پلاستیکی دو ردیف سوراخ با فاصله‌های مساوی ایجاد کنید. سیم را به صورتی که در شکل ۲۳-۳ نشان داده شده است از میان سوراخ‌ها عبور دهید تا یک سیم‌لوله درست شود. جریان الکتریکی ثابتی از سیم‌لوله عبور دهید و با استفاده از عقربه‌ی مغناطیسی یا برآده‌های آهن، خط‌های میدان مغناطیسی سیم‌لوله را مشخص کنید.



شکل ۲۳-۳

نقش خط‌های میدان مغناطیسی یک سیم‌لولهٔ حامل جریان الکتریکی در داخل و خارج آن در شکل ۲۴–۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل می‌بینید، خط‌های میدان داخل سیم‌لوله بسیار متراکم‌تر از خط‌های میدان در خارج آن است و این نشان‌دهندهٔ قوی‌تر بودن میدان در داخل سیم‌لوله است. علاوه بر این خط‌های میدان در داخل سیم‌لوله، بویژه در نقطه‌های نسبتاً دور از لبه‌های سیم‌لوله تقریباً موازی و هم فاصله‌اند و این نشان‌گر یکنواخت بودن میدان مغناطیسی درون سیم‌لوله است. همان‌طور که دیده می‌شود، جهت میدان مغناطیسی در داخل سیم‌لوله خلاف جهت میدان مغناطیسی در خارج آن است.

جریان به‌طرف خارج از صفحه‌ی شکل



شکل ۲۴–۳– میدان مغناطیسی سیم‌لوله

جهت میدان مغناطیسی سیم‌لولهٔ حامل جریان را نیز می‌توان با استفاده از قاعده‌ی دست راست تعیین کرد.

اگر شعاع قاعده‌ی سیم‌لوله در مقایسه با طول آن کوچک باشد و حلقه‌های سیم‌لوله خیلی به هم نزدیک باشند، میدان مغناطیسی داخل سیم‌لوله در نقطه‌های دور از لبه‌ها یکنواخت است و بزرگی آن از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$B = \mu_0 n I \quad (9-3)$$

در این رابطه، I جریانی است که از سیم‌لوله می‌گذرد و n تعداد دوره‌های سیم‌لوله در واحد طول است که از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$n = \frac{N}{l} \quad (10-3)$$

که N تعداد کل دوره‌های سیم‌لوله و l طول سیم‌لوله است.

مثال ۵

از سیم‌وله‌ای که در هر متر طول آن 2000 دور سیم پیچیده شده است، جریانی به شدت 3 آمپر عبور می‌کند. بزرگی میدان مغناطیسی را در درون سیم‌وله (دور از لبه‌ها) بدست آورید.

حل: داریم

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{2000}{1} \times 3 \\ = 7.5 \times 10^{-3} T$$

خط‌های میدان مغناطیسی، منحنی‌های بسته‌ای هستند، و نقطه‌ی آغاز یا پایانی ندارند. این موضوع برای پیچه و سیم‌وله در شکل‌های $21-3$ و $24-3$ دیده می‌شود.

سیم‌وله با هسته‌ی آهنی – آهنربای الکترونی: در بخش $1-3$ دیدیم که اگر یک میله‌ی آهنی را در میدان مغناطیسی قرار دهیم، خاصیت مغناطیسی در آن القا خواهد شد. می‌توانیم میله‌ی آهنی را درون یک سیم‌وله‌ی حامل جریان که میدان در آنجا از هر جای دیگر در اطراف سیم‌وله قوی‌تر است جای دهیم. در این صورت، این میله‌ی آهنی را هسته‌ی سیم‌وله می‌نامند. پیش از آنکه جریانی از سیم‌وله عبور کند، سیم‌وله و هسته‌ی آهنی خاصیت مغناطیسی ندارند. اما وقتی جریانی در سیم‌وله برقرار می‌کنیم، میدان مغناطیسی سیم‌وله، خاصیت مغناطیسی در هسته‌ی آهنی القا می‌کند و هسته‌ی آهنی آهنربای می‌شود. این آهنربای الکترونی می‌نامند.

به این ترتیب خاصیت آهنربایی آهنربای الکترونی را می‌توانیم قطع و وصل کنیم. هرچه تعداد دورهای سیم‌وله در واحد طول پیش‌تر باشد و جریانی که از آن می‌گذرد بزرگ‌تر باشد آهنربای الکترونی قوی‌تر خواهد بود.

وجود هسته‌ی آهنی باعث تقویت میدان مغناطیسی سیم‌وله می‌شود. سیم‌وله‌ی بدون هسته‌ی آهنی دارای میدان مغناطیسی ضعیفی است که در عمل کاربردی ندارد.

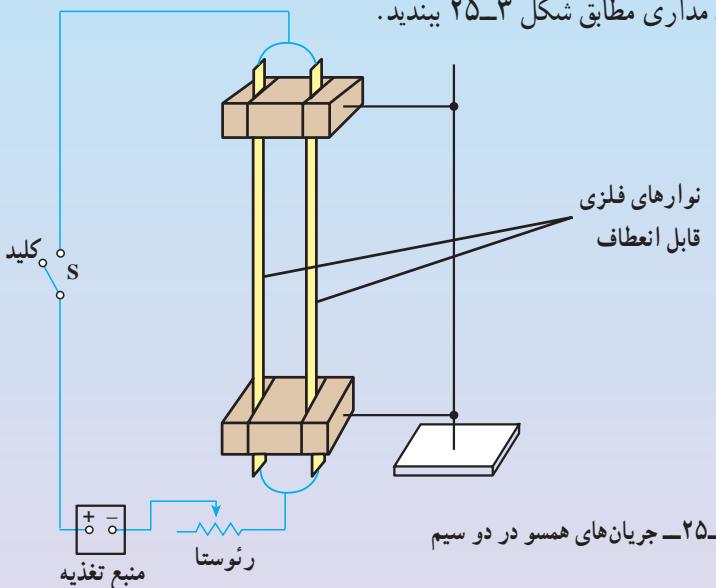
۳-۶- نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان

در آزمایش اورستد، دیدیم که در فضای اطراف هر سیم حامل جریان میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. هم‌چنین در بخش $2-3$ دیدیم که آهنربای بر سیم حامل جریان نیرو وارد می‌کند. حال فرض کنید که برای ایجاد میدان مغناطیسی به جای آهنربای از یک سیم حامل جریان استفاده کنیم. اگر سیم حامل جریان دیگری را در مجاورت این سیم قرار دهیم، آیا بر آن نیرویی وارد می‌شود؟ برای پاسخ دادن به این پرسش آزمایش $3-6$ را انجام دهید.

آزمایش ۳-۶

وسیله‌های آزمایش: دو نوار فلزی نازک قابل انعطاف به پهنهای تقریبی یک سانتی‌متر، دو پایه‌ی نارسانا (چوبی)، رئوستا، منبع تغذیه‌ی جریان یکنواخت، کلید قطع و وصل و سیم رابط.

۱- مداری مطابق شکل ۲۵-۳ بیندید.



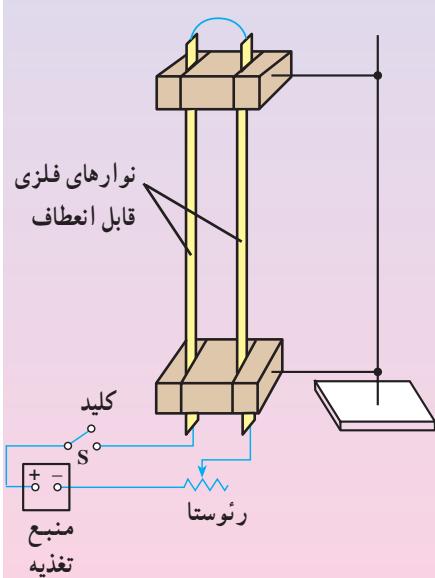
شکل ۳-۲۵-۳- جریان‌های همسو در دو سیم موازی

۲- با وصل کردن کلید، جریان را در مدار برقرار کنید. توجه کنید که جریان در دو سیم موازی و همسو است. مشاهده‌ی خود را گزارش دهید.

۳- مداری مطابق شکل ۳-۶ بیندید.

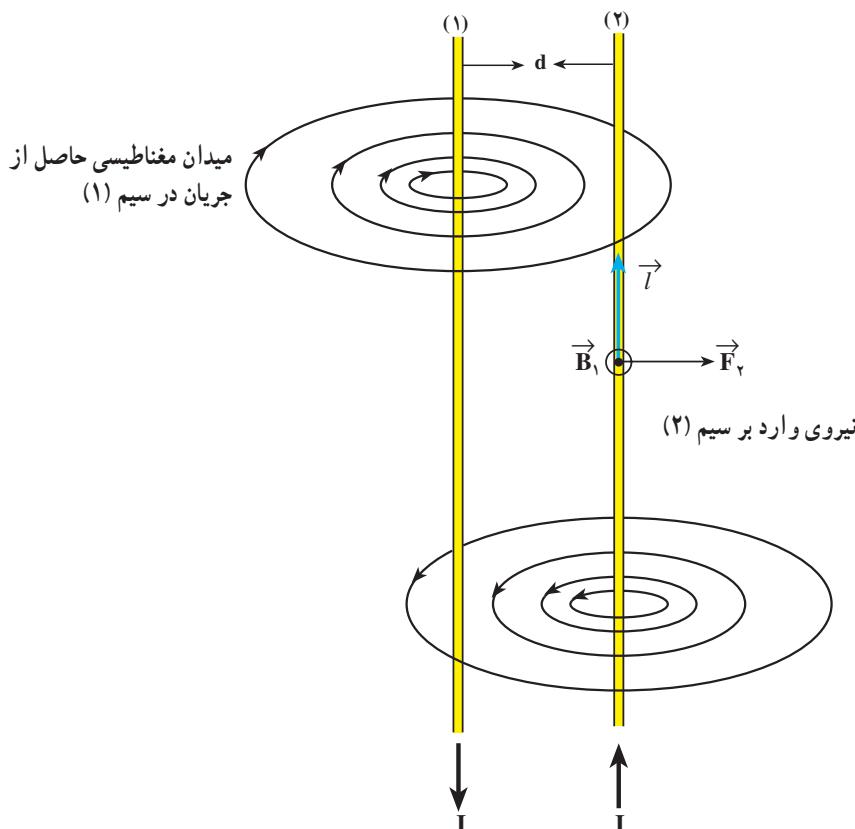
۴- با وصل کردن کلید، جریان را در مدار برقرار کنید. در این حالت جریان در دو سیم در جهت‌های مخالف است. مشاهده‌های خود را گزارش دهید.

شکل ۳-۶- جریان‌های در جهت‌های مخالف در دو سیم موازی



آزمایش صفحه‌ی قبل نشان می‌دهد که سیم‌های حامل جریان الکتریکی بر یک دیگر نیرو وارد می‌کنند. هرگاه جریانی که از دو سیم می‌گذرد همسو باشد (شکل ۲۵-۳)، دو سیم یک دیگر را می‌ربایند، و اگر جریانی که از دو سیم می‌گذرد در جهت‌های مخالف باشد (شکل ۲۶-۳) دو سیم یک دیگر را می‌رانند.

نیرویی را که بر هر سیم وارد می‌شود، می‌توان بر حسب میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در سیم دیگر توضیح داد. برای این کار، دو سیم مستقیم و خیلی دراز موازی را که حامل جریان I هستند و به فاصله‌ی d از یک دیگر قرار گرفته‌اند، مطابق شکل ۲۷-۳ در نظر می‌گیریم. جریان الکتریکی در سیم شماره‌ی (۱) در فضای اطراف آن، میدان مغناطیسی \vec{B}_1 را ایجاد می‌کند. جهت میدان \vec{B}_1 در محل سیم شماره‌ی (۲) همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است برونسو است. چون سیم شماره‌ی (۲) نیز حامل جریان الکتریکی I است، میدان \vec{B}_1 بر آن نیرو وارد می‌کند. این نیرو را در شکل با \vec{F}_2 نشان داده‌ایم، جهت \vec{F}_2 با استفاده از قاعده‌ی دست راست تعیین می‌شود.



شکل ۲۷-۳—جهت نیروها و میدان‌های مغناطیسی مربوط به دو سیم موازی حامل جریان‌های در جهت مخالف

تمرین ۳-۲

جهت نیروی وارد بر سیم شماره‌ی (۱) در شکل ۳-۲۷ را با استدلالی مشابه تعیین کنید.

فعالیت ۳-۱

جهت نیروها و میدان‌های مغناطیسی مربوط به دو سیم موازی حامل جریان‌های همسو را با رسم شکل و استفاده از قاعده‌ی دست راست مشخص کنید.

تمرین ۳-۳

از دو سیم بلند موازی که به فاصله‌ی d از یک دیگر قرار دارند، جریانی بهشت I می‌گذرد، جهت جریان در هر دو سیم یکسان است، نیرویی را که به یک متر از هر یک از سیمهای وارد می‌شود به دست آورید.

دیدیم که دو سیم مستقیم دراز و موازی حامل جریان با توجه به جهت جریان بر هم نیروهای رباشی یا رانشی وارد می‌کنند، این واقعیت، اساس تعریف عملیاتی^{*} یکای شدت جریان یعنی آمپر در SI است. مطابق این تعریف:

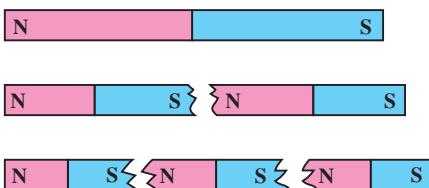
هرگاه از دو سیم نازک، موازی، مستقیم و بسیار دراز، که به فاصله‌ی یک متر از یک دیگر در خلا قرار دارند، جریان‌های مساوی عبور کند—به گونه‌ای که بر یک متر از طول هر یک از سیمهای نیرویی برابر 2×10^{-7} نیوتون وارد شود—جریانی که از هر یک از سیمهای می‌گذرد، برابر یک آمپر است.

۳-۷ خاصیّت مغناطیسی مواد

پیش از این دیدیم که برخی مواد خاصیّت آهنربایی دارند، و در برخی مواد دیگر در حضور میدان مغناطیسی خاصیّت آهنربایی القا می‌شود. برای نمونه هسته‌ی آهنی یک آهنربایی الکترونیکی را به یاد بیاورید. این سؤال پیش می‌آید که منشأ این رفتار مواد چیست؟ در این بخش به بررسی این موضوع می‌پردازیم.

* تعریف عملیاتی یکا به معنای ارائه‌ی روش اندازه‌گیری آن یکا است.

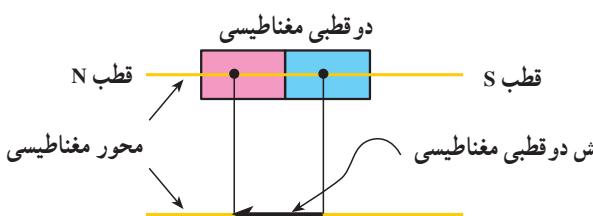
یکی از ویژگی‌های جالب آهنربایها این است که اگر آهنربای را به دو یا چند قطعه بشکنیم، هر قطعه



شکل ۲۸-۳- هر قطعه از یک آهنربای، یک دوقطبی مغناطیسی است.

نیز خود یک آهنربای با دو قطب N و S است (شکل ۲۸-۳). آزمایش‌ها نشان می‌دهند که هرقدر این عمل شکستن را ادامه دهیم، باز هم قطعه‌های حاصل دارای دو قطب N و S خواهند بود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که قطب N از قطب S جداشدنی نیست و کوچکترین ذره‌های تشکیل‌دهنده‌ی آهنربایها (یعنی اتم‌ها یا مولکول‌ها) نیز آهنربای هستند و دو قطب N و S دارند.

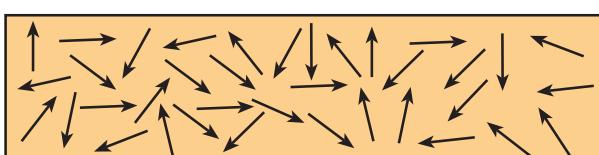
این آهنربای‌های کوچک را دوقطبی مغناطیسی می‌نامند؛ زیرا هر یک همواره دو قطب N و S دارند. خطی را که دو قطب یک دوقطبی مغناطیسی را به هم متصل می‌کند، محور مغناطیسی آن می‌نامند. یک دوقطبی مغناطیسی را با یک پیکان نمایش می‌دهند (شکل ۲۹-۳).



شکل ۲۹-۳

موادی را که اتم‌ها یا مولکول‌های سازنده‌ی آن‌ها خاصیت مغناطیسی دارند، مواد مغناطیسی می‌نامند. نحوه‌ی سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک در مواد مغناطیسی مختلف، متفاوت است. به همین دلیل مواد از لحاظ ویژگی‌های مغناطیسی نیز با هم تفاوت دارند. در ادامه، به بررسی برخی از مواد مغناطیسی می‌پردازیم.

مواد پارامغناطیس: دوقطبی‌های مغناطیسی در یک ماده‌ی پارامغناطیسی دارای سمت‌گیری مشخص و منظمی نیستند و در جهت‌های کاتوره‌ای قرار دارند (شکل ۳۰-۳). درنتیجه این مواد خاصیت مغناطیسی ندارند. اگر آن‌ها را درون یک میدان مغناطیسی (مثلًاً نزدیک یک آهنربای) قرار دهیم، دوقطبی‌های کوچک مانند عقره‌های مغناطیسی در نزدیکی آهنربای رفتار می‌کنند؛ یعنی، در



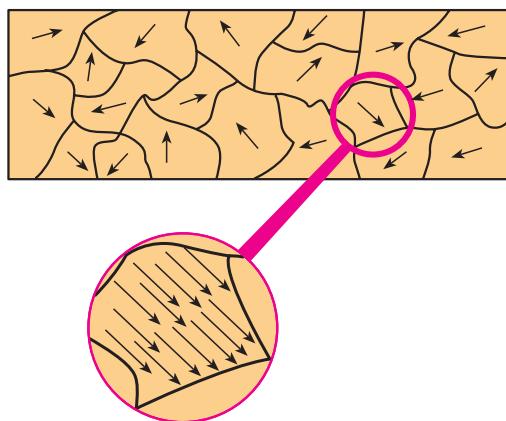
شکل ۳۰-۳- سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی در ماده‌ی پارامغناطیسی در غیاب میدان مغناطیسی

راستای خط‌های میدان مغناطیسی منظم می‌شوند. هرچه میدان مغناطیسی قوی‌تر باشد، تعداد بیش‌تری از این دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک با میدان هم خط می‌شوند. درنتیجه، خاصیت مغناطیسی ماده بیش‌تر می‌شود.

اگر آهنربا را از این مواد دور کنیم، دوقطبی‌های مغناطیسی دوباره به سرعت به وضعیت کاتورهایی که در غیاب میدان داشتند، بر می‌گردند.

با این ترتیب، مواد پارامغناطیس در میدان‌های مغناطیسی قوی خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند. منگنز، پلاتین، آلومینیم، فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی، اکسیژن و اکسید ازت از جمله مواد پارامغناطیسی‌اند.

مواد فرومغناطیس: در برخی از مواد مغناطیسی، دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک به طور خود به خود با دوقطبی‌های مجاور خود هم خط می‌شوند. این گونه مواد را فرومغناطیس می‌نامند. در عمل، همه‌ی بخش‌های مغناطیسی در یک ماده‌ی فرومغناطیس در یک راستا قرار ندارند بلکه این گونه مواد مانند شکل ۳-۲۱ از بخش‌های بسیار کوچکی با ابعاد خیلی کم‌تر از میلی‌متر تشکیل شده‌اند به‌طوری که دوقطبی‌های مغناطیسی درون هر بخش به‌طور کامل، هم خط‌اند. ولی سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی هر بخش با بخش‌های مجاور آن تفاوت دارد. هر بخش را یک حوزه‌ی مغناطیسی می‌نامند.



شکل ۳-۲۱- یک ماده‌ی فرومغناطیس در حالت طبیعی

ممکن است سمت‌گیری و اندازه‌ی حوزه‌های مغناطیسی در یک ماده‌ی فرومغناطیس به گونه‌ای باشد که در کل اثر یک دیگر را ختنی کنند و ماده در مجموع، آهنربا نباشد (شکل ۳-۲۲ الف).

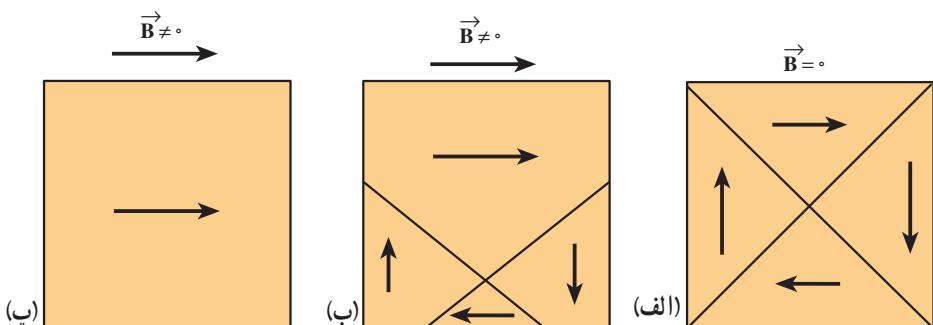
این گونه مواد را می‌توان با قرار دادن در یک میدان مغناطیسی آهنربا کرد. اثر میدان مغناطیسی خارجی بر حوزه‌های مغناطیسی باعث می‌شود که دوقطبی‌های مغناطیسی هر حوزه تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرند و جهت آن‌ها به جهت میدان خارجی متمایل شود. علاوه بر این حوزه‌هایی که نسبت به میدان در وضع مناسبی قرار دارند (با میدان همسویند) رشد می‌کنند؛ یعنی، حجمشان زیاد می‌شود و درنتیجه، حوزه‌هایی که سمت‌گیری آن‌ها نسبت به میدان مناسب نیست، کوچک شوند؛ یعنی، مرز بین حوزه‌ها جابه‌جا می‌شود، و درنتیجه ماده در مجموع خاصیت آهنربایی پیدا می‌کند، شکل ۳۲-۳ ب. حرکت مرز حوزه‌ها در مواد فرومغناطیسی به صورت طرح وار در شکل ۳۲-۳ نشان داده شده است. در شکل ۳۲-۳ الف یک ماده‌ی فرومغناطیسی با چهار حوزه در میدان خارجی صفر قرار دارد. سمت‌گیری حوزه‌های مغناطیسی در این شکل به صورتی است که در کل ماده دارای خاصیت مغناطیسی نیست. در شکل ۳۲-۳ ب ماده‌ی فرمغناطیسی را در یک میدان مغناطیسی خارجی \vec{B} قرار داده‌ایم: مرزهای حوزه‌ها جابه‌جا شده‌اند و درنتیجه، ماده در مجموع خاصیت مغناطیسی پیدا کرده است. در شکل ۳۲-۳ پ میدان مغناطیسی خارجی آنقدر قوی است که حجم حوزه‌های با سمت‌گیری نامناسب عملأً به صفر رسیده است و همه‌ی حجم ماده را حوزه‌ی با سمت‌گیری مناسب (همسو با میدان) اشغال کرده است. در این حالت ماده در مجموع بیشترین خاصیت آهنربایی را دارد.



(ب) ماده‌ی فرمغناطیسی آهنربا است.

(الف) ماده‌ی فرمغناطیسی آهنربا نیست.

شکل ۳۲-۳ - حوزه‌های مغناطیسی



در غیاب میدان خارجی در حضور میدان خارجی ضعیف در حضور میدان خارجی قوی

شکل ۳۳-۳ - جابه‌جا شدن مرزهای بین حوزه‌ها در مواد فرمغناطیسی

در برخی از مواد فرومغناطیس مانند آهن، کبالت و نیکل در صورتی که خالص باشند، حجم حوزه‌ها به سهولت تغییر می‌کند و در نتیجه به سهولت به روش ذکر شده آهن‌ها می‌شوند و خاصیت آهنربایی خود را نیز به راحتی از دست می‌دهند. این مواد را فرومغناطیس نرم می‌نامند. از این‌گونه مواد در هسته‌ی سیم‌لوله‌ها استفاده می‌شود. مواد فرومغناطیس نرم با حذف میدان مغناطیسی خارجی خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهند و به دلیل همین خاصیت، آن‌ها برای ساختن آهنرباهای الکتریکی (آهنرباهای غیردانه) مناسب‌اند.

برخی دیگر از مواد مانند فولاد (آهن به اضافه‌ی دو درصد کربن)، آلیاژهای دیگری از آهن، کبالت و نیکل به سختی آهنربا می‌شوند؛ یعنی، حجم حوزه‌ها در آن‌ها به سختی تغییر می‌کند. این مواد را فرومغناطیس سخت می‌نامند. در این‌گونه مواد برای افزایش حجم حوزه‌هایی که سمت‌گیری مناسب دارند (یعنی با میدان همسو هستند) به میدان‌های مغناطیسی خارجی قوی‌تری نیاز است. در این مواد، سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی حوزه‌ها پس از حذف میدان خارجی به سهولت تغییر نمی‌کند. به عبارت دیگر، پس از برداشتن میدان مغناطیسی خارجی، ماده‌ی فرومغناطیس سخت، خاصیت آهنربایی خود را حفظ می‌کند. به همین دلیل این مواد برای ساختن آهنرباهای دائمی مناسب‌اند. برای خاصیت آهنربایی هر ماده‌ی فرومغناطیس مقدار بیشینه‌ای وجود دارد. این وضعیت هنگامی پیش می‌آید که ماده‌ی فرومغناطیس در یک میدان مغناطیسی بسیار قوی قرار گیرد؛ به طوری که همه‌ی دوقطبی‌های مغناطیسی اتمی در همه‌ی حوزه‌ها به موازات هم به خط شوند.

مطالعه‌ی آزاد

میدان مغناطیسی زمین و اثرهای آن

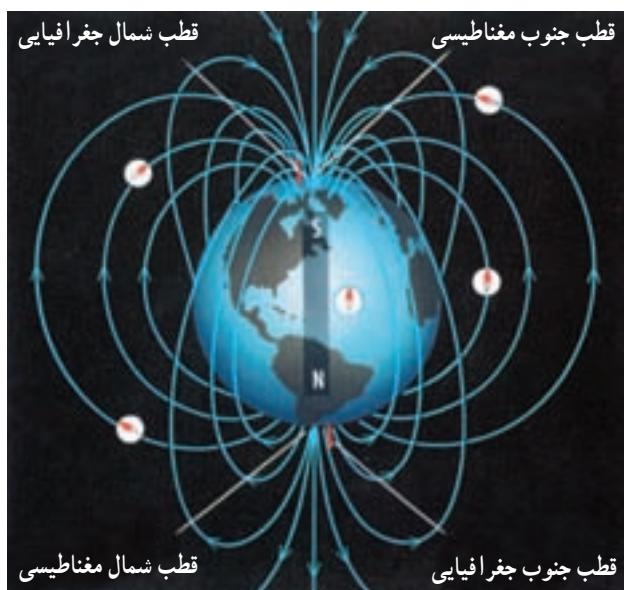
بشر از گذشته‌های بسیار دور به خاصیت مغناطیسی زمین بی‌برده است. ملاحان و جهانگردان در کارهای جاری خود همواره از قطب‌نما استفاده می‌کنند. اثرهای میدان مغناطیسی زمین نیز بر زندگی جانوران و گیاهان، موضوعی جالب و بحث‌انگیز برای پژوهشگران است. مثلاً پژوهش‌هایی در قرن بیستم نشان داد که در مغز برخی از پرندگان کوچنده، ساز و کاری جهت تشخیص راستای میدان مغناطیسی زمین موجود است.

در سال ۱۹۵۸ میلادی (۱۳۳۷ هجری خورشیدی) با پژوهش‌هایی که توسط

ماهواره‌ی اکسپلورر^{*} اول انجام گرفت، معلوم شد، در اطراف زمین ناحیه‌ای به نام کمرنگ و انآلن موجود است، که دارای خاصیت مغناطیسی بوده و ذرات باردار تابیده از بروتوهای کیهانی و خورشیدی در این ناحیه به دام می‌افتد.

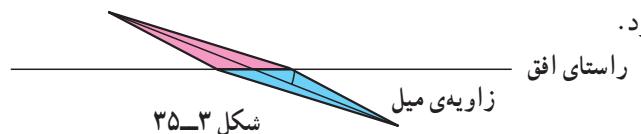
راستای میدان مغناطیسی زمین ثابت نیست و در طول قرن‌های متعددی در تغییر بوده است. اکنون قطب جنوب آن در کانادا است.

زاویه‌ای که راستای شمال – جنوب جغرافیا با راستای میدان مغناطیسی می‌سازد زاویه‌ی انحراف نام دارد.



شکل ۳۴-۳

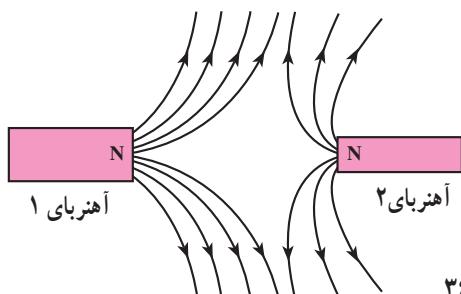
همچنین راستای میدان مغناطیسی در نقاط مختلف زمین در راستای افق قرار ندارد. زاویه‌ای که عقریه‌ی مغناطیسی با راستای افق تشکیل می‌دهد زاویه‌ی میل نام دارد.



* Explorser

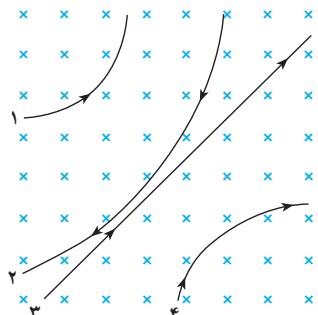
تمرین های فصل سوم

۱- الف - آهنربایی با قطب های نامشخص در اختیار داریم. حداقل دو روش برای تعیین قطب های این آهنربا، بیان کنید.



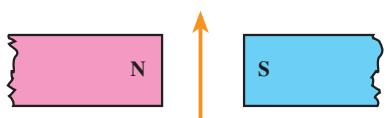
شکل ۳۶-۳

ب - خطوط میدان مغناطیسی میان دو آهنربا در شکل ۳۶-۳ نشان داده شده است. کدام آهنربا ضعیف تر است؟



شکل ۳۷-۳

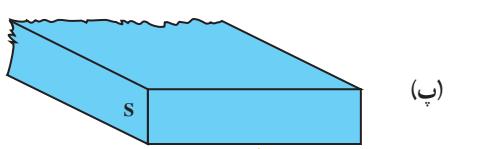
۲- چهار ذره هنگام عبور از میدان مغناطیسی درونسو مسیرهایی مطابق شکل ۳۷-۳ می پیمایند. درباره ای نوع بار هر ذره چه می توان گفت؟



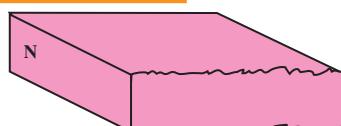
(الف)



(ب)



(ب)

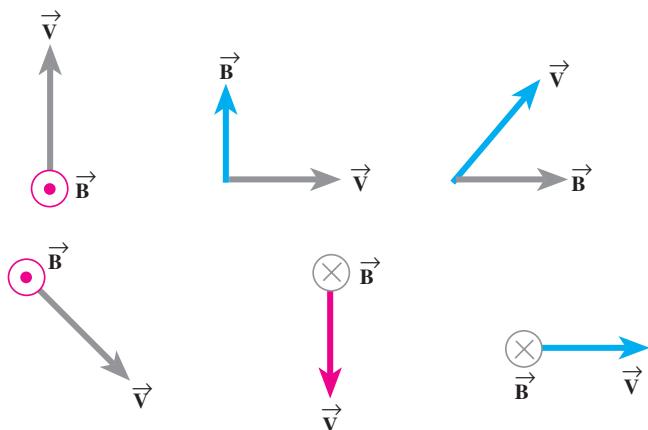


شکل ۳۸-۳

۳- سیم قائمی در میدان مغناطیسی زمین (که رو به شمال است) قرار دارد. جریانی از پایین به بالا از این سیم عبور می کند، جهت نیروی وارد بر این سیم چگونه است؟

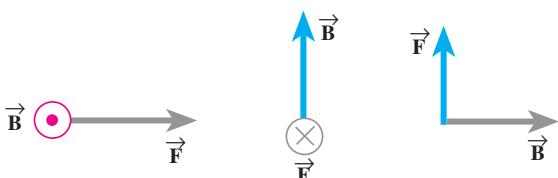
۴- جهت نیروی الکترومغناطیسی بر سیم حامل جریان را در هر یک از شکل های ۳۸-۳ الف، ب و پ با استفاده از قاعده دست راست بیابید.

۵- جهت نیروی وارد بر بار مثبت را در هر یک از نمودارهای شکل ۳۹-۳ تعیین کنید.



شکل ۳۹-۳

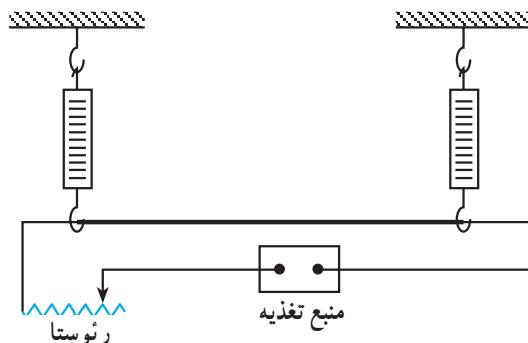
۶- نیروی \vec{F} وارد بر الکترونی که در میدان مغناطیسی \vec{B} در حرکت است در شکل ۴۰-۳ نشان داده شده است. در هر یک از حالت‌های نشان داده جهت سرعت الکترون را تعیین کنید.
(فرض کنید راستای حرکت الکترون بر میدان مغناطیسی عمود است).



شکل ۴۰-۳

۷- سیم رسانای CD به طول 2m مطابق شکل ۴۱-۳ عمود بر میدان مغناطیسی با اندازه‌ی $T/5^{\circ}$ قرار گرفته است. اگر نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم برابر باشد، جهت و اندازه‌ی جریان عبوری از سیم را تعیین کنید.

۸- یک سیم که حامل جریانی به شدت ۱۶ آمپر است، مطابق شکل ۴۲-۳ توسط دو نیروسنگ فنری که به دو انتهای آن بسته شده است، به طور افقی و در راستای غرب به شرق قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین را افقی و یکنواخت و دقیقاً به سوی شمال با بزرگی 5 mT بگیرید. (الف) نیروی مغناطیسی وارد بر هر متر این سیم را تعیین کنید. (ب) اگر بخواهیم نیروسنگ‌ها عدد صفر را نشان دهند، چه جریانی و در چه جهتی باید از سیم عبور دهیم. جرم یک متر از طول این سیم 8 gr است. ($g = 10 \text{ N/kg}$)



شکل ۴۲-۳

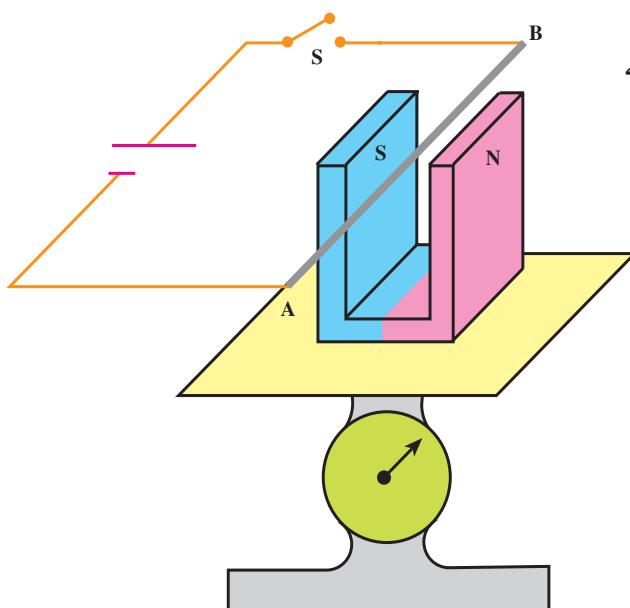
۹- یک آهنربای نعلی شکل را روی کفه‌ی یک ترازوی حساس قرار می‌دهیم، سیم AB را که مطابق شکل ۴۳-۳ در میان دو قطب آهنربا قرار دارد بهوسیله‌ی یک کلید به دو پایانه‌ی یک باتری

وصل می‌کنیم.

آیا با بستن کلید عددی که

ترازو نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟

توضیح دهید.



شکل ۴۳-۳

۱۰- پروتونی با سرعت $4/4 \times 10^6 \text{ m/s}$ تحت زاویهٔ 53° با میدان مغناطیسی ای به بزرگی 18 mT در حرکت است.

الف) بزرگی نیروی وارد بر این پروتون را محاسبه کنید.

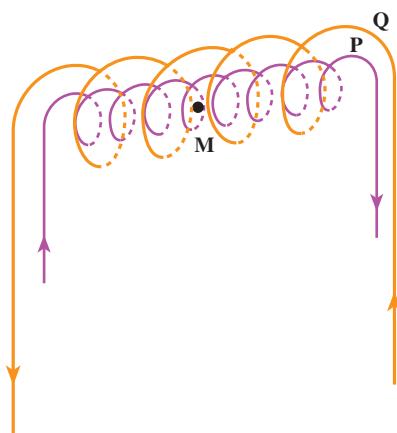
ب) اگر این نیرو تنها نیروی باشد که بر پروتون وارد می‌شود، شتاب پروتون را حساب کنید.
(بار الکتریکی پروتون $C = 1/6 \times 10^{-19}$ و جرم آن $\text{kg} = 1/7 \times 10^{-27}$ است).

۱۱- راستای نیروی وارد بر یک الکترون متحرک در میدان الکتریکی را با راستای نیروی وارد بر این الکترون در میدان مغناطیسی مقایسه کنید.

۱۲- از پیچهٔ مسطوحی به شعاع 5cm که از 20° دور سیم نازک درست شده است، جریان 12A می‌گذرد. میدان مغناطیسی را در مرکز پیچه حساب کنید.

۱۳- سیم‌لوله‌ای شامل 25° دور حلقه است که دور یک لولهٔ پلاستیکی تو خالی به طول 14 cm پیچیده شده است. اگر جریان گذرنده از سیم‌لوله $A/8$ باشد، بزرگی میدان مغناطیسی در درون سیم‌لوله را حساب کنید.

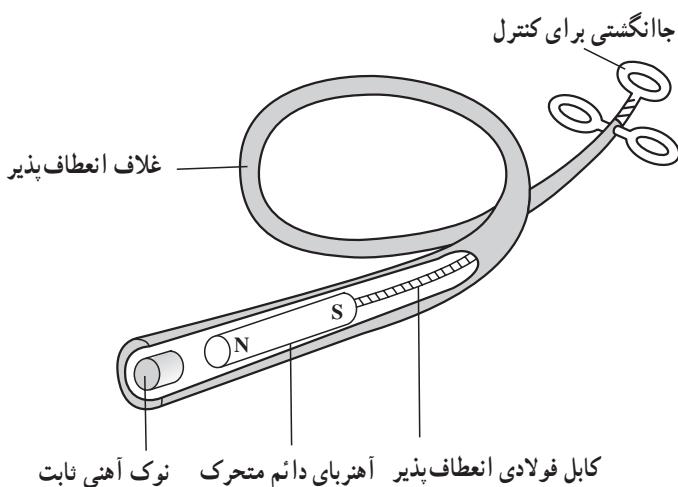
۱۴- دو سیم‌لوله‌ای P و Q هم محور دارای طول برابر و لی تعداد دور متفاوت هستند (شکل ۴۴-۳). تعداد دور سیم‌لوله‌ای P برابر 20° و تعداد دور سیم‌لوله‌ای Q برابر 30° است. اگر جریان 1A از سیم‌لوله‌ای Q عبور کند، از سیم‌لوله‌ای P چه جریانی باید عبور کند تا برآیند میدان مغناطیسی ناشی از دو سیم‌لوله در نقطهٔ M (روی محور دو سیم‌لوله) برابر صفر شود؟



شکل ۴۴-۳

۱۵- الکترونی با سرعت $2 \times 10^4 \text{ m/s}$ در یک میدان مغناطیسی در حرکت است. نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر این الکترون وارد می‌شود، هنگامی بیشینه است که الکترون به سمت جنوب حرکت کند. (الف) اگر این نیروی بیشینه بالا سو و برابر $6 \times 10^{-14} \text{ N}$ باشد، بزرگی و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید. (ب) چه میدان الکتریکی همین نیرو را ایجاد می‌کند؟ (بار الکتریکی الکترون $C = 1.6 \times 10^{-19}$ است).

۱۶- کودکی یک قطعه‌ی کوچک فلز را بلعیده است که در گلوی او گیر کرده است. پزشک با دستگاهی که در شکل ۴۵-۳ دیده می‌شود، می‌خواهد فلز را بیرون بیاورد.



شكل ۴۵-۳

الف) هنگامی که آهنربای دائم به نوک ثابت آهنی نزدیک می‌شود چه اتفاقی می‌افتد؟

ب) آهن برای ساختن نوک ثابت چه مزیتی دارد؟

پ) این وسیله را باید به درون گلوی کودک وارد و به سوی فلز بلعیده شده هدایت کرد. چرا غلاف باید انعطاف‌پذیر باشد؟

ت) پزشک می‌خواهد یک گیره‌ی آهنی کاغذ و یک واشر آلومینیومی را از گلوی کودک بیرون بیاورد. کدامیک را می‌توان بیرون آورد؟ چرا؟

۲



القای الکترومغناطیسی مبنای تولید انرژی الکتریکی در مولدات جریان متناوب است. برای انتقال انرژی الکتریکی تا فاصله‌های خیلی دور از خطوط انتقال با ولتاژ بالا استفاده می‌شود.

القای الکترو مغناطیسی

۴-۱- پدیده‌ی القای الکترو مغناطیسی

در فیزیک ۱ و آزمایشگاه دیدیم که با استفاده از روش القای الکتریکی می‌توان اجسام رسانا را باردار کرد. در فصل قبل نیز با پدیده‌ی القای مغناطیسی آشنا شدیم. در پدیده‌ی اول در اثر القا، بار الکتریکی در ماده‌ی رسانا پدیدار می‌شود. در پدیده‌ی دوم، در اثر القا در ماده‌ی فرومغناطیس خاصیت مغناطیسی ایجاد می‌شود. پدیده‌ی القای دیگری نیز وجود دارد که در آن، جریان الکتریکی در یک رسانا القا می‌شود. این پدیده را القای الکترو مغناطیسی می‌نامند. با انجام آزمایش زیر با این پدیده آشنا می‌شوید.

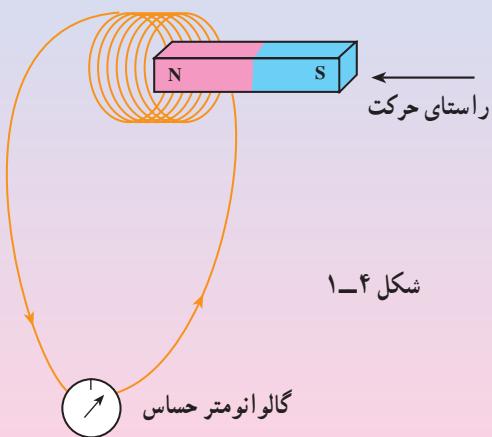
آزمایش ۴-۱

وسیله‌های آزمایش: میلی آمپرسنچ صفر وسط (گالوانومتر)، آهنربای میله‌ای، پیچه و سیم رابط.

- ۱- با پیچه و گالوانومتر مداری مانند شکل ۴-۱ را بیندید.
- ۲- قطب N آهنربای میله‌ای را مطابق شکل به پیچه نزدیک کنید. آن چه را که در حین انجام دادن این عمل می‌بینید، یادداشت کنید.
- ۳- قطب N آهنربای میله‌ای را نزدیک پیچه نگه دارید. سپس آن را از پیچه دور

کنید. آن چه را مشاهده می‌کنید، بنویسید.

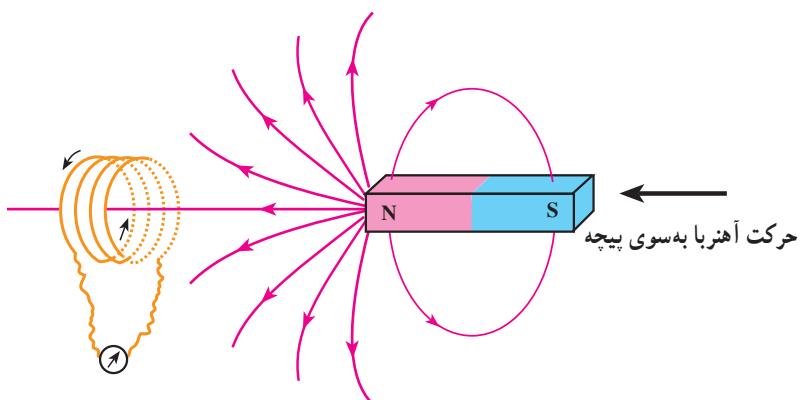
- ۴- بندهای ۲ و ۳ را با قطب S آهنربای نیز انجام دهید.



شکل ۴-۱

در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فارادی دانشمند انگلیسی و تقریباً همزمان با او جوزف هانری دانشمند امریکایی، با انجام دادن آزمایش‌های مشابه آزمایش ۱-۴ دریافتند که با دور و تزدیک کردن آهنربا به پیچه، عقربه‌ی میلی آمپرسنچ منحرف می‌شود، و عبور جریانی را از مدار نشان می‌دهد؛ مانند وقتی که در مدار یک مولّد وجود داشته باشد. یعنی با حرکت آهنربا نسبت به پیچه، یک جریان الکتریکی در مدار القا می‌شود. این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند. القای الکترومغناطیسی اساس کار مولّد جریان متناوب، دینام، مبدل‌ها و بسیاری از وسیله‌های الکتریکی است.

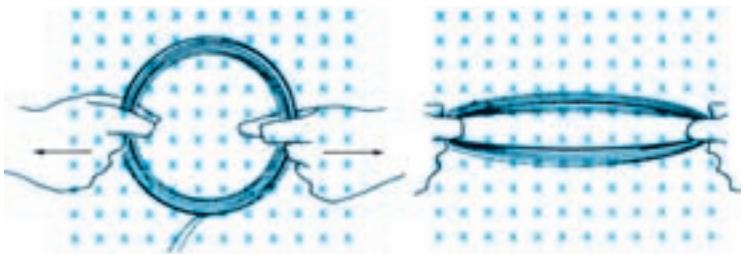
دور یا تزدیک شدن آهنربا به پیچه باعث تغییر میدان مغناطیسی در محل پیچه می‌شود (شکل ۲-۴) و همین امر جریان الکتریکی القایی را در پیچه ایجاد می‌کند. پس می‌توان چنین نتیجه گرفت که: تغییر اندازه‌ی میدان مغناطیسی در محل یک مدار بسته باعث القای جریان الکتریکی در آن مدار می‌شود.



شکل ۲-۴

آزمایش نشان می‌دهد که علاوه بر روش گفته شده، به روش‌های دیگر نیز می‌توان در یک پیچه جریان الکتریکی القا کرد.

اگر پیچه‌ای از یک سیم انعطاف‌پذیر را مطابق شکل ۲-۴ در میدان مغناطیسی یکنواخت B قرار دهیم، سپس پیچه را تغییر شکل دهیم به گونه‌ای که مساحت حلقه‌ی پیچه تغییر کند، خواهیم دید که در حین این عمل جریان الکتریکی در پیچه القا می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که: تغییر مساحت مدار بسته در میدان مغناطیسی نیز می‌تواند عامل ایجاد جریان القایی شود.



شکل ۴-۳- با تغییر مساحت پیچه در میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در پیچه القا می شود.

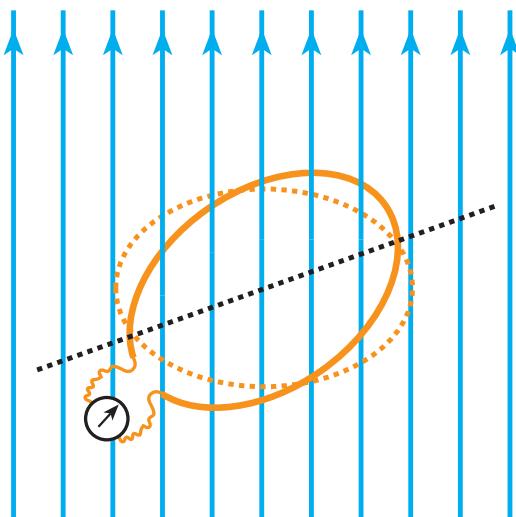
با انجام دادن فعالیت زیر، با یک روش دیگر ایجاد جریان الکتریکی القایی آشنا می شوید.

فعالیت ۴-۱

یک آهنربای میله‌ای را در نزدیکی یک پیچه قرار دهید. بدون آنکه فاصله‌ی آهنربا از پیچه را تغییر دهید، پیچه را بچرخانید. هر تغییری را که در گالوانومتر مشاهده می‌کنید، بنویسید.

با چرخاندن پیچه در میدان مغناطیسی یکنواخت مطابق شکل ۴-۴، بزرگی میدان مغناطیسی و مساحت حلقه‌ی مدار تغییر نمی‌کند، ولی زاویه‌ی بین میدان مغناطیسی و سطح پیچه تغییر می‌کند. از این فعالیت نیز می‌توان نتیجه گرفت که :

تغییر زاویه‌ی بین حلقه و راستای میدان مغناطیسی نیز می‌تواند عامل برقراری جریان الکتریکی القایی شود.



شکل ۴-۴- در حین چرخش پیچه در میدان مغناطیسی و تغییر زاویه‌ی بین پیچه و راستای میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در پیچه القا می شود.

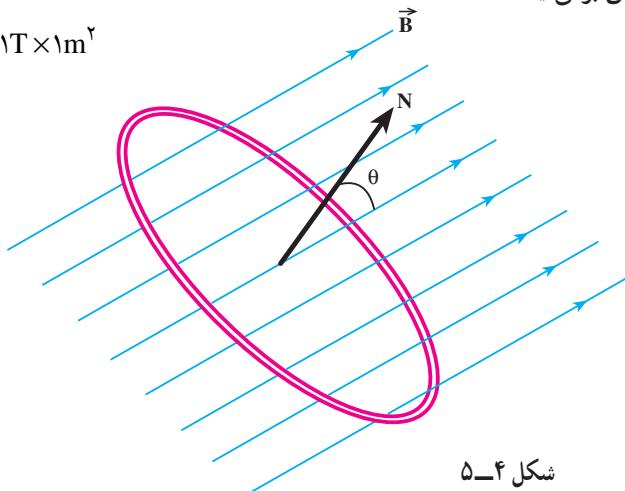
۲-۴- شار مغناطیسی

در آزمایش‌های قبل دیدیم که در اثر تغییر میدان مغناطیسی در حلقه، تغییر مساحت حلقه، و یا تغییر زاویه‌ی بین سطح حلقه و جهت میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در پیچه القا می‌شود. کمیتی به نام شار مغناطیسی، این سه کمیت را دربر دارد. این کمیت نزد های به صورت زیر معرفی می‌شود. فرض کنید حلقه‌ای به مساحت A مطابق شکل ۴-۵ در میدان مغناطیسی یکنواخت \vec{B} قرار دارد. شار میدان مغناطیسی یکنواخت^{*} که از سطح حلقه می‌گذرد به صورت زیر تعریف و با نماد Φ نمایش داده می‌شود.

$$\Phi = BA \cos \theta \quad (1-4)$$

که در این رابطه، θ زاویه‌ی بین بردار میدان مغناطیسی \vec{B} و نیم خط عمود بر سطح حلقه است (این نیم خط را می‌توان به طور اختیاری در هر یک از دو طرف سطح حلقه رسم کرد، ولی در هر مورد پس از انتخاب دیگر جهت آن را نباید عوض کرد). یکای شار مغناطیسی در SI و بر (Wb) است. از معادله‌ی ۱-۴ چنین برمی‌آید:

$$1\text{Wb} = 1\text{T} \times 1\text{m}^2$$



شکل ۴-۵

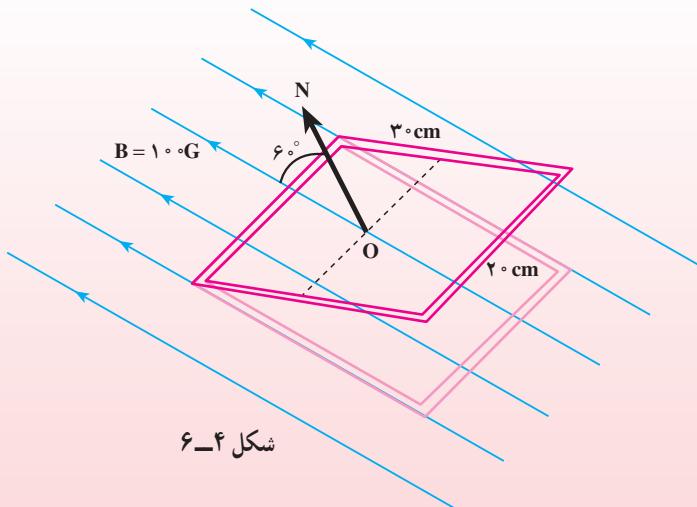
مثال ۴-۱

(الف) شار مغناطیسی عبوری از سطح یک قاب مستطیلی شکل به ابعاد $20\text{cm} \times 30\text{cm}$ که خط عمود بر آن با میدان مغناطیسی یکنواخت 100 Gaus مطابق

* اگر میدان مغناطیسی یکنواخت نباشد، رابطه‌ی مربوط به شار مغناطیسی پیچیده‌تر می‌شود. این رابطه فراتر از سطح برنامه این کتاب است.

شکل ۶-۴ زاویه‌ی 60° می‌سازد را به دست آورید.

- ب) اگر این قاب را بچرخانیم به طوری که زاویه‌ی خط عمود بر آن با خط‌های میدان مغناطیسی از 60° به 30° کاهش یابد، شار مغناطیسی چه قدر تغییر می‌کند؟



شکل ۶-۴

حل: الف) نیم خط ON را مطابق شکل عمود بر سطح رسم می‌کنیم. زاویه‌ی بین خط‌های میدان و نیم خط ON برابر 60° است؛ بنابراین داریم:

$$A = 3.0 \times 2.0 = 6.0 \text{ cm}^2 = 6 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$B = 1.00 \text{ G} = 1.0^{-1} \text{ T}$$

$$\Phi = BA \cos \theta = 10^{-2} \times 6 \times 10^{-2} \cos 60^\circ = 3 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

ب) در وضعیت جدید داریم:

$$\theta' = 30^\circ$$

درنتیجه، به دست می‌آوریم:

$$\Phi' = BA \cos \theta' = 10^{-2} \times 6 \times 10^{-2} \cos 30^\circ$$

$$\Phi' = 5/2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

تغییر شار حاصل از این چرخش برابر است با:

$$\Delta \Phi = \Phi' - \Phi = 5/2 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-4}$$

$$\Delta \Phi = 2/2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

تمرین ۴-۱

حلقه‌ای به مساحت 5 cm^2 در یک میدان مغناطیسی یکنواخت \vec{B} قرار دارد.

با فرض این که خط‌های میدان مغناطیسی \vec{B} عمود بر سطح حلقه باشند، اگر بزرگی میدان مغناطیسی بدون تغییر جهت آن به اندازه $T/3^\circ$ افزایش یابد، شار مغناطیسی که از سطح حلقه می‌گذرد، چه قدر تغییر می‌کند؟

با انجام دادن آزمایش‌ها و فعالیت‌های پیش درمی‌باییم که تغییر هریک از کمیت‌های B , A و زاویه‌ی بین B و نیم خط عمود بر سطح باعث تغییر شار مغناطیسی می‌شود، و تغییر شار مغناطیسی باعث ایجاد جریان الکتریکی القایی در مدار می‌شود. درست شبیه به وضعیتی که یک مولد در مدار باشد، و نیروی محرکه‌ی آن جریانی در مدار ایجاد کرده باشد. علاوه‌بر این آزمایش‌ها نشان می‌دهند که هر چه تغییر شار سریع‌تر اتفاق افتد، جریان القایی و نیروی محرکه‌ی القایی بزرگ‌تر خواهد شد. مثلاً در آزمایش‌های مربوط به شکل‌های ۴-۲ تا ۴-۴ هر چه حرکتی که باعث تغییر شار مغناطیسی می‌شود، سریع‌تر انجام شود، عقره‌ی گالوانومتر پیش‌تر منحرف می‌شود، و این نشان می‌دهد که جریان بزرگ‌تری به وجود آمده است.

لنز، فیزیکدان آلمانی روس‌بار، و فارادی پدیده‌ی القای الکترومغناطیسی را فرمول‌بندی کردند، و قانون‌های القای الکترومغناطیسی را بیان کردند.

۴-۳- قانون القای الکترومغناطیسی فارادی

بنابر قانون فارادی هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار بسته‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القای شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است.

يعني هرچه آهنگ تغییر شار مغناطیسی بیش‌تر باشد، نیروی محرکه‌ی القایی و درنتیجه جریان ایجاد شده در مدار بیش‌تر خواهد بود. قانون فارادی را می‌توان با رابطه‌ی زیر بیان کرد.

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (4-2)$$

در این رابطه، \mathcal{E} نیروی محرکه‌ی القایی بر حسب ولت و $\frac{d\Phi}{dt}$ آهنگ تغییر شار مغناطیسی (یعنی مشتق شار نسبت به زمان) بر حسب ویر بر ثانیه ($\frac{\text{Wb}}{\text{s}}$) است. علامت منفی نشان‌دهنده‌ی جهت

نیروی محرکه‌ی القایی است که در بخش بعد در مورد آن بیشتر سخن می‌گوییم.

نیروی محرکه‌ی القایی در پیچه: هر پیچه را می‌توان به صورت چند حلقه سیم که به طور متواالی به هم بسته شده‌اند، در نظر گرفت. تغییر شار مغناطیسی در هر حلقه‌ی پیچه نیروی محرکه‌ای القایی کند. نیروی محرکه‌ی القایی کل، برابر مجموع نیروی محرکه‌ی القایی شده در حلقه‌هاست. به بیان دیگر، نیروی محرکه‌ی القایی در هر پیچه با تعداد دورهای پیچه (N) نیز نسبت مستقیم دارد؛ یعنی،

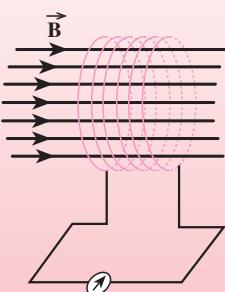
$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (3-4)$$

اگر شار مغناطیسی که از پیچه‌ای با N حلقه می‌گذرد در بازه‌ی زمانی Δt به اندازه‌ی Φ تغییر کرده باشد، آهنگ متوسط تغییر شار مغناطیسی در بازه‌ی زمانی Δt برابر $\frac{\Phi}{\Delta t}$ خواهد بود. نیروی محرکه‌ی القایی متوسط (که با $\bar{\varepsilon}$ نمایش داده می‌شود) ایجاد شده در این پیچه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Phi}{\Delta t} \quad (4-4)$$

مثال ۲-۴

پیچه‌ای شامل 200 دور سیم با مساحت سطح مقطع 2 سانتی‌متر مربع مطابق شکل ۷-۴ در میدان مغناطیسی یکنواختی قرار گرفته است؛ به گونه‌ای که خط‌های میدان بر سطح آن عمود است. بزرگی میدان مغناطیسی در بازه‌ی زمانی $3/2$ میلی ثانیه و بدون تغییر جهت از $18T$ به $22T$ درجه می‌رسد. اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی القایی متوسط چه قدر است؟



شکل ۷-۴

حل: ابتدا شاری را که در دو حالت اولیه و نهایی از پیچه می‌گذرد، محاسبه می‌کنیم.

$$\Phi_1 = B_1 A \cos \theta = 18 \times 2 \times 10^{-4} \times \cos 0^\circ = 3.6 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos \theta = 22 \times 2 \times 10^{-4} \times \cos 0^\circ = 4.4 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

تغییر شار مغناطیسی که از سطح پیچه می‌گذرد، برابر است با :

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \frac{4}{4 \times 10^{-5}} - \frac{3}{6 \times 10^{-5}} = 0.8 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

این تغییر شار در بازه‌ی زمانی $3/2 \times 10^{-3}$ ثانیه روی داده است؛ بنابراین،

آهنگ متوسط تغییر شار برابر است با :

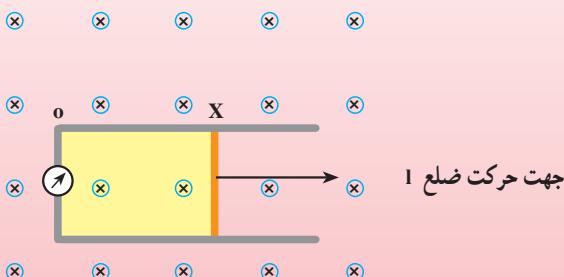
$$\frac{\Phi}{\Delta t} = \frac{0.8 \times 10^{-5}}{3/2 \times 10^{-3}} = 2/5 \times 10^{-3} \frac{\text{Wb}}{\text{s}}$$

درنتیجه بزرگی نیروی محرکه‌ی القایی متوسط برابر است با :

$$|\bar{\epsilon}| = \left| -N \frac{\Phi}{\Delta t} \right| = \left| -200 \times 2/5 \times 10^{-3} \right| = 0.5 \text{ V}$$

مثال ۴-۳

قاب مستطیلی شکلی که از سیم بدون روکش ساخته شده است مطابق شکل ۴-۸ در میدان مغناطیسی یکنواخت و ثابت با بزرگی 18 T در میدان مغناطیسی عمود است. اگر ضلع $1 = 20 \text{ cm}$ با سرعت $v = 20 \text{ m/s}$ در جهتی که در شکل نشان داده شده است حرکت کند بزرگی نیروی محرکه‌ی القایی را محاسبه کنید.



شکل ۴-۸

حل: بنابر قانون فارادی، نیروی محرکه‌ی القایی برابر است با $\frac{d\Phi}{dt}$ ، که

در آن Φ ، شار مغناطیسی که از حلقه می‌گذرد، برابر است با:

$$\Phi = AB \cos \theta$$

در این مسئله، B بزرگی میدان مغناطیسی ثابت است، همچنین θ زاویه‌ی میدان مغناطیسی با نیم خط عمود بر حلقه ثابت و برابر صفر است و $\cos \theta = 1$ ، و تنها مساحت حلقه با زمان تغییر می‌کند. مساحت حلقه در هر لحظه برابر است با:

$$A = lx = lvt$$

درنتیجه آهنگ تغییر مساحت با زمان از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{dA}{dt} = \frac{d(lvt)}{dt} = lv$$

درنتیجه، داریم:

$$|\varepsilon| = \left| -\frac{d\Phi}{dt} \right| = \left| -\frac{d}{dt}(AB) \right| = B \frac{dA}{dt}$$

$$|\varepsilon| = lvB = 0.2 \times 20 \times 0.18$$

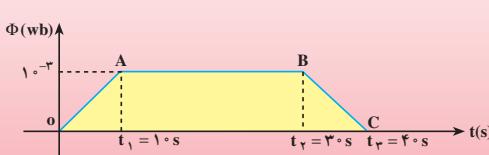
$$= 0.72 v = 72 \text{ mV}$$

تمرین ۴-۴

میدان مغناطیسی عمود بر یک قاب دایره‌ای شکل به قطر 20 سانتی‌متر با زمان تغییر می‌کند و در مدت 0.58 از 0.28 تسلیا به 0.12 تسلیا می‌رسد (تغییر علامت نشان می‌دهد که جهت میدان نیز وارون شده است). نیروی محرکه‌ی القایی متوسط در حلقه را حساب کنید.

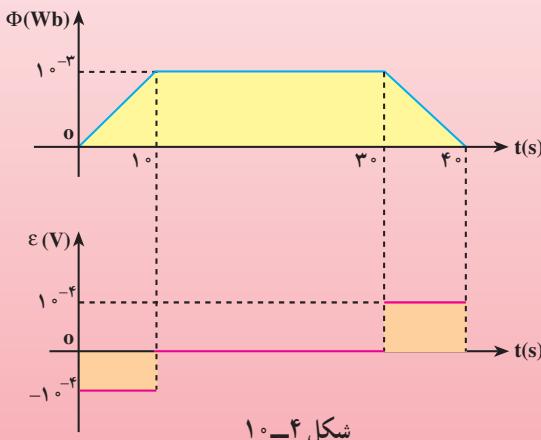
مثال ۴-۴

نمودار تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می‌گذرد برحسب زمان در منحنی شکل ۴-۹ داده شده است. نمودار تغییرات نیروی محرکه‌ی القایی شده در حلقه را برحسب زمان رسم کنید.



شکل ۴-۹

حل: نمودار تغییرات شار مغناطیسی بر حسب زمان نشان می‌دهد که در بازه زمانی $t_1 = 0$ – $t_2 = 1$ سار به صورت خطی افزایش می‌یابد. درنتیجه، در این بازه نیروی محرکه‌ی القایی که برابر است با $\frac{d\Phi}{dt}$ ، مقداری ثابت (برابر شیب خط OA) و منفی خواهد داشت و مقدار آن برابر است با $-4 \text{--} 10^{-4}$ ولت. در بازه‌ی زمانی $t_2 = t_2 - t_1 = 1$ – $t_3 = 3$ سار ثابت مانده است. بنابراین، $\frac{d\Phi}{dt} = 0$ و نیروی محرکه‌ی القایی در این بازه برابر صفر است. در بازه‌ی زمانی $t_3 = t_3 - t_2 = 3$ – $t_4 = 4$ سار به صورت خطی کاهش یافته است، و درنتیجه، نیروی محرکه‌ی القایی در این بازه مثبت است و مقدار آن برابر $\frac{d\Phi}{dt} < 0$ ؛ و درنتیجه، نیروی محرکه‌ی القایی در این بازه مثبت است و مقدار آن برابر است با $1 \text{--} 10^{-4}$ ولت. نمودار این تغییرات در شکل ۴–۱ رسم شده است.



۴–۴ محاسبه‌ی جریان القایی

دیدیم که نیروی محرکه‌ی القایی در پیچه (و یا در حلقه) جریانی تولید می‌کند که به آن جریان القایی گفته می‌شود. اگر مقاومت پیچه برابر R باشد، جریان القایی در آن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

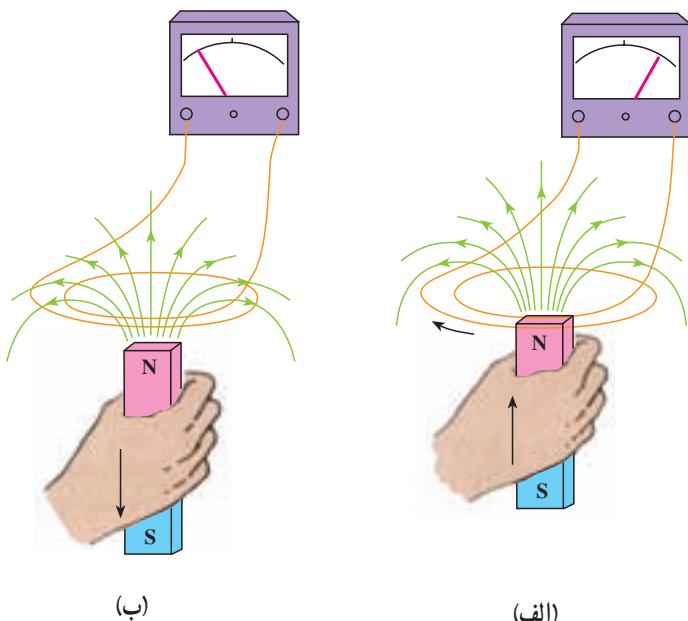
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{N}{R} \frac{d\Phi}{dt} \quad (5-4)$$

قانون لنز که به صورت زیر بیان می‌شود، در واقع دستورالعملی است برای تعیین جهت جریان القایی.

جریان القایی در مدار در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن با عامل

به وجود آور ندهی جریان القایی یعنی تغییر شار مغناطیسی مخالفت می کند.

علامت منفی در رابطه $4-5$ نشان دهنده همین مخالفت است. در عمل، برای به دست آوردن جهت جریان القایی در یک مدار از قانون لنز استفاده می شود. به عنوان مثال، اگر قطب N یک آهنربای میله ای را مطابق شکل $11-4$ الف به یک پیچه تزدیک کنیم، شار مغناطیسی که از پیچه می گذرد، به دلیل قوی ترشدن میدان در محل پیچه، افزایش می یابد. جهت جریان القایی در پیچه همان طور که در شکل $11-4$ الف نشان داده شده است در جهتی است که میدان مغناطیسی حاصل از آن در خلاف جهت میدان آهنربای میله ای باشد، تا با افزایش شار مغناطیسی که از پیچه می گذرد مخالفت کند. یعنی قطب N آهنربا را به عقب براند.



شکل $4-11$ — جریان القایی در جهتی است که با حرکت آهنربا به طرف پیچه مخالفت می کند.

تمرین ۴-۳

قطب N یک آهنربای میله ای را مطابق شکل $11-4$ ب از پیچه دور می کنیم، با استفاده از قانون لنز جهت جریان القایی را در پیچه تعیین کنید.

مثال ۶-۴

سیم‌لوله‌ای با 500 دور و مقاومت الکتریکی 1Ω و مساحت سطح مقطع 25cm^2 در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار دارد. برای اینکه جریانی بهشتد 1mA در سیم‌لوله القا شود، میدان مغناطیسی با چه آهنگی باید تغییر کند؟ فرض کنید سطح مقطع سیم‌لوله بر میدان مغناطیسی عمود است.

حل: زاویه‌ی بین میدان و خط عمود بر سطح سیم‌لوله صفر است، درنتیجه داریم :

$$\Phi = BA$$

چون مساحت هر حلقه‌ی سیم‌لوله ثابت است، تغییر Φ در اثر تغییر در بزرگی میدان مغناطیسی است. درنتیجه تغییر شار مغناطیسی برابر است با :

$$\frac{\Phi}{A} = \Delta B$$

از سوی دیگر، با توجه به رابطه‌ی $4-4$ اندازه‌ی جریان القایی برابر است با :

$$I = \left| \frac{N}{R} \frac{\Phi}{\Delta t} \right| = \left| \frac{N}{R} \frac{A \Delta B}{\Delta t} \right|$$

$$= \frac{NA}{R} \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|$$

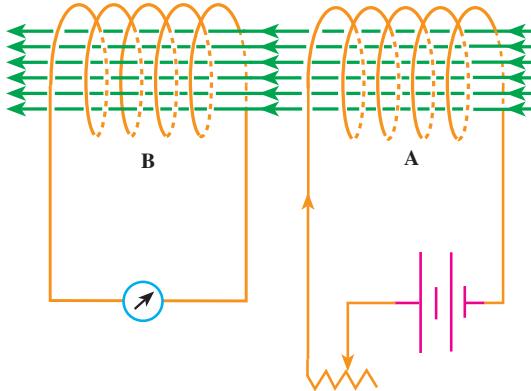
$$10^{-3} A = \frac{500 \times 25 \times 10^{-4} \text{m}^2}{1\Omega} \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|$$

$$\left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| = 8 \times 10^{-3} \text{T/s}$$

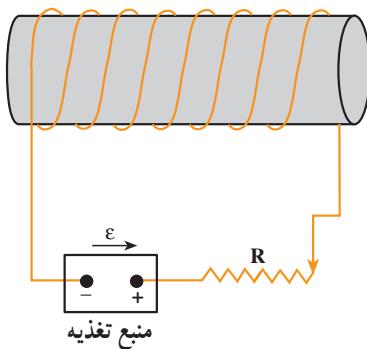
۶-۵ خودالقایی

در آزمایش‌ها و فعالیت‌هایی که از ابتدای این فصل تا اینجا انجام داده‌اید، همواره یک عامل خارجی باعث تغییر شار مغناطیسی و در نتیجه، القای نیروی محرکه و جریان الکتریکی در مدار شده است. برای مثال در شکل $6-4$ تغییر جریان در مدار A باعث تغییر شار مغناطیسی در سیم‌لوله B و ایجاد نیروی محرکه‌ی القایی در مدار B می‌شود. در ادامه به بررسی این موضوع می‌پردازیم که: تغییر جریان الکتریکی در یک مدار حتی در خود مدار نیروی محرکه‌ای را القایی کند. برای این کار مداری مطابق شکل $6-4$ در نظر بگیرید.

فرض کنید که رئوستا با بیشترین مقاومت در مدار قرار گرفته است و جریان ثابتی از مدار



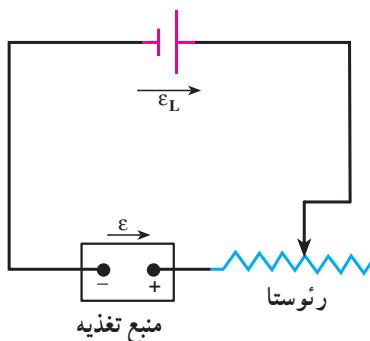
شکل ۱۲-۴- تغییر جریان در سیم‌لوله‌ی A باعث ایجاد جریان در سیم‌لوله‌ی B می‌شود.



شکل ۱۳-۴- خودالقایی - تغییر جریان در مدار نیروی محرکه‌ای در خود سیم‌لوله‌ی القا می‌کند.

می‌گزد. درنتیجه، شار مغناطیسی ثابت Φ از سیم‌لوله می‌گزد. حال اگر مقاومت رُوستا را به تدریج کاهش دهیم، جریان در سیم‌لوله افزایش می‌یابد. در مدتی که جریان در حال افزایش است، شار مغناطیسی که از سیم‌لوله می‌گزد افزایش پیدا می‌کند. بنابر قانون فارادی این تغییر شار باعث ایجاد نیروی محرکه‌ای القایی در خود مدار می‌شود. روشن است که در تمام مدتی که جریان ثابتی از مدار می‌گزد، چون شار مغناطیسی تغییر نمی‌کند نیروی محرکه‌ای القایی وجود ندارد. به این پدیده که تغییر جریان در یک مدار باعث ایجاد نیروی محرکه‌ای القایی در همان مدار می‌شود خودالقایی می‌گویند. در این مثال، جهت این نیروی محرکه‌ای القایی چنان است که می‌خواهد مانع افزایش شار مغناطیسی ای شود که منبع تغذیه ایجاد می‌کند. افزایش شار مغناطیسی بهدلیل افزایش شدت جریانی است که از مدار می‌گزد، درنتیجه نیروی محرکه‌ای القایی در واقع در جهتی است که با افزایش شدت جریان

مقابله می‌کند. به عبارت دیگر در این حالت نیروی محرکه‌ی القایی معادل نیروی محرکه‌ی باتری‌ای عمل می‌کند که در جهت مخالف منبع تغذیه مانند شکل ۱۴-۴ در مدار قرار گرفته باشد.



شکل ۱۴-۴ - خودالقایی باعث می‌شود که سیم‌لوله مانند پیل ۴ در مدار عمل کند.

فعالیت ۴-۲

با بحث در گروه خود، نتیجه‌ی آزمایشی را پیش‌بینی کنید که در آن مشابه آزمایش بالا عمل شود؛ با این تفاوت که به جای کاهش مقاومت مدار، آن را افزایش دهنده. دلیل وجود نیروی محرکه‌ی القایی و جهت آن را نیز مورد بحث قرار دهید.

به این ترتیب، دریافتیم که :

هرگاه جریانی که از یک سیم‌لوله (یا یک پیچه) می‌گذرد، تغییر کند، در آن نیروی محرکه‌ای به وجود می‌آید که با عامل تغییر جریان مخالفت می‌کند و به آن نیروی محرکه‌ی خودالقایی گفته می‌شود. این پدیده را خودالقایی می‌نامند.

ضریب خودالقایی (یا القاییدگی)؛ در پدیده‌ی خودالقایی، در اثر عبور یک جریان الکتریکی متغیر از سیم‌لوله، میدان مغناطیسی متغیری به وجود می‌آید. بزرگی این میدان در هر لحظه متناسب با جریانی است که در آن لحظه از سیم‌لوله می‌گذرد (به عنوان مثال رابطه‌های ۷-۳ و ۹-۳ را ملاحظه کنید)، یعنی :

$$B \propto I$$

این میدان مغناطیسی متغیر، شار مغناطیسی متغیری را از سیم‌لوله عبور می‌دهد که با میدان مغناطیسی متناسب است و در نتیجه با شدت جریانی که از سیم‌لوله می‌گذرد متناسب است، یعنی

$$\Phi_B \rightarrow \Phi_I$$

اگر ضریب تناسب را با نماد b نشان دهیم، داریم:

$$\Phi = bI$$

این شار مغناطیسی متغیر در هر حلقه‌ی سیم‌لوله (یا پیچه) نیروی محرکه‌ای القا می‌کند که به صورت زیر است:

$$\varepsilon_1 = -\frac{d\Phi}{dt}$$

یا:

$$\varepsilon_1 = -b \frac{dI}{dt}$$

در نتیجه اگر سیم‌لوله دارای N حلقه باشد، نیروی محرکه‌ای القا شده در سیم‌لوله برابر خواهد بود با:

$$\varepsilon_L = N\varepsilon_1$$

$$\varepsilon_L = -Nb \frac{dI}{dt}$$

اگر $L = Nb$ قرار دهیم، نیروی محرکه‌ای خودالقایی سیم‌لوله به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt} \quad (5-4)$$

L از مشخصات ساختمانی سیم‌لوله است (به تعداد حلقه‌ها، طول سیم‌لوله و... بستگی دارد) و ضریب خودالقایی یا القاییدگی سیم‌لوله نام دارد. یکای خودالقایی «هانزی» نام دارد که آن را با نماد H نمایش می‌دهند. یک هانزی ضریب خودالقایی سیم‌لوله‌ای است که هرگاه جریانی که از آن عبور می‌کند با آهنگ یک آمپر بر ثانیه تغییر کند، نیروی محرکه‌ای برابر یک ولت در آن القا شود.

به هر قسمتی از یک مدار که خاصیت خودالقایی داشته باشد، القاگر می‌گویند. پیچه و سیم‌لوله در مداری با جریان متغیر القاگرند.

۷-۴ مثال

از سیم‌لوله‌ای به ضریب خودالقایی $H = 4 \text{ H/m}$ ، جریان متغیری می‌گذرد که با زمان

به صورت $I = 4t - 3$ تغییر می‌کند (I بر حسب آمپر و t بر حسب ثانیه است). بزرگی

نیروی محرکه‌ای القا شده را محاسبه کنید.

حل: داریم

$$|\varepsilon| = \left| L \frac{dI}{dt} \right|$$

را از رابطه‌ی جریان بر حسب زمان که در مسئله داده شده محاسبه می‌کنیم.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt}(4t - 3) = 4 \text{ A/s}$$

در نتیجه، به دست می‌آوریم

$$|\varepsilon| = 0 / 4 \times 4 = 1/6 \text{ V}$$

محاسبه‌ی ضریب خودالقایی سیم‌لوله: در فصل ۳ دیدیم که میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریانی به شدت I از سیم‌لوله‌ای به طول l که دارای N حلقه است، در داخل سیم‌لوله یکنواخت و موازی با محور سیم‌لوله است و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید :

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l}$$

علاوه بر این دیدیم که اگر سیم‌لوله دارای هسته‌ای باشد، میدان مغناطیسی سیم‌لوله تقویت می‌شود. میدان مغناطیسی سیم‌لوله‌ای که هسته داشته باشد، در داخل سیم‌لوله از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$B = k\mu_0 \frac{N}{l} I \quad (6-4)$$

که در آن k ضریبی است که به جنس هسته‌ی داخل سیم‌لوله بستگی دارد و به آن تراوایی نسبی مغناطیسی هسته می‌گویند. با توجه به آن که میدان مغناطیسی در داخل سیم‌لوله یکنواخت و موازی با محور سیم‌لوله است، شار مغناطیسی حاصل از آن که از سیم‌لوله می‌گذرد برابر است با :

$$\Phi = AB = k\mu_0 \frac{NA}{l} I \quad (7-4)$$

نیروی محرکه‌ی خودالقایی برابر است با :

$$\varepsilon_L = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (8-4)$$

با قرار دادن Φ از رابطه‌ی ۷-۸ در رابطه‌ی ۴-۸ به دست می‌آوریم :

$$\varepsilon_L = -N \frac{d}{dt} (k\mu_0 \frac{NA}{l} I)$$

یعنی :

$$\varepsilon_L = -k\mu_0 \frac{N^2 A}{l} \frac{dI}{dt} \quad (9-4)$$

از مقایسه رابطه های ۹-۴ و ۹-۵ بدست می آوریم :

$$L = k\mu_0 \frac{N^2 A}{l} \quad (10-4)$$

این رابطه نشان می دهد که ضریب خودالقایی از مشخصه های ساختاری القاگر است و به جریان متغیری که از القاگر می گذرد بستگی ندارد.

مثال ۱۰-۴

سیم‌لوله‌ای بدون هسته، با سطح مقطع 10 cm^2 و طول 50 cm در نظر بگیرید.

اگر تعداد حلقه‌های این سیم‌لوله برابر 2000 باشد، ضریب خودالقایی آن را حساب کنید.

حل: چون سیم‌لوله بدون هسته است، $k = 1$ است بنابراین با استفاده از رابطه

۱۰-۴ داریم :

$$L = 1 \times 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{(2000)^2 \times (10 \times 10^{-4})}{50}$$

در نتیجه :

$$L = 10^{-3} \text{ H} = 10 \text{ mH}$$

تمرین ۱۰-۴

دو سیم‌لوله با سطح مقطع و تعداد دور یکسان در نظر بگیرید. اگر طول یکی از سیم‌لوله‌ها دو برابر دیگری باشد، نسبت ضریب خودالقایی آن‌ها را محاسبه کنید.

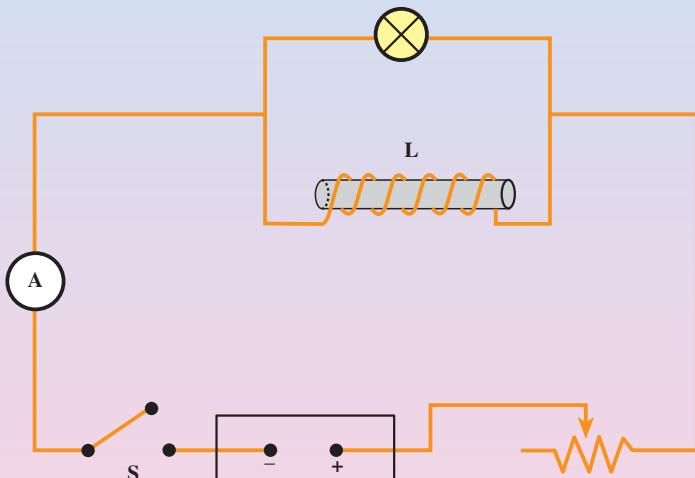
۱۵-۴ آزمایش

وسیله‌های آزمایش: لامپ ۱۲ ولتی، منبع تغذیه، رئوستا، کلید، سیم رابط، سیم‌ولوه (با ۲۰۰ تا ۴۰۰ دور) و هسته‌ی آهنی.

۱- مداری مطابق شکل ۱۵-۴ بیندید.

۲- رئوستا را به گونه‌ای تنظیم کنید تا لامپ با روشنایی ضعیف تاش کند.

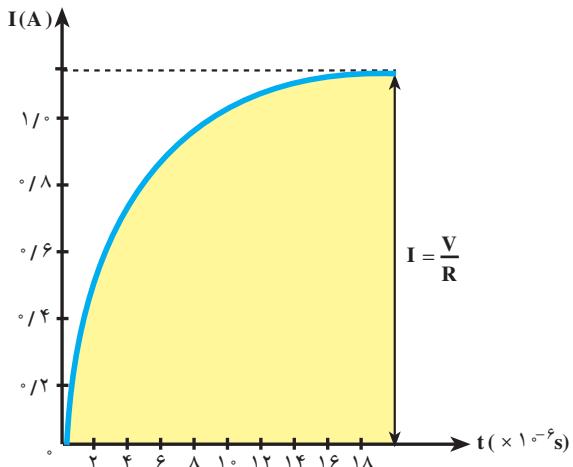
۳- کلید S را سریعاً قطع کنید و آنچه را مشاهده می‌کنید پس از بحث در گروه به کلاس گزارش کنید.



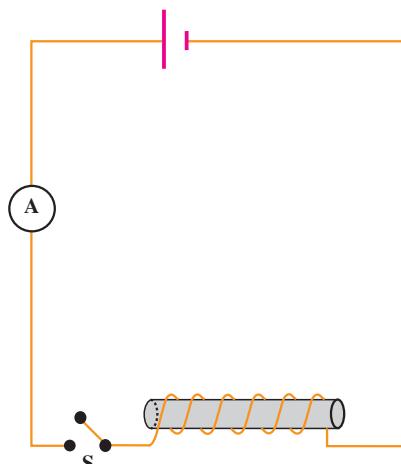
شکل ۱۵-۴

دیدیم که تغییر جریان در یک القاگر باعث ایجاد نیروی محرکه‌ی القایی در آن می‌شود. ایجاد نیروی محرکه‌ی القایی باعث می‌شود جریان به سرعت به مقدار نهایی خود نرسد. برای مثال مداری مانند شکل ۱۶-۴ الف در نظر بگیرید که در آن یک سیم‌ولوه با تعداد دور نسبتاً زیاد به دو سر یک باتری بسته شده است. هنگامی که کلید S را می‌بندیم، جریان به طور آنی به مقداری که از قانون اهم ($I = \frac{V}{R}$) به دست می‌آید نمی‌رسد، بلکه با زمان تغییر می‌کند. منحنی تغییر جریان با زمان به صورت منحنی شکل ۱۶-۴ ب است.

این اثر را می‌توانیم به این صورت توجیه کنیم که به هنگام بستن کلید، جریان از صفر رویه



(ب) چگونگی تغییر جریان با زمان به هنگام بستن کلید



(الف) سیمی به مقاومت R را به صورت یک سیم‌لوه بسته ایم

شکل ۴-۱۶—اثر خودالقایی در مدار شامل سیم‌لوه (اعداد روی شکل مربوط به یک آزمایش خاص است)

افزایش می‌گذارد و نیروی محرکه‌ی خودالقایی در جهت مخالف نیروی محرکه‌ی مولد در سیم‌لوهه القا می‌شود، در نتیجه جریان در مدار کمتر از حالتی است که خودالقا در مدار وجود نداشته باشد.

یعنی جریان کمتر از مقداری است که از رابطه $I = \frac{V}{R}$ بدست می‌آید. با گذشت زمان و تردیک

شدن جریان به I، آهنگ تغییر جریان کندتر می‌شود. بنابراین نیروی محرکه‌ی خودالقایی نیز کوچک‌تر می‌شود. هنگامی که جریان برابر I می‌شود، دیگر جریان تغییر نمی‌کند و نیروی محرکه‌ی خودالقایی به صفر می‌رسد.

فعالیت ۴-۳

با توجه به مطالب بالا نتیجه‌ی آزمایش ۴-۲ را توجیه کنید.

۴-۶— انرژی ذخیره شده در القاگر

هنگامی که در دو سر القاگر اختلاف پتانسیل برقرار شود، از طرف مولد به القاگر انرژی داده می‌شود. بخشی از این انرژی در مقاومت R تلف می‌شود و بقیه‌ی آن در میدان مغناطیسی سیم‌لوهه ذخیره می‌شود، این انرژی از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید :

$$U = \frac{1}{2} L I^2 \quad (11-4)$$

این انرژی در میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان از القاگر ذخیره می‌شود.

مثال ۴-۹

سیم‌لوله‌ای با ضریب خودالقایی $H = 4 \text{ A/m}$ و مقاومت $R = 10 \Omega$ مفروض است.

سیم‌لوله را مطابق شکل ۴-۱۵ به یک باتری ۶ ولتی وصل می‌کنیم. چه مقدار انرژی در سیم‌لوله ذخیره می‌شود؟

حل: پس از آنکه جریان در سیم‌لوله به مقدار نهایی خود رسید، داریم:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6}{10} = 0.6 \text{ A}$$

با استفاده از رابطه‌ی ۱۱-۴ انرژی ذخیره شده در القاگر برابر است با:

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{2} L I^2 \\ &= \frac{1}{2} (0.4)(0.6)^2 = 7.2 \times 10^{-4} \text{ J} \end{aligned}$$

تمرین ۴-۵

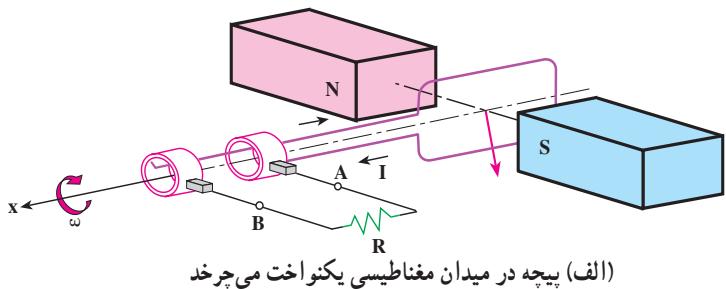
رابطه‌ای برای انرژی ذخیره شده در یک سیم‌لوله‌ی بدون هسته بر حسب ویژگی‌های سیم‌لوله به دست آورید.

۴-۷- جریان متناوب

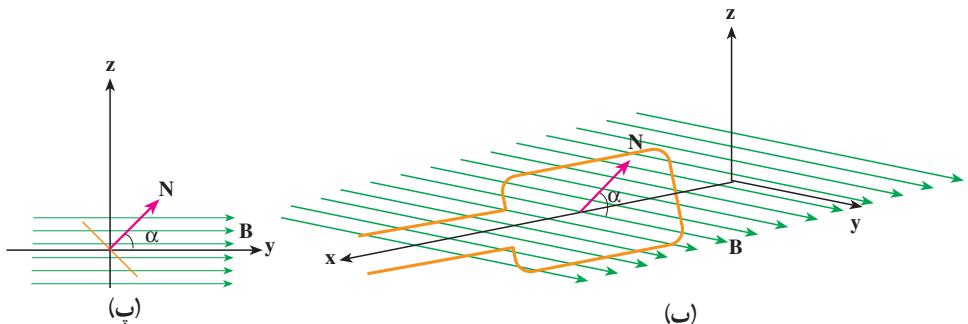
یکی از کاربرست‌های مهم القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. دیدیم که برای ایجاد نیروی محرکه‌ی القایی باید شار عبوری از مدار تغییر کند، و شار مغناطیسی‌ای که از یک پیچه می‌گذرد از رابطه‌ی $AB\cos\alpha$ محاسبه می‌شود، که در آن α زاویه‌ی بین نیم خط عمود بر سطح پیچه و میدان مغناطیسی است.

ساده‌ترین راه برای تغییر شار، تغییر زاویه‌ی α است. به همین لحاظ متدائل‌ترین روش تولید جریان القایی، تغییر زاویه‌ی α است.

شکل ۴-۱۷ الف پیچه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکنواخت حول محور x دوران کند. محور y را منطبق بر راستای میدان مغناطیسی انتخاب کرده‌ایم، شکل‌های ۴-۱۷ ب و پ نشان می‌دهند که چگونه زاویه‌ی α ، با چرخش پیچه حول محور x ، تغییر می‌کند.



(الف) پیچه در میدان مغناطیسی یکنواخت می‌چرخد



شکل ۴-۱۷

اگر زمان یک دور چرخش پیچه T ثانیه باشد، پیچه در مدت t ثانیه $\frac{t}{T}$ دور خواهد چرخید. هر دور کامل برابر 2π رادیان است. در نتیجه اگر پیچه در لحظه $t = 0$ در وضعیت عمود بر میدان مغناطیسی (90°) باشد، پس از گذشت t ثانیه در وضعیت زیر خواهد بود :

$$\omega \neq 2\pi \frac{t}{T} \quad (12-4)$$

T یعنی زمان چرخش یک دور کامل را «دوره» یا «زمان تناوب» می‌نامند. $\frac{2\pi}{T}$ را با

نمایش می‌دهند و به آن بسامد زاویه‌ای می‌گویند. در نتیجه داریم :

$$\omega \neq \omega t$$

در نتیجه شار مغناطیسی $\Phi = AB \cos \alpha$ که در لحظه t از پیچه عبور می‌کند برابر است با :

$$\Phi = AB \cos \omega t \quad (13-4)$$

نیروی محرکه‌ی القا شده در پیچه با توجه به قانون فارادی از رابطه $3-4$ محاسبه می‌شود

$$F = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NAB \frac{d(\cos \omega t)}{dt}$$

و یا

$$F = NAB\omega \sin \omega t \quad (14-4)$$

یعنی نیروی محرکه‌ای که در پیچه القا می‌شود با زمان تغییر می‌کند. بیشترین مقدار این نیروی محرکه مربوط به زمانی است که برای آن $\sin \omega t = 1$ باشد و برابر است با $\epsilon_m = NAB\omega$. در نتیجه

می‌توانیم بنویسیم :

$$\epsilon = \epsilon_m \sin \omega t \quad (15-4)$$

این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکه‌ای القا شده به طور دوره‌ای تغییر می‌کند.

تمرین ۴-۴

(الف) نمودار تغییرات شاری که از مدار پیچه در شکل ۴-۱۷ الف می‌گذرد را

بر حسب زمان در طول یک دوره‌ی چرخش پیچه رسم کنید.

(ب) نمودار تغییرات نیروی محرکه‌ای القا شده در پیچه در شکل ۴-۱۷ الف را

بر حسب زمان در طول یک دوره‌ی چرخش پیچه رسم کنید.

اگر مقاومت مدار برابر R باشد، جریان حاصل از این نیروی محرکه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$I = \frac{\epsilon}{R} = \frac{\epsilon_m}{R} \sin \omega t \quad (16-4)$$

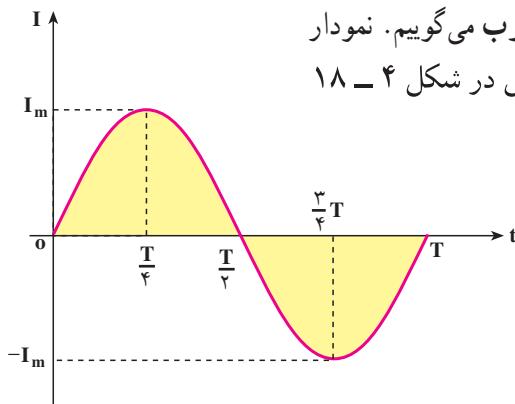
این رابطه نشان می‌دهد که جریان نیز با زمان تغییر می‌کند. بیشترین مقدار جریانی که از مدار می‌گذرد،

مربوط به زمانی است که $\sin \omega t = 1$ باشد، و برابر است با $I_m = \frac{\epsilon_m}{R}$. در نتیجه می‌توانیم بنویسیم

$$I = I_m \sin \omega t \quad (17-4)$$

رابطه‌ی ۴-۱۷ نشان می‌دهد که جریان الکتریکی تولید شده در مدار پیچه به طور سینوسی تغییر

می‌کند. به یک چنین جریانی، جریان متناوب می‌گوییم. نمودار تغییرات جریان متناوب در یک دوره‌ی کامل در شکل ۴-۱۸ رسم شده است.



شکل ۴-۱۸- نمودار تغییرات جریان متناوب سینوسی در یک دوره

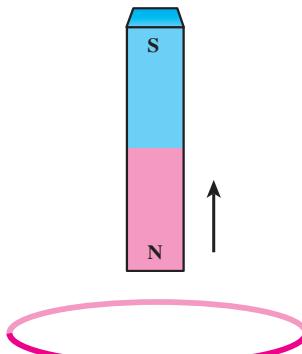
فعالیت ۴-۴

با بحث در گروه خود و با استفاده از نمودار شکل ۴-۱۸ جهت جریان متناوب را در هر بازه‌ی زمانی برابر $\frac{1}{4}$ دوره مورد بررسی قرار دهید، و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

در صنعت برای ایجاد جریان متناوب از مولدهای مخصوصی استفاده می‌شود که به آن‌ها «مولدهای صنعتی جریان متناوب» گفته می‌شود. در مولدهای صنعتی، پیچه‌ها را ساکن گرفته و آهنربا را در مقابل آن‌ها می‌چرخانند.

تمرین‌های فصل چهارم

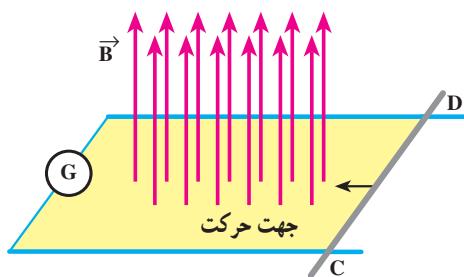
۱- قطب شمال یک آهنربا، مطابق شکل ۴-۱۹ از یک حلقه‌ی فلزی دور می‌شود. جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید.



شکل ۴-۱۹

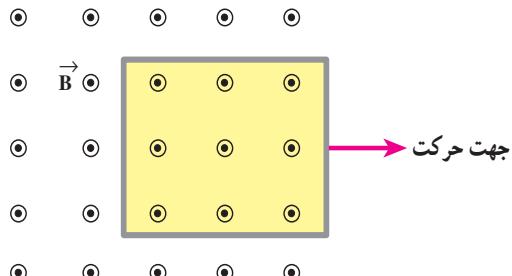
۲- یک آهنربای میله‌ای را به‌طور قائم از ارتفاع معینی نزدیک زمین رها می‌کنیم. اگر سطح زمین در محل برخورد آهنربا با آن نرم باشد آهنربا در زمین فرو می‌رود. اگر این آزمایش را باز دیگر در وضعیتی تکرار کنیم که آهنربا در حین سقوط از درون حلقه‌های یک پیچه بگزدد، مقدار فرورفتگی آهنربا در زمین چه تغییری خواهد کرد؟ چرا؟ (از اثر مغناطیسی زمین بر روی آهنربا چشم‌پوشی کنید).

۳- دو میله‌ی رسانای موازی در صفحه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت \vec{B} قرار دارند. این میله‌ها توسط گالوانومتری مطابق شکل ۴-۲۰ به یک دیگر بسته شده‌اند. میله‌ی رسانای CD می‌تواند روی دو میله‌ی موازی بلغزد. اگر میله‌ی CD در جهت نشان داده شده در شکل به حرکت درآید جهت جریان القایی در مدار در چه سویی است؟



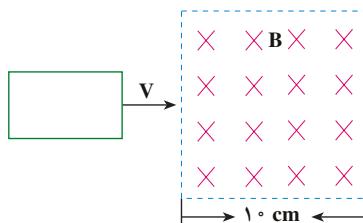
شکل ۴-۲۰

۴ - پیچه‌ی مستطیلی را که شکل ۲۱-۴ نشان داده شده است به طرف راست می‌کشیم و از میدان مغناطیسی برونسو خارج می‌کیم. جهت جریان القایی در پیچه در چه سویی است؟



شکل ۲۱-۴

۵ - حلقه‌ی فلزی مستطیل شکلی به ابعاد $3\text{cm} \times 5\text{cm}$ مطابق شکل ۲۲-۴ با سرعت ثابت 2m/s وارد میدان مغناطیسی بکنواخت 2T درجه می‌شود و از طرف دیگر آن خارج می‌شود. نمودار تغییرات شاری که از حلقه می‌گذرد و نیروی محرکه‌ی القا شده در آن را بر حسب زمان رسم کنید.



شکل ۲۲-۴

۶ - جهت جریان القایی در هر یک از حلقه‌های دایره‌ای نشان داده شده در شکل ۲۳-۴ در چه سویی است؟

جریان در حال کاهش جریان در حال افزایش



شکل ۲۳-۴

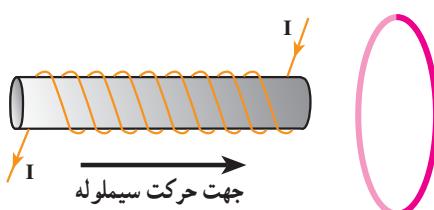
۷- پیچه‌ای که دارای 1000 حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی که اندازه‌ی آن $T = 0.4$ و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت $1s$ تغییر کرده و به $T = 0.4$ در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقه‌ی پیچه 5 cm^2 باشد،

الف- اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی القابی متوسط در پیچه را حساب کنید.

ب- جهت جریان القابی را تعیین کنید.

۸- در شکل ۲۴-۴ اگر سیم‌لوه را در جهت نشان داده شده در شکل به حلقه نزدیک کنیم

جریان القابی در حلقه در چه جهتی است؟



شکل ۲۴-۴

۹- پیچه‌ای با سطح مقطع 30 cm^2 دارای 1000 حلقه است و در ابتدا بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت $2s$ پیچه بچرخد و موازی میدان مغناطیسی زمین قرار بگیرد، نیروی محرکه‌ی متوسط القابی در آن چه قدر است؟ اندازه‌ی میدان زمین را $5G$ در نظر بگیرید.

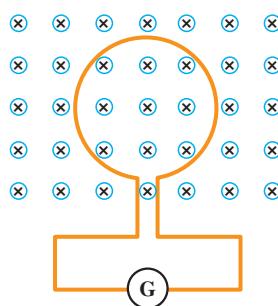
۱۰- اگر شار مغناطیسی عبوری از حلقه‌ای مطابق رابطه‌ی زیر (در SI) تغییر کند :

$$\Phi_B = (4t^2 + 3t - 1) \times 10^{-3}$$

بزرگی نیروی محرکه‌ی القابی در حلقه در لحظه‌ی $t = 2s$ چه قدر است؟

۱۱- حلقه‌ای مطابق شکل ۲۵-۴ درون یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار دارد. اگر

اندازه‌ی میدان افزایش یابد، جهت جریان القابی را روی حلقه مشخص کنید.



شکل ۲۵-۴

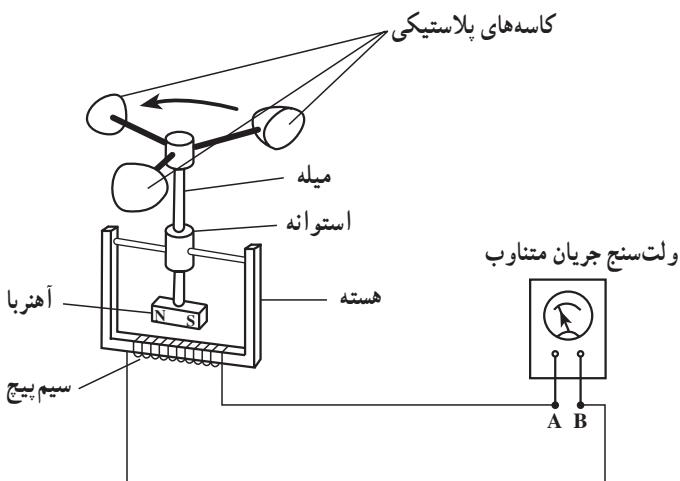
۱۲- جریان متناوبی که پیشینه‌ی آن $2A$ و دوره‌ی آن $2s$ ° است از یک رسانای ۵ اهمی می‌گذرد. (الف) در چه لحظه‌های شدت جریان پیشینه خواهد بود؟ در این لحظه‌ها نیروی محرکه‌ی القایی چه قدر است؟ (ب) در لحظه‌ی $s = \frac{1}{4}0$ ، شدت جریان چه قدر است؟

۱۳- شکل ۴-۲۶ دینام یک دوچرخه را نشان می‌دهد، تحقیق کنید چگونه این دینام، برق مورد نیاز برای روشن شدن لامپ دوچرخه را تولید می‌کند.



شکل ۴-۲۶- دینام دوچرخه

۱۴- شکل ۴-۲۷ ساختمان یک بادسنجد را نشان می‌دهد. اگر این بادسنجد را روی بام خانه نصب کنیم، به هنگام وزیدن باد میله‌ی آن می‌چرخد و ولتسنج عددی را نشان می‌دهد.
 الف) چرا چرخش میله سبب انحراف عقربه‌ی ولتسنج می‌شود؟
 ب) آیا با افزایش سرعت باد، عددی که ولتسنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟
 پ) برای بهبود و افزایش دقت کار دستگاه دو پیشنهاد ارائه دهید.



شکل ۴-۲۷

واژه‌نامه‌ی فارسی-انگلیسی

Attraction	ریاش	Electric potential energy	
Alternating Current	جریان متناوب		انرژی پتانسیل الکتریکی
Angular frequency	بسامد زاویه‌ای	Electric field	میدان الکتریکی
Bar magnet	آهنربای میله‌ای	Electric dipole	دوقطبی الکتریکی
Capacitor	خازن	Electric field lines	خط‌های میدان الکتریکی
Capacitance	ظرفیت	Electric Motor	موتور الکتریکی
Cosmic ray	پرتو کیهانی	Electric current	جریان الکتریکی
Conservation of charge	پایستگی بار	Ferromagnetism	فرومغناطیسی
Coulomb's Law	قانون کولن	Faraday's law of electromagnetic induction	
Coefficient of resistivity	ضریب دمایی مقاومت ویژه		قانون القای الکترومغناطیسی فاراده
Coil	پیچه	Horseshoe magnet	آهنربای نعلی شکل
Dielectric constant	ثابت دی الکتریک	Internal resistance	مقاومت درونی
Dielectric breakdown	فروشکست دی الکتریک	Insulator	عایق
Deviation	زاویه‌ی انحراف	Inductance	ضریب خودالقابی (القايدگی)
Electromagnetic induction	القای الکترومغناطیسی	Inductor	الفاگر
Electric force	نیروی الکتریکی	Iron Core	هسته‌ی آهنی
Electro Motive Force (E.M.F.)		Induced current	جریان القابی
	نیروی محرکه الکتریکی	Inclination	زاویه‌ی میل
Equivalent resistance	مقاومت معادل	Kirohoff's laws	قانون‌های کیرشهف
Electric resistance	مقاومت الکتریکی	Loop	حلقه
		Lenz's law	قانون لنز
		Magnetic flux	شار مغناطیسی

Magnetic permeability	تراوایی مغناطیسی	Polarized	قطبیده
Magnetic field	میدان مغناطیسی	Repulsion	رانش
Magnetic field lines	خطهای میدان مغناطیسی	Resistor	مقاومت
Magnetic Domain	حوزه‌ی مغناطیسی	Resistivity	مقاومت ویژه
Magnetic axis	محور مغناطیسی	Right hand rule	قاعده‌ی دست راست
Magnetic dipole	دوقطبی مغناطیسی	Rheostat	رئوستا
Magnetic induction	القای مغناطیسی	Relative magnetic Permeability	تراوایی نسبی مغناطیسی
Magnetic Energy	انرژی مغناطیسی		
Net charge	بار خالص	Surface charge density	چگالی سطحی بار
Node	گره	South pole	قطب جنوب
North pole	قطب شمال	Solenoid	سیم‌لوله
Potential difference	اختلاف پتانسیل	Series Circuits	مدارهای متواالی
Permanent magnet	آهنربای دائمی	Self - induction	خودالقایی
Permitivity	ضریب گذردهی	to Charge	پرکردن (خازن)
Parallel Circuits	مدارهای موازی	to discharge	حالی کردن (خازن)
Parallel plate capacitor	خازن تخت (خازن با صفحه‌های موازی)	Temporary magnet	آهنربای موقّت
Paramagnetism	پارامغناطیس	Variable resistor	مقاومت متغیر
		Voltage drop	افت پتانسیل

فهرست مراجع

- 1 – Physics Raymond A. Serway Jerry S. Faughn 1999 by Holt Rinehart and Winston.
- 2 – Physics For Scientists and Engineers Paul A. Tipler 1999 by W. H. Freedman and Company.
- 3 – College Physics Raymond A. Serway Jerry S. Faughn 1999, 2000, SAUNERS COLLEGE PUBLISHING.
- 4 – Fundamentals of Physics.
David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker 2001 John Wiley & Sons, Inc.
- 5 – PHYSICS. PRINCIPLES WITH APPLICATIONS Douglas C. Gioncoli 1991 Prentice - Hall International Editions.
- 6 – UNDERSTANDING PHYSICS Robin Millar 1994 Collins Educational.
- 7 – Physics Classical and Modern, Frederick J. Keller W. Edward Gettys, Malcolm J. Skove 1993 Mc Graw Hill.
- 8 – UNIVERSITY PHYSICS, Hugh D. Young, Roger A. Freedman, 2000 Addison Wesley Longman, Inc.
- 9 – Contemporary College Physics. Jones / Childers 1999 by Mc Graw Hill Companies.
- 10 – Physics 2 David Sanq 2001 Cambridge University Press.



علیان محمد، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آمان می توانند نظر اصلاحی خود را درباره مطابق
این کتاب از غریق نامه به شانی تهران - صندوق پستی ۲۶۴ ۱۵۸۵۵ - کرد و در مربوط و مایه ام کار (Email:
talif@talif.sch.ir) رسال نمایند.

دفتر نسخه زنی و تایپ کتاب های این سی