

با ایران توشه
یک قدم جلوتر
باش!



کنکور

آزمون های آزمایشی

گام به گام

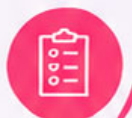
جزوه و نمونه سوال



ایران توشه

توشه ای برای موفقیت

ایران توشه، مرجع دانلود فایل های کمک آموزشی دانش آموزان و کنکوری ها



دانلود رایگان آزمون های آزمایشی
قلمچی، خیلی سبز، گاج و ...



دانلود رایگان گام به گام تمامی دروس



دانلود رایگان نمونه سوالات امتحانی
(نوبت اول و دوم) و امتحانات نهایی



دانلود رایگان جزوه های کمک آموزشی
و شب امتحانی

همه چیز
برای موفقیت
تو!

Google

دانلود گام به گام دوازدهم تجربی ایران توشه

دانلود گام به گام دوازدهم تجربی ایران توشه

کافیست هر فایلی که نیاز دارید
را در گوگل به این صورت جستجو کنید:

فایل مورد نیاز + ایران توشه

مثال:

دانلود گام به گام دوازدهم تجربی ایران توشه



irantooshe.ir



t.me/irantooshe





گام به گام فیزیک ۲ پایه یازدهم ریاضی و فیزیک

پاسخ فعالیت‌ها و پرسش‌های کتاب

پایه یازدهم · دوره دوم متوسطه · ریاضی و فیزیک

شامل پاسخ فعالیت‌ها، کارهای کلاسی، مثال‌ها، تمرین‌ها و پرسش‌ها و مسئله‌های پایان فصل

تهیه شده در ایران توشه، توشه‌ای برای موفقیت

irantooshe.ir

فهرست فصل‌ها

۳ فصل سوم — مغناطیس ۷۲

۱ فصل اول — الکتریسیته ساکن ۴

۴ فصل چهارم — القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب ... ۱۰۵

۲ فصل دوم — جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم ... ۴۰



فیزیک ۲ یازدهم - فصل اول

الکتریسیته ساکن

فهرست

۱	صفحه ۳ پرسش ۱-۱ — چسبیدن روکش پلاستیکی	۶
۲	صفحه ۵ تمرین ۱-۱ — بار هسته اتم اورانیوم	۶
۳	صفحه ۵ فعالیت ۱-۱ (کار در کلاس) — نیروی دافعه نی‌های باردار	۶
۴	صفحه ۷ فعالیت ۲-۱ — دستگاه فتوکپی	۷
۵	صفحه ۸ پرسش ۲-۱ — نیروی خالص بر بار میانی	۷
۶	صفحه ۹ تمرین ۲-۱ — نیروی خالص بر q_2 در مثال ۳-۱	۸
۷	صفحه ۹ پرسش ۳-۱ — سه بار در سه گوشه مربع	۹
۸	صفحه ۱۰ تمرین ۳-۱ — تغییر علامت بارها در مثال ۴-۱	۱۰
۹	صفحه ۱۴ تمرین ۴-۱ — میدان پروتون در اتم هیدروژن	۱۱
۱۰	صفحه ۱۶ تمرین ۵-۱ — میدان دوقطبی الکتریکی	۱۱
۱۱	صفحه ۱۷ تمرین ۶-۱ — میدان بارهای مثال ۸-۱ در نقطه A	۱۲
۱۲	صفحه ۱۷ فعالیت ۳-۱ (کار در کلاس) — سمت‌گیری دانه‌ها بین دو الکترود	۱۳
۱۳	صفحه ۱۹ پرسش ۴-۱ — قطع نشدن خطوط میدان	۱۳
۱۴	صفحه ۱۹ پرسش ۵-۱ — نیرو بر بار منفی در میدان غیریکنواخت	۱۴
۱۵	صفحه ۱۹ فعالیت ۴-۱ — گرده‌افشانی و میدان الکتریکی	۱۵
۱۶	صفحه ۲۱ تمرین ۷-۱ — بادکنک معلق در میدان الکتریکی	۱۵
۱۷	صفحه ۲۱ فعالیت ۵-۱ — رسوب‌دهنده الکتروستاتیکی	۱۶
۱۸	صفحه ۲۳ تمرین ۸-۱ — جابه‌جایی پروتون پس از عوض کردن قطب‌های باتری	۱۶
۱۹	صفحه ۲۵ تمرین ۹-۱ — تغییر پتانسیل در میدان یکنواخت	۱۷
۲۰	صفحه ۲۵ تمرین ۱۰-۱ — پتانسیل پایانه منفی باتری ۱۲ ولتی	۱۷
۲۱	صفحه ۲۶ فعالیت ۶-۱ — چگونگی کار نورون‌ها	۱۸
۲۲	صفحه ۲۷ تمرین ۱۱-۱ — کار نیروی خارجی در شکل ۲۷-۱	۱۹
۲۳	صفحه ۲۹ فعالیت ۷-۱ — قفس فاراده، امنیت در خودرو و آزمایش طراحی شده	۲۰
۲۴	صفحه ۳۰ فعالیت ۸-۱ — توزیع بار روی جسم فلزی دوکی شکل	۲۱
۲۵	صفحه ۳۱ فعالیت ۹-۱ — برق‌گیر ساختمان	۲۱
۲۶	صفحه ۳۶ پرسش ۶-۱ — ورودی الکتریک بین صفحه‌های خازن بدون اتصال به باتری	۲۲
۲۷	صفحه ۳۷ فعالیت ۱۰-۱ — خازن در کیسه هوای خودرو	۲۲
۲۸	صفحه ۳۸ تمرین ۱۲-۱ — مدل‌سازی غشای نورون با خازن تخت	۲۳
۲۹	صفحه ۳۸ فعالیت ۱۱-۱ — انواع خازن	۲۳
۳۰	صفحه ۴۱ مسئله ۱ — برق‌نما؛ بار، رسانایی و نوع بار میله	۲۴
۳۱	صفحه ۴۱ مسئله ۲ — مالش میله پلاستیکی با پارچه پشمی	۲۴

۳۳ ...	۴۷ صفحه ۴۳۰ مسئله ۱۸ — تندی پروتون در سه آرایش خطوط میدان	۲۵ ...	۳۲ صفحه ۴۱۰ مسئله ۳ — بار اتم کربن ^{12}C و یون C^+
۳۴ ...	۴۸ صفحه ۴۳۰ مسئله ۱۹ — میدان بین دو صفحه رسانای موازی	۲۵ ...	۳۳ صفحه ۴۱۰ مسئله ۴ — نیروی بین دو گوی پس از تماس
۳۴ ...	۴۹ صفحه ۴۳۰ مسئله ۲۰ — انرژی بار منفی بین دو پتانسیل	۲۵ ...	۳۴ صفحه ۴۱۰ مسئله ۵ — نیروی خالص بر q_3 در رأس مربع
۳۵ ...	۵۰ صفحه ۴۳۰ مسئله ۲۱ — گوی فلزی خنثی و آونگ باردار	۲۶ ...	۳۵ صفحه ۴۱۰ مسئله ۶ — نیروی خالص بر بارهای روی یک خط
۳۵ ...	۵۱ صفحه ۴۳۰ مسئله ۲۲ — جذب براده آلومینیم توسط صفحه پلاستیکی	۲۷ ...	۳۶ صفحه ۴۱۰ مسئله ۷ — دو گوی باردار در لوله شیشه‌ای
۳۶ ...	۵۲ صفحه ۴۳۰ مسئله ۲۳ — چگالی سطحی بار ماهواره مکعبی	۲۷ ...	۳۷ صفحه ۴۱۰ مسئله ۸ — نیرو بر ذره باردار در میدان یکنواخت
۳۶ ...	۵۳ صفحه ۴۳۰ مسئله ۲۴ — تغییر بار یا ولتاژ و ظرفیت خازن	۲۸ ...	۳۸ صفحه ۴۱۰ مسئله ۹ — نیروی دافعه و میدان هسته اتم آهن
۳۶ ...	۵۴ صفحه ۴۳۰ مسئله ۲۵ — ظرفیت خازن از تغییر بار و ولتاژ	۲۸ ...	۳۹ صفحه ۴۱۰ مسئله ۱۰ — نقطه میدان صفر و میدان در مبدأ
۳۷ ...	۵۵ صفحه ۴۴۰ مسئله ۲۶ — خم شدن آب نزدیک بادکنک باردار	۲۹ ...	۴۰ صفحه ۴۲۰ مسئله ۱۱ — ذره معلق در میدان الکتریکی
۳۷ ...	۵۶ صفحه ۴۴۰ مسئله ۲۷ — ربایش خرده‌های کاغذ توسط میله باردار	۲۹ ...	۴۱ صفحه ۴۲۰ مسئله ۱۲ — میدان در مرکز دو آرایه مربعی بار
۳۷ ...	۵۷ صفحه ۴۴۰ مسئله ۲۸ — مساحت صفحه‌های خازن ۱ فارادی	۳۰ ...	۴۲ صفحه ۴۲۰ مسئله ۱۳ — نوع و اندازه بار دو کره از روی خطوط میدان
۳۸ ...	۵۸ صفحه ۴۴۰ مسئله ۲۹ — دو برابر شدن فاصله صفحه‌ها با باتری متصل	۳۱ ...	۴۳ صفحه ۴۲۰ مسئله ۱۴ — تشخیص آرایش نادرست خطوط میدان
۳۸ ...	۵۹ صفحه ۴۴۰ مسئله ۳۰ — ظرفیت خازن با دی‌الکتریک	۳۱ ...	۴۴ صفحه ۴۲۰ مسئله ۱۵ — میدان دو بار هم‌اندازه ناهم‌نام روی محور
۳۹ ...	۶۰ صفحه ۴۴۰ مسئله ۳۱ — جرقه پس از دو برابر کردن فاصله صفحه‌ها	۳۲ ...	۴۵ صفحه ۴۲۰ مسئله ۱۶ — جابه‌جایی بار در میدان $A \rightarrow B \rightarrow C$ یکنواخت
۳۹ ...	۶۱ صفحه ۴۴۰ مسئله ۳۲ — انتقال بار و افزایش انرژی خازن	۳۳ ...	۴۶ صفحه ۴۲۰ مسئله ۱۷ — نزدیک کردن ذره مثبت به کره باردار

چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می کشید و آن را در لبه های ظرف فشار می دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می ماند؟

هنگام کشیدن و مالش روکش پلاستیکی روی ظرف (و دست)، روکش بار الکتریکی پیدا می کند (الکتریسیته ساکن). روکش باردار، مولکول های ظرف را قطبیده می کند و بار ناهمنام القاشده در سطح ظرف، روکش را می رباید. بنابراین نیروی جاذبه الکتریکی بین روکش و ظرف باعث می شود روکش در جای خود بچسبد و ثابت بماند.

عدد اتمی اورانیوم $Z = 92$ است. بار الکتریکی هسته اتم اورانیوم چقدر است؟ مجموع بار الکتریکی الکترون های اتم اورانیوم (خنثی) چه مقدار است؟ بار الکتریکی اتم اورانیوم (خنثی) چقدر است؟

عدد اتمی برابر تعداد پروتون های هسته است؛ پس بار هسته برابر با $q = Ze$ است:

$$q = 92 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C} = +1.472 \times 10^{-17} \text{ C} \approx +1.47 \times 10^{-17} \text{ C}$$

اتم خنثی ۹۲ الکترون دارد؛ پس مجموع بار الکترون ها هم اندازه و ناهمنام است: $q = -92e \approx -1.47 \times 10^{-17} \text{ C}$
بار کل اتم خنثی برابر است با $+1.47 \times 10^{-17} \text{ C} + (-1.47 \times 10^{-17} \text{ C}) = 0$

توشه ای برای موفقیت

مطابق شکل، دو نی پلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آنها خم کنید و پس از مالش دادن با پارچه ای پشمی نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر نی ها به خوبی باردار شده باشند، نیروی دافعه آنها را می توانید به وضوح بر روی انگشتان خود حس کنید.

نتیجه آزمایش: پس از مالش با پارچه پشمی، هر دو نی دارای بار الکتریکی همنام (هر دو منفی، زیرا الکترون از پارچه به نی منتقل می شود) می شوند. بارهای همنام یکدیگر را دفع می کنند؛ به همین دلیل وقتی نی ها را

نزدیک هم می‌آوریم، سرهای آنها از هم دور می‌شوند و نیروی دافعه را روی انگشتان خود حس می‌کنیم. هرچه دو نی نزدیک‌تر باشند، این نیرو بیشتر است (قانون کولن).

فعالیت ۲-۱

صفحه ۷

۴

شکل روبه‌رو تصویری از مراحل ایجاد یک رونوشت در دستگاه فتوکپی را نشان می‌دهد. در مورد چگونگی کار دستگاه‌های فتوکپی تحقیق کنید.

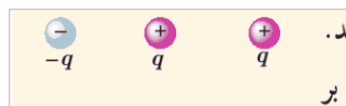
۱. **باردار کردن استوانه:** سطح استوانه دوار فتوکپی (از جنس ماده‌ای نیمه‌رسانا و حساس به نور، مثل سلنیوم) با سیم‌های تخلیه الکتریکی یکنواخت باردار (مثلاً مثبت) می‌شود.
۲. **تابش تصویر:** تصویر سند با نور روی استوانه می‌افتد. جاهایی که نور می‌رسد (قسمت‌های سفید کاغذ)، رسانا می‌شوند و بارشان تخلیه می‌شود؛ ولی جاهای تیره (نوشته و تصویر) تاریک می‌مانند و بار مثبتشان باقی می‌ماند. به این ترتیب «تصویر نهان باردار» روی استوانه پدید می‌آید.
۳. **پودر جوهر (تونر):** ذرات پودر جوهر، که بار منفی دارند، فقط به قسمت‌های باردار مثبت استوانه می‌چسبند (نیروی جاذبه الکتریکی).
۴. **انتقال به کاغذ:** کاغذ با بار مثبتی که بزرگ‌تر از بار استوانه است از کنار استوانه می‌گذرد و پودر جوهر از استوانه به کاغذ منتقل می‌شود.
۵. **ثابت کردن:** کاغذ از میان غلتک‌های گرم می‌گذرد تا پودر ذوب شود و روی کاغذ بچسبد؛ سپس رونوشت خارج می‌شود و استوانه برای رونوشت بعدی پاک و دوباره باردار می‌شود.

پرسش ۲-۱

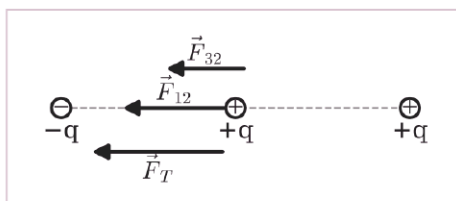
صفحه ۸

۵

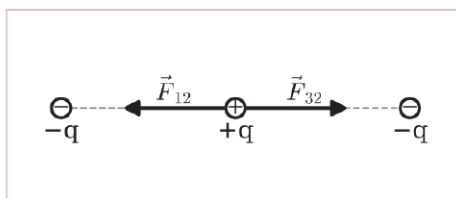
سه ذره باردار مانند شکل روبه‌رو، روی یک خط راست قرار دارند و فاصله بارهای سمت راست و چپ از بار میانی برابر است. الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی میانی را تعیین کنید. ب) اگر ذره سمت راست به جای q ، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار میانی چگونه خواهد بود؟



الف) بار چپ ($-q$) بار میانی ($+q$) را جذب می‌کند؛ پس F_{12} به سمت چپ است. بار راست ($+q$) همان‌ام با بار میانی است و آن را دفع می‌کند؛ F_{32} هم به سمت چپ است. هر دو نیرو هم‌جهت‌اند و هم‌اندازه ($F = kq^2/r^2$)؛ بنابراین نیروی خالص به سمت چپ (به طرف بار $-q$) و بزرگی آن $F_t = 2kq^2/r^2$ است.



ب) اکنون بار راست $-q$ است و بار میانی را جذب می‌کند؛ F_{32} به سمت راست است. F_{12} همچنان به سمت چپ است. اندازه دو نیرو برابر (kq^2/r^2) ولی جهت آنها مخالف است؛ پس نیروی خالص صفر است: $F_t = 0$

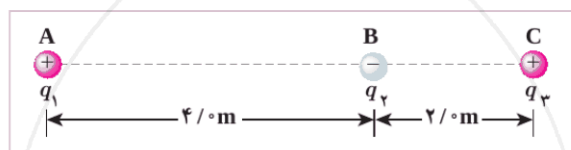


تمرین ۲-۱

صفحه ۹

۶

در مثال ۱-۳، نیروی خالص وارد بر بار q_2 را به دست آورید.



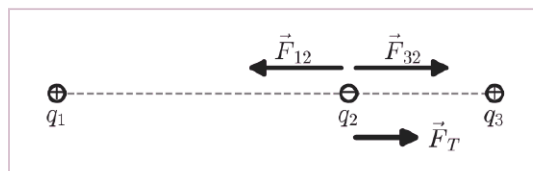
داده‌ها: $q_1 = +2.5 \mu\text{C}$, $q_2 = -1.0 \mu\text{C}$, $q_3 = +4.0 \mu\text{C}$; $r_{12} = 4.0 \text{ m}$ و $r_{23} = 2.0 \text{ m}$. بار q_2 منفی است؛ پس هر دو بار دیگر آن را می‌ربایند: F_{12} به سمت q_1 (چپ) و F_{32} به سمت q_3 (راست).

$$F_{12} = k|q_1||q_2|/r_{12}^2 = (9.0 \times 10^9)(2.5 \times 10^{-6})(1.0 \times 10^{-6})/(4.0)^2 = 1.4 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{32} = k|q_3||q_2|/r_{23}^2 = (9.0 \times 10^9)(4.0 \times 10^{-6})(1.0 \times 10^{-6})/(2.0)^2 = 9.0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

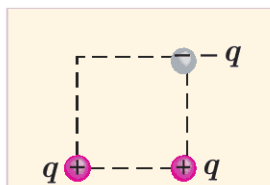
نیروها در خلاف جهت یکدیگرند؛ پس: $F_t = F_{32} - F_{12} = 9.0 \times 10^{-3} - 1.4 \times 10^{-3} = 7.6 \times 10^{-3} \text{ N}$ و جهت آن به سمت راست (جهت نیروی بزرگ‌تر F_{32}) است، یعنی:

$$\vec{F}_t = (+7.6 \times 10^{-3} \text{ N}) \hat{i}$$



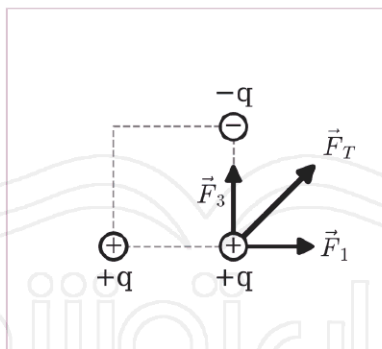
سه ذره باردار مطابق شکل روبه‌رو، در سه گوشه یک مربع قرار دارند. الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی را تعیین کنید.

ب) اگر ذره سمت چپ پایینی به جای q ، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی چگونه خواهد بود؟

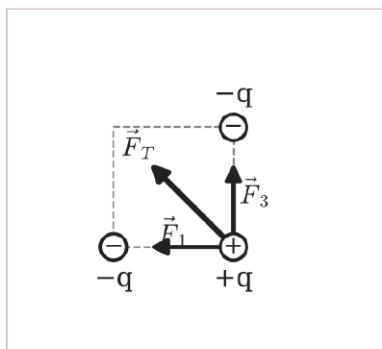


ضلع مربع را a بگیرید. بار سمت راست پایین $(+q)$ را با q_2 ، بار سمت چپ پایین را با q_1 و بار بالایی $(-q)$ را با q_3 نشان می‌دهیم. دو نیرو هم‌اندازه‌اند: $F = kq^2/a^2$.

الف) بار سمت چپ پایین $(+q)$ هم‌نام است و بار راست پایین را به سمت راست می‌راند (F_{12} افقی و به راست). بار بالایی $(-q)$ ناهم‌نام است و آن را به سمت بالا می‌رباید (F_{32} قائم و رو به بالا). براین دو نیروی عمود بر هم و هم‌اندازه، در راستای قطر و به سمت بالا و راست (زاویه 45° با افق) است و بزرگی آن $\sqrt{2} \cdot kq^2/a^2$ می‌شود.



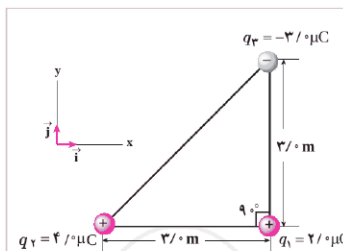
ب) اکنون بار چپ پایین $-q$ است و بار راست پایین را به سمت چپ می‌رباید؛ نیروی بار بالایی بدون تغییر و رو به بالاست. براین دو در راستای قطر و به سمت بالا و چپ (زاویه 45° با افق) و با همان بزرگی $\sqrt{2} \cdot kq^2/a^2$ است.



در مثال ۴-۱ الف) اگر علامت بار q_3 تغییر کند جهت نیروی برآیند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟

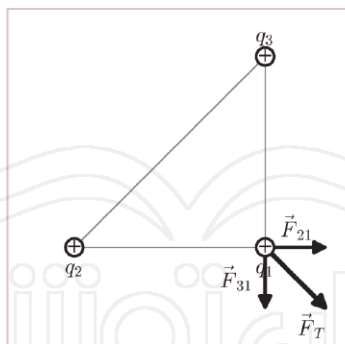
ب) اگر علامت بار q_2 تغییر کند، جهت نیروی برآیند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟

پ) آیا اندازه نیروی برآیند وارد بر بار q_1 در قسمت‌های الف و ب با مقدار به دست آمده در مثال ۴-۱ متفاوت است؟

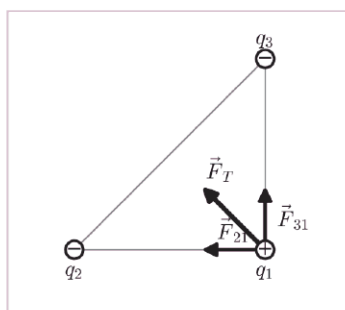


در مثال ۴-۱: $F_{21} = 8.0 \times 10^{-3} \text{ N}$ (دافعه، در جهت $+x$) و $F_{31} = 6.0 \times 10^{-3} \text{ N}$ (جاذبه، در جهت $+y$) و $F_t = 1.0 \times 10^{-2} \text{ N}$ است.

الف) اگر q_3 مثبت شود، بار q_1 را دفع می‌کند و F_{31} رو به پایین ($-y$) می‌شود، ولی F_{21} تغییری نمی‌کند: $\vec{F}_t = (8.0 \times 10^{-3} \text{ N})\hat{i} - (6.0 \times 10^{-3} \text{ N})\hat{j}$ ؛ برآیند به سمت پایین و راست است.



ب) اگر q_2 منفی شود، بار q_1 را جذب می‌کند و F_{21} به سمت چپ ($-x$) می‌شود ولی F_{31} ثابت می‌ماند: $\vec{F}_t = -(8.0 \times 10^{-3} \text{ N})\hat{i} + (6.0 \times 10^{-3} \text{ N})\hat{j}$ ؛ برآیند به سمت بالا و چپ است.



پ) خیر. تغییر علامت بار فقط جهت نیرو را عوض می‌کند و اندازه هر نیرو ($F = k|q_1||q_2|/r^2$) ثابت می‌ماند. دو مؤلفه هنوز عمود بر هم و با همان اندازه‌هایند؛ پس $F_t = \sqrt{(8.0 \times 10^{-3})^2 + (6.0 \times 10^{-3})^2} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ N}$ مانند مثال است.

تمرین ۴-۱

صفحه ۱۴

۹

طبق مدل بور برای اتم هیدروژن، در حالت پایه فاصله الکترون از پروتون هسته برابر با $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ است. الف) اندازه میدان الکتریکی ناشی از پروتون هسته را در این فاصله تعیین کنید. ب) در چه فاصله‌ای از پروتون هسته، بزرگی میدان الکتریکی برابر با بزرگی میدان الکتریکی حاصل از مولد وان‌دوگراف مثال پیش در فاصله 1.0 m از مرکز کلاhek آن است؟

$$E = k|q|/r^2 = (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})/(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2 \approx 5.1 \times 10^{11} \text{ N/C} \text{ (الف)}$$

ب) بزرگی میدان مولد در فاصله 1.0 m طبق مثال ۶-۱ برابر $E = 9.0 \times 10^3 \text{ N/C}$ است. فاصله مورد نظر از پروتون:

$$r = \sqrt{(k e / E)} = \sqrt{((9.0 \times 10^9)(1.60 \times 10^{-19})/(9.0 \times 10^3))} = \sqrt{(1.6 \times 10^{-7})} = 4.0 \times 10^{-4} \text{ m}$$

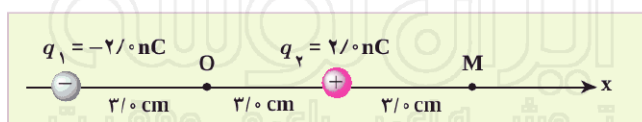
یعنی در فاصله حدود 0.40 mm از پروتون.

تمرین ۵-۱

صفحه ۱۶

۱۰

شکل زیر، آرایشی از دو بار هم‌اندازه و غیرهمنام (دوقطبی الکتریکی) را نشان می‌دهد که فاصله دو بار از هم 6.0 cm است. میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های O و M به دست آورید.



داده‌ها: $q_1 = -2.0 \text{ nC}$, $q_2 = +2.0 \text{ nC}$ ؛ O وسط دو بار است و M به فاصله 3.0 cm از q_2 در سمت راست قرار دارد. محور x را به سمت راست می‌گیریم.

نقطه O: $r_1 = r_2 = 3.0 \times 10^{-2} \text{ m}$. میدان q_1 (منفی) به سمت q_1 یعنی چپ، و میدان q_2 (مثبت) دور از q_2 یعنی باز هم به چپ است:

$$E_1 = E_2 = k|q|/r^2 = (9.0 \times 10^9)(2.0 \times 10^{-9})/(3.0 \times 10^{-2})^2 = 2.0 \times 10^4 \text{ N/C}$$

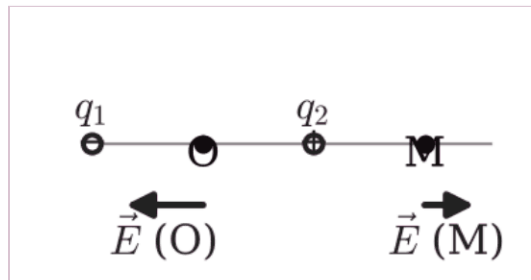
$$E_o = -(E_1 + E_2)\hat{i} = -(4.0 \times 10^4 \text{ N/C})\hat{i}$$

نقطه M: $r_1 = 9.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ و $r_2 = 3.0 \times 10^{-2} \text{ m}$. میدان q_2 به سمت راست و میدان q_1 به سمت چپ (به طرف q_1) است:

$$E_1 = (9.0 \times 10^9)(2.0 \times 10^{-9}) / (9.0 \times 10^{-2})^2 \approx 2.2 \times 10^3 \text{ N/C}$$

$$E_2 = (9.0 \times 10^9)(2.0 \times 10^{-9}) / (3.0 \times 10^{-2})^2 = 2.0 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_m = (2.0 \times 10^4 - 2.2 \times 10^3) \hat{i} \approx (1.8 \times 10^4 \text{ N/C}) \hat{i}$$

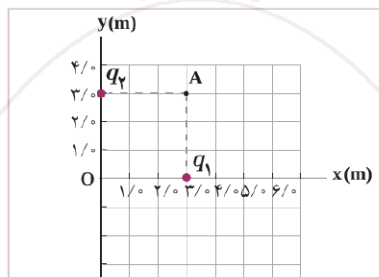


تمرین ۶-۱

صفحه ۱۷

۱۱

میدان الکتریکی خالص حاصل از آرایش بار مثال ۸-۱ را در نقطه A تعیین کنید.



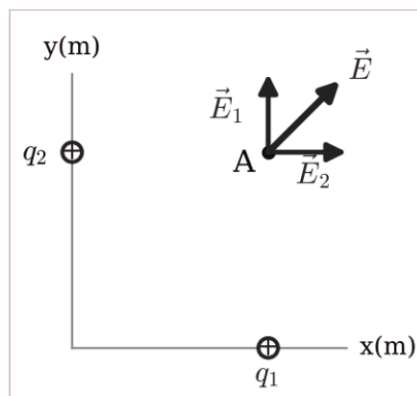
در مثال ۸-۱: $q_1, q_2 = +5.0 \mu\text{C}$ در نقطه $(3.0 \text{ m}, 0)$ ، q_2 در $(0, 3.0 \text{ m})$ و A در $(3.0 \text{ m}, 3.0 \text{ m})$ است؛ پس A به فاصله 3.0 m از هر یک از بارهاست.

$$E_1 = E_2 = k|q|/r^2 = (9.0 \times 10^9)(5.0 \times 10^{-6}) / (3.0)^2 = 5.0 \times 10^3 \text{ N/C}$$

میدان q_1 (که زیر A است) دور از آن، یعنی در جهت +y و میدان q_2 (که سمت چپ A است) در جهت +x است:

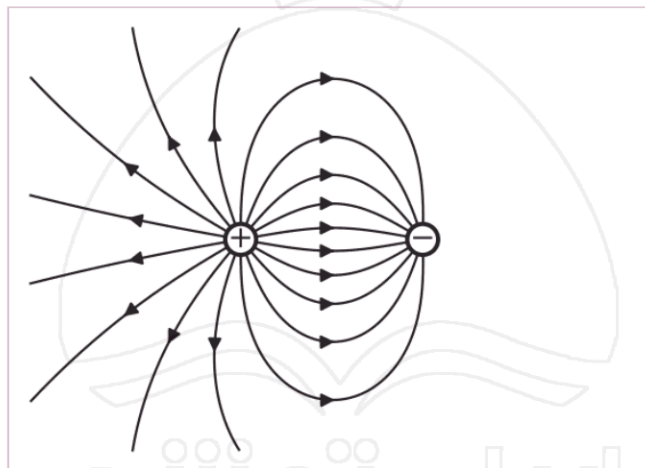
$$\vec{E}_a = (5.0 \times 10^3 \text{ N/C}) \hat{i} + (5.0 \times 10^3 \text{ N/C}) \hat{j}$$

$E_a = \sqrt{((5.0 \times 10^3)^2 + (5.0 \times 10^3)^2)} = 7.1 \times 10^3 \text{ N/C}$ و جهت آن با محور x زاویه 45° می‌سازد.



درون یک ظرف شیشه‌ای یا پلاستیکی با عمق کم، مقداری پارافین مایع یا روغن کرچک به عمق حدود 0.5 cm بریزید و داخل آن دو الکتروند نقطه‌ای قرار دهید. الکترونها را با سیم به پایانه‌های مثبت و منفی یک مولد ولتاژ بالا، مانند مولد وان دوگراف وصل کنید. روی سطح پارافین، مقدار کمی بذر چمن یا خاکستر بپاشید. مولد را روشن کنید. اکنون به سمت‌گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکتروند توجه کنید. شکل سمت‌گیری دانه‌ها در این فضا را رسم کنید.

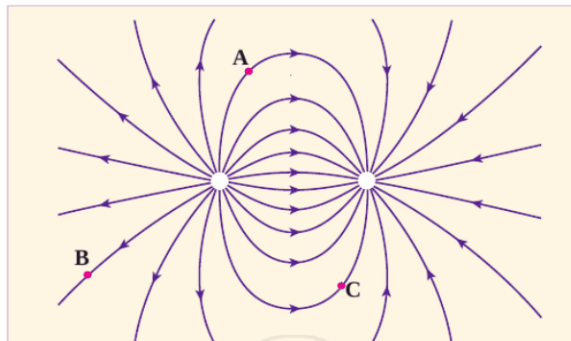
دانه‌ها در میدان الکتریکی قطبیده می‌شوند و هر دانه مانند یک دوقطبی کوچک در راستای میدان قرار می‌گیرد. در نتیجه دانه‌ها در راستای خطوط میدان زنجیره می‌شوند: از الکتروند مثبت به صورت خطوط خمیده بیرون می‌آیند و به الکتروند منفی می‌رسند. نزدیک هر الکتروند دانه‌ها شعاعی‌اند و بین دو الکتروند خطوط خم‌شده‌ای از یک الکتروند به دیگری دیده می‌شود (شکل زیر)؛ دانه‌ها در نزدیکی الکترونها که میدان قوی‌تر است، متراکم‌ترند.



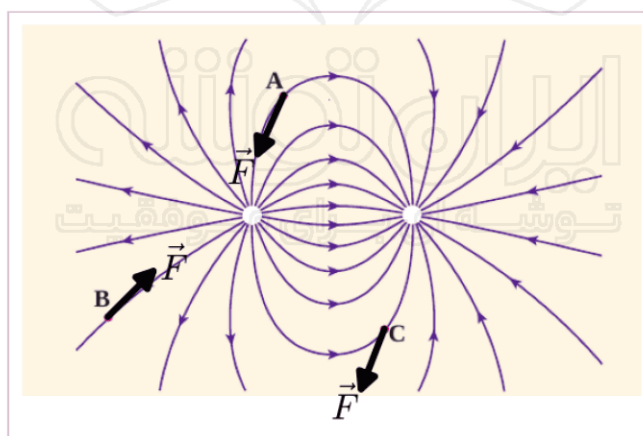
به نظر شما چرا خطوط میدان الکتریکی بر ایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند؟

بردار میدان الکتریکی در هر نقطه بر خط میدان مماس است. اگر دو خط میدان یکدیگر را در نقطه‌ای قطع می‌کردند، در آن نقطه دو مماس و در نتیجه دو جهت متفاوت برای میدان وجود داشت؛ در حالی که میدان الکتریکی خالص در هر نقطه فقط یک اندازه و یک جهت مشخص دارد (و نیروی وارد بر بار آزمون نیز یکتاست). پس خطوط میدان نمی‌توانند یکدیگر را قطع کنند.

بار $-q$ را در نقطه‌های A، B و C از میدان الکتریکی غیریکنواخت شکل روبه‌رو قرار دهید و جهت نیروی الکتریکی وارد بر این بار منفی را تعیین کنید.



- طبق $F = qE$ ، چون بار منفی است، نیرو در خلاف جهت میدان و در راستای مماس بر خط میدان در همان نقطه است. در این شکل خطوط از بار سمت چپ (مثبت) خارج و به بار سمت راست (منفی) وارد می‌شوند.
- نقطه A: میدان، مماس بر خط میدان و رو به بالا و راست است؛ پس نیرو به سمت پایین و چپ (مماس بر خط، تقریباً به سمت بار مثبت) است.
 - نقطه B: میدان دور از بار مثبت، به سمت پایین و چپ است؛ پس نیرو به سمت بالا و راست، یعنی به سمت بار مثبت است.
 - نقطه C: میدان مماس بر خط، رو به بالا و راست (به سمت بار منفی سمت راست) است؛ پس نیرو به سمت پایین و چپ است.



تولید مثل برخی از گل‌ها به زنبورهای عسل وابسته است. گرده‌ها به واسطه میدان الکتریکی، از یک گل به زنبور و از زنبور به گل دیگر منتقل می‌شوند. در این باره تحقیق کنید.

زنبور هنگام پرواز در هوا به دلیل اصطکاک با مولکول‌ها و ذرات هوا و بال‌زدن، بار الکتریکی مثبت (به‌طور متوسط چند ده پیکوکولن) پیدا می‌کند. گل متصل به زمین و درخت، بار منفی دارد و در اطراف آن میدان الکتریکی وجود دارد. وقتی زنبور باردار به گل نزدیک می‌شود:

- دانه‌های گرده در میدان الکتریکی قطبیده می‌شوند و نیروی جاذبه‌ای از طرف بدن باردار زنبور می‌بینند؛ در نتیجه حتی پیش از تماس، گرده از پرچم گل به سمت بدن زنبور جهش می‌کند و به آن می‌چسبد.
- هنگام رسیدن زنبور به گل دیگر، همین میدان الکتریکی (بین زنبور حامل گرده و کلاله‌ی گل) گرده‌ها را از بدن زنبور به سمت کلاله می‌کشد و گرده‌افشانی انجام می‌شود.
- بار زنبور پس از دیدار از گل تغییر می‌کند (نشانه‌ای برای زنبورهای دیگر که این گل اخیراً بازدید شده است).

این جواب ممکن است دقیق نباشد.

روی سطح بادکنکی به جرم 10.0 g بار الکتریکی 200 nC ایجاد می‌کنیم و آن را در یک میدان الکتریکی قرار می‌دهیم. بزرگی و جهت این میدان را در صورتی که بادکنک معلق بماند، تعیین کنید. اندازه نیروی شناوری روبه بالای وارد بر بادکنک را 0.050 N فرض کنید.

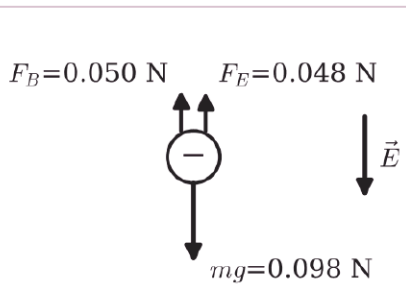
نیروهای وارد بر بادکنک: وزن mg رو به پایین، نیروی شناوری F^B رو به بالا و نیروی الکتریکی F_e . برای تعادل باید برابری نیروها صفر باشد. وزن بادکنک (با $g = 9.8 \text{ N/kg}$):

$$mg = (10.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg}) = 0.098 \text{ N}$$

چون $F^B > mg$ ، نیروی الکتریکی باید رو به بالا باشد: $F_e = mg - F^B = 0.098 - 0.050 = 0.048 \text{ N}$

$$E = F_e / |q| = 0.048 \text{ N} / (200 \times 10^{-9} \text{ C}) = 2.4 \times 10^5 \text{ N/C} : F_e = |q|E \text{ از}$$

چون بار بادکنک منفی است و نیروی الکتریکی رو به بالاست، جهت میدان خلاف جهت نیرو، یعنی **رو به پایین** است.



فعالیت ۵-۱

صفحه ۲۱

۱۷

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

- در رسوب‌دهنده الکتروستاتیکی، گاز آلوده از میان لوله‌ها یا صفحه‌های فلزی زمین‌شده عبور می‌کند. در مرکز لوله (یا بین صفحه‌ها) سیم‌هایی با ولتاژ منفی بسیار زیاد (چند ده هزار ولت) قرار دارند. اساس کار:
۱. میدان الکتریکی بسیار قوی اطراف سیم‌ها مولکول‌های هوا را یونیده می‌کند (تخلیه هاله‌ای) و یون‌های منفی تولید می‌شود.
 ۲. ذرات دود و غبار هنگام عبور، با برخورد به این یون‌ها بار منفی می‌گیرند.
 ۳. ذرات باردار تحت نیروی $F = qE$ به سمت صفحه‌های فلزی زمین‌شده (با بار مثبت/خنثی) کشیده می‌شوند و روی آنها می‌نشینند.
 ۴. با ضربه زدن به صفحه‌ها (یا شست‌وشو)، غبار جمع‌شده در مخزن پایین می‌ریزد و گاز تمیز از دودکش خارج می‌شود.
- بنابراین بخش بسیار زیادی (بیش از ۹۹٪) از ذرات معلق گرفته می‌شود و دود خروجی دودکش به مراتب کم‌رنگ‌تر است.

تمرین ۸-۱

صفحه ۲۳

۱۸

در مثال ۱۰-۱ اگر جای قطب‌های باتری عوض شود و پروتون را در نقطه A از حالت سکون رها کنیم، پروتون با چه تندی‌ای به نقطه B می‌رسد؟

در مثال ۱۰-۱: $E = 2.0 \times 10^3 \text{ N/C}$ ، $d = 10 \times 10^{-2} \text{ m}$ ، $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ است. با عوض شدن قطب‌های باتری، جهت میدان برعکس می‌شود و اکنون میدان از A به سمت B است؛ بنابراین نیروی الکتریکی هم‌جهت با جابه‌جایی پروتون است و کار آن مثبت می‌شود (پروتون شتاب می‌گیرد).

$$W_E = |q| \cdot E \cdot d \cdot \cos 0^\circ = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2.0 \times 10^3 \text{ N/C})(10 \times 10^{-2} \text{ m}) = 3.2 \times 10^{-17} \text{ J}$$

طبق قضیه کار - انرژی جنبشی با $v_0 = 0$:

$$W_E = \Delta K = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow 3.2 \times 10^{-17} \text{ J} = \frac{1}{2} (1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}) v^2$$

$$v = \sqrt{(2 \times 3.2 \times 10^{-17} / 1.67 \times 10^{-27})} \approx 1.96 \times 10^5 \text{ m/s} \approx 2.0 \times 10^5 \text{ m/s}$$

یعنی تندی پروتون در نقطه B حدود $10^5 \times 2$ متر بر ثانیه است (همان اندازه‌ای که در مثال ۱-۱ پروتون باید در A می‌داشت تا در B متوقف شود).

تمرین ۹-۱

صفحه ۲۵

۱۹

الف) نشان دهید در یک میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در سوی خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و بالعکس با حرکت در خلاف جهت خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.
ب) نشان دهید در میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی تغییر نمی‌کند.

الف) بار q را به اندازه d در راستای خطوط میدان یکنواخت E جابه‌جا می‌کنیم. نیروی الکتریکی $F = qE$ است و از رابطه‌های ۸-۱ و ۹-۱ داریم: $\Delta U_E = -W_E = -qE d \cos \theta$ و $\Delta V = \Delta U_E / q$. بنابراین $\Delta V = -E d \cos \theta$ ، که θ زاویه بین بردار جابه‌جایی و E است (برای محاسبه ΔV فقط به E و جابه‌جایی نیاز است و q حذف می‌شود).

○ حرکت در جهت خطوط میدان ($\cos \theta = +1, \theta = 0^\circ$): $\Delta V = -E d < 0$ ، یعنی پتانسیل کاهش می‌یابد. اگر بار منفی باشد، F در خلاف جهت E است و $\Delta U_E = +|q|E d, W_E = -|q|E d$ و $\Delta V = \Delta U_E / q = |q|E d / (-) = -E d$ (پس نتیجه به نوع بار بستگی ندارد).

○ حرکت در خلاف جهت خطوط میدان ($\cos \theta = -1, \theta = 180^\circ$): $\Delta V = +E d > 0$ ، یعنی پتانسیل افزایش می‌یابد (برای هر نوع بار).

ب) وقتی جابه‌جایی بر خطوط میدان عمود است، $\theta = 90^\circ$ و $\cos 90^\circ = 0$ است؛ پس کار نیروی الکتریکی صفر است ($W_E = 0$) و $\Delta U_E = 0$. در نتیجه $\Delta V = \Delta U_E / q = 0$ و پتانسیل الکتریکی تغییر نمی‌کند (صفحه‌های عمود بر خطوط میدان هم پتانسیل‌اند).

تمرین ۱۰-۱

صفحه ۲۵

۲۰

اگر پایانه مثبت یک باتری ۱۲ ولتی را مرجع پتانسیل در نظر بگیریم، پتانسیل پایانه منفی آن چند ولت خواهد شد؟

اختلاف پتانسیل باتری $\Delta V = V_+ - V_- = 12 \text{ V}$ است. با مرجع گرفتن پایانه مثبت، $V_+ = 0$:

$$V_- = V_+ - 12 \text{ V} = 0 - 12 \text{ V} = -12 \text{ V}$$

مغز اساساً بر مبنای کنش ها و فعالیت های الکتریکی است. سیگنال های عصبی چیزی جز عبور جریان های الکتریکی نیست. مغز این سیگنال ها را دریافت می کند و اطلاعات به صورت سیگنال های الکتریکی در امتداد اعصاب گوناگون منتقل می شوند. هنگام انجام هر عمل خاصی، سیگنال های الکتریکی زیادی تولید می شوند. این سیگنال ها حاصل کنش الکتروشیمیایی در یاخته های عصبی موسوم به نورون هستند. درباره چگونگی کار نورون ها تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

گزارش کوتاه: نورون (یاخته عصبی) از جسم یاخته ای (هسته)، چند دندریت (رشته ورودی) و یک آکسون (رشته خروجی، گاهی با غلاف میلین) ساخته شده است.

○ **پتانسیل آرامش:** در حالت استراحت، غشای نورون با پمپ سدیم-پتاسیم یون های Na^+ را به بیرون و یون های K^+ را به درون می برد. درون یاخته نسبت به بیرون حدود ۷۰ میلی ولت منفی تر است ($-70 \approx mV$). غشا مانند یک خازن عمل می کند: دی الکتریک آن غشای چربی است و یون های دو طرف آن صفحه های خازن اند.

○ **پتانسیل عمل:** وقتی دندریت ها محرک دریافت کنند و پتانسیل غشا از آستانه (حدود ۵۵- میلی ولت) بالاتر برود، کانال های سدیمی دریچه دار باز می شوند، Na^+ به درون هجوم می آورد و پتانسیل درون یاخته برای لحظه ای مثبت می شود (حدود ۴۰+ میلی ولت). سپس کانال های پتاسیمی باز می شوند، K^+ خارج می شود و پتانسیل به حالت آرامش برمی گردد.

○ **انتقال سیگنال:** پتانسیل عمل مانند موجی در طول آکسون پیش می رود. در آکسون های دارای غلاف میلین (عایق)، پتانسیل عمل از گره ای به گره دیگر می جهد و سرعت انتقال بسیار زیاد (تا حدود ۱۰۰ متر بر ثانیه) می شود.

○ **سیناپس:** در انتهای آکسون، سیگنال الکتریکی با آزاد شدن مولکول های شیمیایی (انتقال دهنده عصبی) از فاصله باریک سیناپس عبور می کند و نورون بعدی را تحریک می کند. بنابراین انتقال پیام در دستگاه عصبی ترکیبی از کنش الکتریکی و شیمیایی (الکتروشیمیایی) است.

در شکل ۲۷-۱ الف) با فرض آنکه بار $+q$ در ابتدا و انتهای جابه‌جایی ساکن باشد، آیا کار نیروی خارجی، مثبت است یا منفی؟ ب) آیا بار $+q$ به نقطه‌ای با پتانسیل بیشتر حرکت کرده است یا به نقطه‌ای با پتانسیل کمتر؟ توضیح دهید.



الف) خطوط میدان به سمت بالا (از صفحه مثبت پایین به صفحه منفی بالا) هستند و نیروی خارجی بار مثبت را به سمت پایین، در خلاف جهت میدان، جابه‌جا می‌کند. چون تندی بار در ابتدا و انتها یکسان است ($\Delta K = 0$) طبق رابطه ۱۳-۱: $W_{\text{خارجی}} = -W_E = q\Delta V$. نیروی الکتریکی روی بار مثبت رو به بالاست و کار آن در جابه‌جایی رو به پایین منفی است ($W_E < 0$)؛ پس $W_{\text{خارجی}} = -W_E > 0$ ، یعنی کار نیروی خارجی مثبت است.

ب) از $W_{\text{خارجی}} = q\Delta V > 0$ و $q > 0$ نتیجه می‌شود $\Delta V > 0$ ؛ یعنی ابتدایی $V_{\text{ابتدایی}} > V_{\text{پایانی}}$. بار مثبت در خلاف جهت میدان (به سمت صفحه مثبت) رفته است، پس به نقطه‌ای با پتانسیل بیشتر حرکت کرده است (پتانسیل در جهت خطوط میدان کاهش می‌یابد).

توشه‌ای برای موفقیت

الف) در شکل شخصی را داخل یک قفس توری فلزی می‌بینید که نوعی از قفس فاراده است. در مورد قفس فاراده و کاربردهایش تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

ب) چرا معمولاً شخصی که داخل اتومبیل یا هواپیماست از خطر آذرخش در امان می‌ماند.

پ) با اعضای گروه خود آزمایش‌های دیگری را طراحی و اجرا کنید که نشان دهد بار اضافی داده شده به رسانا، روی سطح داخلی رسانا توزیع نمی‌شود.

الف) قفس فاراده پوسته‌ای رساناست (قفس توری یا ورقه فلزی). وقتی در میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرد، بارهای آزاد آن جابه‌جا می‌شوند و روی سطح خارجی به‌گونه‌ای توزیع می‌شوند که میدان الکتریکی خالص درون آن صفر شود؛ در نتیجه هر چیز داخل قفس از میدان و تخلیه الکتریکی بیرون محافظت می‌شود (حتی اگر جرقه‌های بزرگی به قفس بخورد، جریان از سطح بیرونی عبور می‌کند). کاربردها:

○ حفاظت افراد و دستگاه‌ها در برابر آذرخش (قفس ایمنی در آزمایشگاه‌های ولتاژ بالا، نمایش‌های قفس تسلا).

○ پوشش فلزی کابل هم‌محور و کابل‌های شبکه برای جلوگیری از اختلال میدان‌های بیرونی.

○ توری در ریزموج (مایکروفر) که امواج را در درون نگه می‌دارد و اتاق‌های حفاظت‌شده دستگاه‌های حساس (مثل MRI)، کیف‌های محافظ سیگنال و آسانسور فلزی.

ب) بدنه فلزی خودرو یا هواپیما مانند یک قفس فاراده است. در برخورد آذرخش، بارها روی سطح خارجی بدنه فلزی توزیع می‌شوند و جریان از سطح بیرونی به زمین (یا هوا) می‌رود. میدان الکتریکی درون بدنه رسانا صفر است و نیرویی بر مسافران وارد نمی‌شود؛ بنابراین آنها در امان می‌مانند (به شرطی که به بدنه فلزی از درون دست نزنند).

پ) آزمایش پیشنهادی (هم‌ارز آزمایش فاراده): یک ظرف فلزی (قوطی یا سطل) روی پایه عایق قرار می‌دهیم و آن را با میله باردار بار می‌دهیم. یک کره فلزی کوچک متصل به دسته عایق (آزمون‌گر) را ابتدا به سطح داخلی ظرف و سپس به کلاهک برق‌نمای بدون بار نزدیک می‌کنیم؛ ورقه‌ها از هم باز نمی‌شوند، یعنی روی سطح داخلی بار نیست. سپس همان آزمون‌گر را به سطح بیرونی ظرف می‌زنیم و به برق‌نما می‌رسانیم؛ ورقه‌ها از هم باز می‌شوند، یعنی بار روی سطح خارجی توزیع شده است. (راه دیگر: ظرف فلزی را روی برق‌نما بگذارید و درون آن یک گوی باردار با نخ عایق آویزان کنید؛ پس از تماس گوی با دیواره داخلی و بیرون آوردن آن، گوی بدون بار است).

دو قطعه ورقه آلومینیومی نازک به ابعاد $3\text{cm} \times 4\text{cm}$ را مچاله کنید و به سرهای دو تکه نخ هم‌اندازه به طول 30cm وصل کنید. پس از آنکه جسم فلزی دوکی شکل را با مولد وان دوگراف بار کردید، یکی از آونگ‌ها را مقابل نوک تیز و دیگری را مقابل بخش پهن دوک بیاویزید. چه مشاهده می‌کنید؟ مشاهده خود را توجیه کنید.

مشاهده: آونگی که مقابل نوک تیز دوک آویخته شده است، بیشتر از آونگ مقابل بخش پهن منحرف (دفع) می‌شود.

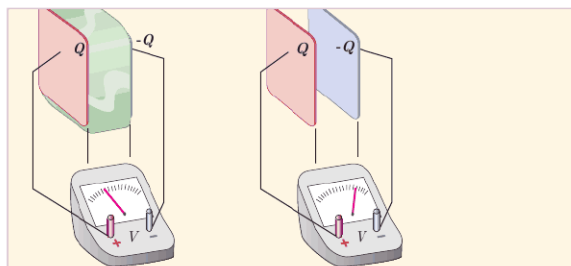
توجیه: بار روی سطح خارجی رسانا توزیع می‌شود، اما چگالی سطحی بار $\sigma = Q / A$ در همه جا یکسان نیست: در نقاط تیز سطح، بار متراکم‌تر و σ بیشتر است. به همین دلیل خطوط میدان الکتریکی در نزدیکی نوک متراکم‌تر و میدان قوی‌تر است. نیروی دفع $F = qE$ روی آونگ مقابل نوک (که در تماس با میدان بار گرفته) بزرگ‌تر است؛ پس زاویه انحراف نخ آن بیشتر می‌شود.

در مورد برق‌گیرهای ساختمان تحقیق کنید و بررسی کنید آنها چگونه ساختمان‌ها را از گزند آذرخش در امان نگه می‌دارند.

برق‌گیر (شیوه فرانکلین) شامل یک یا چند میله فلزی نوک‌تیز بر بالاترین نقطه ساختمان، یک سیم رسانای ضخیم (معمولاً مس) که از دیوار پایین می‌آید، و میله اتصال به زمین است که عمیقاً در خاک مرطوب فرو رفته است.

- در نوک تیز، چگالی سطحی بار و میدان الکتریکی بسیار زیاد است. هنگام نزدیک شدن ابر باردار، بار روی نوک به صورت تخلیه هاله‌ای به هوا می‌رود و از تجمع بار روی ساختمان می‌کاهد.
- اگر آذرخش بزند، چون میله بلندترین نقطه و رساناست، آذرخش به سمت آن می‌آید و جریان بسیار شدید از سیم رسانا با مقاومت کم، به جای ساختمان، به زمین منتقل می‌شود.
- اتصال خوب به زمین باعث می‌شود پتانسیل ساختمان نزدیک به پتانسیل زمین بماند و از آسیب (آتش‌سوزی، شوک به ساکنان و خرابی وسایل برقی) جلوگیری شود.

در شکل زیر صفحه‌های باردار یک خازن تخت را که بین آنها هواست، به ولت‌سنج وصل می‌کنیم. با وارد کردن دی‌الکتریک بین دو صفحه، اختلاف پتانسیل دو صفحه کاهش می‌یابد. علت آن را توضیح دهید. (توجه کنید که این آزمایش با بیشتر ولت‌سنج‌های معمولی و رایج ممکن نیست.)



خازن از باتری جدا شده است و ولت‌سنج (آرمانی) بار نمی‌گیرد؛ پس بار خازن ثابت می‌ماند ($Q = \text{const}$). با ورود دی‌الکتریک، ظرفیت خازن طبق $C = K C_0$ ($K > 1$) افزایش می‌یابد. از $V = Q / C$ داریم:

$$V = Q / (K C_0) = V_0 / K < V_0$$

علت فیزیکی: مولکول‌های دی‌الکتریک در میدان صفحه‌ها قطبیده یا هم‌ردیف می‌شوند و روی سطح‌های آن بارهای القایی پدید می‌آیند که میدانی در خلاف میدان صفحه‌ها می‌سازند. میدان خالص بین صفحه‌ها کم می‌شود ($E = E_0 / K$) و چون $\Delta V = E d$ است، اختلاف پتانسیل کاهش می‌یابد.

در حسگر کیسه‌هوا، برخی از خودروها از یک خازن استفاده می‌شود. درباره‌ی چگونگی عملکرد این حسگرها تحقیق کنید و نتیجه آن را به کلاس گزارش دهید.

حسگر کیسه‌هوا یک شتاب‌سنج خازنی است: یک صفحه متحرک (جرم کوچک روی فنر بسیار ظریف) در برابر یک یا چند صفحه ثابت قرار دارد و خازنی با ظرفیت $C = K \epsilon_0 A / d$ می‌سازند.

۱. در رانندگی عادی، صفحه متحرک در جای خود است و ظرفیت خازن تقریباً ثابت است.
۲. در برخورد شدید، خودرو ناگهان کند می‌شود و جرم متحرک به دلیل لختی نسبت به قاب جلو می‌رود؛ فاصله d تغییر می‌کند و در نتیجه C تغییر می‌کند.
۳. مدار الکترونیکی تغییر ظرفیت را به تغییر ولتاژ (سیگنال الکتریکی) تبدیل و آن را اندازه می‌گیرد. اگر شتاب منفی از حد آستانه بیشتر باشد، واحد کنترل فرمان روشن شدن مولد گاز را می‌دهد.
۴. مولد گاز با واکنش شیمیایی در چند هزارم ثانیه (حدود ۳۰ میلی‌ثانیه) کیسه را با نیتروژن پر می‌کند و سرنشین از برخورد با فرمان و داشبورد محافظت می‌شود.

یک یاختهٔ عصبی (نورون) را می‌توان با یک خازن تخت مدل‌سازی کرد، به‌طوری‌که غشای سلول به عنوان دی‌الکتریک و یون‌های باردار با علامت مخالف که در دو طرف غشا هستند که به عنوان بارهای روی صفحات خازن عمل کنند (شکل روبه‌رو). ظرفیت یک سلول عصبی و تعداد یون‌های لازم (بافرض آنکه هر یون یک بار یونیده باشد)، برای آنکه یک اختلاف پتانسیل 85mV ایجاد شود چقدر است؟ فرض کنید غشا دارای ثابت دی‌الکتریک $\kappa=3.0$ ، ضخامت 10.0nm و مساحت سطح $1.0\times 10^{-10}\text{m}^2$ است.

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}, \Delta V = 85 \text{ mV} = 8.5 \times 10^{-2} \text{ V}, A = 1.0 \times 10^{-10} \text{ m}^2, d = 10.0 \text{ nm} = 1.00 \times 10^{-8} \text{ m}, \kappa = 3.0$$

$$C = \kappa \epsilon_0 A / d = (3.0)(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})(1.0 \times 10^{-10} \text{ m}^2) / (1.00 \times 10^{-8} \text{ m}) \approx 2.7 \times 10^{-13} \text{ F} \approx 0.27 \text{ pF}$$

$$Q = C V = (2.66 \times 10^{-13} \text{ F})(8.5 \times 10^{-2} \text{ V}) \approx 2.3 \times 10^{-14} \text{ C}$$

$$N = Q / e = 2.26 \times 10^{-14} / 1.6 \times 10^{-19} \approx 1.4 \times 10^5$$

(هر یون $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$) تعداد یون‌ها در هر طرف غشا.

خازن‌ها انواع متعددی دارند؛ زیرا برای کاربردهای مختلف طراحی و ساخته می‌شوند. دربارهٔ خازن‌های مختلف مانند خازن‌های ورقه‌ای، میکا، سرامیکی، الکتrolیتی، خازن‌های متغیر، ابرخازن‌ها و ظرفیت آنها تحقیق کنید. هر گروه می‌تواند روی یک نوع خازن تحقیق کند.

نوع خازن	دی‌الکتریک / ساختار	ظرفیت معمول	کاربرد
ورقه‌ای (کاغذی/پلاستیکی)	دو ورقهٔ فلزی نازک با لایهٔ کاغذ یا پلاستیک، لوله‌شده	nF تا چند μF	مدارهای صوتی، فیلتر، موتورهای کوچک
میکا	ورقه‌های میکا و فلز؛ پایدار و دقیق	pF تا چند صد pF	مدارهای رادیویی و بسامد بالا
سرامیکی	قرص یا لولهٔ سرامیکی با ثابت دی‌الکتریک بزرگ	چند pF تا چند μF	مدارهای دیجیتال، جداکنندهٔ نوفه، گوشی و رایانه
الکتrolیتی	لایهٔ نازک اکسید روی آلومینیم؛ قطب‌دار	μF تا چندین mF	منبع تغذیه، تقویت‌کننده، فلاش دوربین

متغیر	صفحه‌های متحرک و ثابت؛ با چرخاندن، مساحت روپوشی (و ظرفیت) تغییر می‌کند	چند ده تا چند صد pF	تنظیم ایستگاه در رادیو
ابرخازن	دولایه الکتریکی با سطح بسیار بزرگ (کربن فعال)	چند F تا هزاران F	ذخیره انرژی، ترمز بازیاب در خودروهای برقی

مسئله ۱

صفحه ۴۱

۳۰

چگونه توسط برق‌نما (الکتروسکوپ) می‌توانیم تشخیص دهیم که:

الف) یک میله باردار است یا نه؟

ب) میله رساناست یا نارسانا؟

پ) نوع بار میله باردار چیست؟

الف) میله را به کلاهک برق‌نمای بدون بار نزدیک می‌کنیم (بدون تماس). اگر ورقه‌ها از هم باز شوند، میله باردار است؛ اگر ورقه‌ها بسته بمانند، میله بار قابل توجهی ندارد (باردار نیست).

ب) یک برق‌نما را بار می‌دهیم تا ورقه‌هایش باز شوند. سپس انتهای میله را به کلاهک می‌زنیم، در حالی که انتهای دیگر آن را با دست خود می‌گیریم. اگر ورقه‌ها بسته شوند، بار از میله و بدن به زمین رفته است؛ پس میله رساناست. اگر ورقه‌ها باز بمانند، بار از میله عبور نکرده است؛ پس میله نارسانا است.

پ) ابتدا برق‌نما را با نوع بار معلوم (مثلاً منفی) بار می‌دهیم. میله باردار را بدون تماس به کلاهک نزدیک می‌کنیم. اگر باز بودن ورقه‌ها بیشتر شود، بار میله هم‌نام بار برق‌نماست (منفی)؛ اگر ورقه‌ها به هم نزدیک شوند، بار میله ناهم‌نام (مثبت) است.

مسئله ۲

صفحه ۴۱

۳۱

یک میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میله پلاستیکی $12.8 \times 10^{-9} \text{ C}$ می‌شود.

الف) بار الکتریکی ایجاد شده در پارچه پشمی چقدر است؟

ب) تعداد الکترون‌های منتقل شده از پارچه پشمی به میله پلاستیکی را محاسبه کنید.

الف) طبق پایستگی بار الکتریکی، مجموع بار در مالش ثابت می‌ماند (در ابتدا هر دو خنثی بودند):

$$q_{-12.8} + q_{+0} = \text{پلاستیک} + \text{پشم} = 0$$

ب) $n = |q| / e = 12.8 \times 10^{-9} \text{ C} / 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = 8.0 \times 10^{10}$ الکترون از پشم به میله پلاستیکی منتقل شده است.

الف) بار الکتریکی اتم و هسته اتم کربن ($^{12}_6\text{C}$) چند کولن است؟
 ب) بار الکتریکی اتم کربن یک بار یونیده (^+C) چقدر است؟

الف) عدد اتمی کربن ۶ است؛ ۶ پروتون و ۶ الکترون دارد (و ۶ نوترون که بدون بار است). اتم خنثی است، پس بار اتم صفر است. بار هسته برابر بار ۶ پروتون است:

$$q_{+6} = 6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = 9.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

ب) کربن یک بار یونیده یک الکترون از دست داده است؛ بار آن برابر بار یک پروتون است: $q = +e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای $q_1 = 4.0 \text{ nC}$ و $q_2 = -6.0 \text{ nC}$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصله $r = 3.0 \text{ cm}$ از هم دور می‌کنیم. نیروی برهم‌کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید. این نیرو رانشی است یا رباشی؟

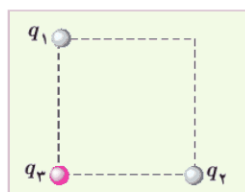
پس از تماس، چون گوی‌ها یکسان‌اند بار کل به طور مساوی بین آنها تقسیم می‌شود:

$$q' = (q_1 + q_2) / 2 = (4.0 - 6.0) / 2 \text{ nC} = -1.0 \text{ nC}$$

$$F = k |q'_1 q'_2| / r^2 = (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) (1.0 \times 10^{-9} \text{ C})^2 / (0.30 \text{ m})^2 = 1.0 \times 10^{-7} \text{ N}$$

هر دو گوی دارای بار منفی هم‌نام‌اند؛ پس نیرو رانشی است و اندازه آن 1.0×10^{-7} نیوتون است.

سه ذره باردار q_1 ، q_2 و q_3 مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع 3.0 m ثابت شده‌اند. اگر $q_1 = q_2 = -5.0 \mu\text{C}$ و $q_3 = +0.20 \mu\text{C}$ باشد، نیروی خالص وارد بر بار q_3 را برحسب بردارهای یکه‌ای $\hat{i}$ و $\hat{j}$ تعیین کنید.



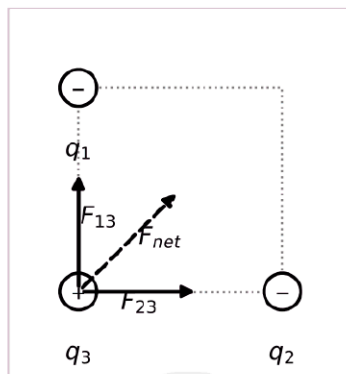
q_3 مثبت و در گوشه پایین چپ است؛ q_1 (بالا) و q_2 (راست) منفی‌اند. هر کدام q_3 را می‌ربایند. فاصله q_3 تا هر کدام برابر ضلع مربع است ($r = 3.0 \text{ m}$).

$$F_{13} = k |q_1| |q_3| / r^2 = (9 \times 10^9) (5.0 \times 10^{-6}) (0.20 \times 10^{-6}) / (3.0)^2 = 1.0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

(رو به بالا: $\hat{j}$)

$$F_{23} = k |q_2| |q_3| / r^2 = 1.0 \times 10^{-3} \text{ N} \quad (\text{رو به راست: } i+)$$

$F_{\text{net}} = F_{13} + F_{23} = (1.0 \times 10^{-3} i + 1.0 \times 10^{-3} j) \text{ N}$ ، با اندازه $1.4 \times 10^{-3} \text{ N} \approx \sqrt{2} \times 10^{-3} \text{ N}$ و زاویه 45° نسبت به محور x .

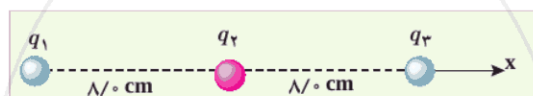


مسئله ۶

صفحه ۴۱

۳۵

بارهای نقطه‌ای $q_1 = -4.0 \text{ nC}$ ، $q_2 = +5.0 \text{ nC}$ ، و $q_3 = -4.0 \text{ nC}$ مطابق شکل، در جای خود ثابت شده‌اند. نیروی خالص الکتریکی وارد بر هریک از بارهای q_2 و q_3 را محاسبه کنید.

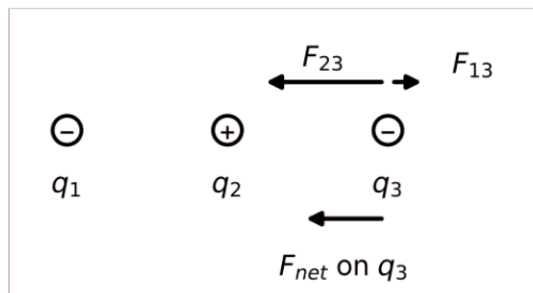


فاصله q_1 تا q_2 و q_2 تا q_3 برابر $8.0 \text{ cm} = 0.080 \text{ m}$ و فاصله q_1 تا q_3 برابر 0.16 m است. محور x رو به راست است.

نیروی وارد بر q_2 : $F_{12} = k |q_1| |q_2| / r^2 = (9 \times 10^9) (4.0 \times 10^{-9}) (5.0 \times 10^{-9}) / (0.080)^2 = 2.8 \times 10^{-5} \text{ N}$ (رو به چپ، ربایشی)؛ $F_{32} = 2.8 \times 10^{-5} \text{ N}$ (رو به راست، ربایشی). پس روی q_2 $F_{\text{net}} = 0$.

نیروی وارد بر q_3 : $F_{23} = 2.8 \times 10^{-5} \text{ N}$ (رو به چپ، ربایشی) و $F_{13} = k |q_1| |q_3| / r^2 = (9 \times 10^9) (4.0 \times 10^{-9})^2 / (0.16)^2 = 5.6 \times 10^{-6} \text{ N}$ (رو به راست، رانشی).

روی q_3 $F_{\text{net}} = 2.8 \times 10^{-5} - 0.56 \times 10^{-5} = 2.3 \times 10^{-5} \text{ N}$ (رو به چپ (در جهت $-x$ ، به سمت q_2)).



در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه به جرم $۰/۲۵\text{g}$ و بار یکسان مثبت q در فاصله $۱/۰\text{cm}$ از هم قرار دارند، به‌طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است.

الف) اندازه بار q را به دست آورید.

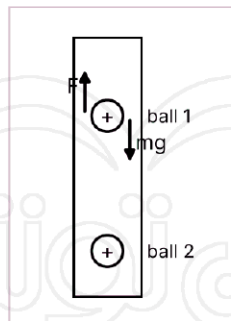
ب) تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چقدر است؟



الف) گوی بالایی در تعادل است: نیروی رانش کولنی رو به بالا با وزن برابر است ($g = 9.8\text{ N/kg}$ ، $m = 0.25\text{ g} = 2.5 \times 10^{-4}\text{ kg}$)
 $(r = 1.0\text{ cm} = 1.0 \times 10^{-2}\text{ m})$:

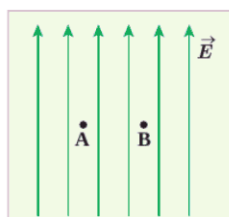
$$k q^2 / r^2 = m g \Rightarrow q = r \sqrt{(m g / k)} = (1.0 \times 10^{-2}) \sqrt{(2.5 \times 10^{-4} \times 9.8 / 9 \times 10^9)} \approx 5.2 \times 10^{-9}\text{ C}$$

ب) $n = q / e = 5.2 \times 10^{-9} / 1.6 \times 10^{-19} \approx 3.3 \times 10^{10}$ الکترون از هر گوی کنده شده است.



ایران توشه
توشه ای برای موفقیت

یک ذره باردار را یک بار در نقطه A و بار دیگر در نقطه B قرار می‌دهیم. نیرویی که از طرف میدان الکتریکی بر این ذره باردار در این دو نقطه وارد می‌شود را مقایسه کنید.



خطوط میدان موازی و هم فاصله اند؛ پس میدان یکنواخت است و در A و B بزرگی و جهت یکسان دارد: $E_A = E_B = E$. بنابراین نیروی وارد بر ذره باردار در هر دو نقطه $F = qE$ است؛ یعنی نیروها هم اندازه و هم جهت (برای بار مثبت، هم جهت با میدان) اند: $F_A = F_B$.

مسئله ۹

صفحه ۴۱

۳۸

هسته اتم آهن شعاعی در حدود $4 \times 10^{-15} \text{ m}$ دارد و تعداد پروتون های آن ۲۶ عدد است. الف) بزرگی نیروی دافعه بین دو پروتون این هسته که به فاصله $4 \times 10^{-15} \text{ m}$ از هم قرار دارند چقدر است؟ ب) اندازه میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصله $1 \times 10^{-10} \text{ m}$ از مرکز هسته چقدر است؟

$$F = k e^2 / r^2 = (9 \times 10^9) (1.6 \times 10^{-19})^2 / (4.0 \times 10^{-15})^2 = 14.4 \text{ N} \approx 14 \text{ N} \quad \text{الف)}$$

ب) بار هسته $Q = 26e = 26 \times 1.6 \times 10^{-19} = 4.16 \times 10^{-18} \text{ C}$ است. هسته را مانند بار نقطه ای در نظر می گیریم:

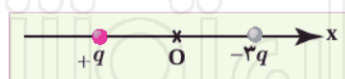
$$E = k Q / r^2 = (9 \times 10^9) (4.16 \times 10^{-18}) / (1.0 \times 10^{-10})^2 \approx 3.7 \times 10^{12} \text{ N/C}$$

مسئله ۱۰

صفحه ۴۱

۳۹

شکل زیر، دو ذره باردار را نشان می دهد که در جای خود روی محور x ثابت شده اند. بارها در فاصله یکسان a از مبدأ مختصات (نقطه O) قرار دارند. الف) در کجای این محور (غیر از بی نهایت) نقطه ای وجود دارد که در آنجا میدان الکتریکی برابری با صفر است؟ ب) بزرگی و جهت میدان الکتریکی برابری در مبدأ مختصات را بیابید.



بار $+q$ در $x = -a$ و بار $-3q$ در $x = +a$ قرار دارد.

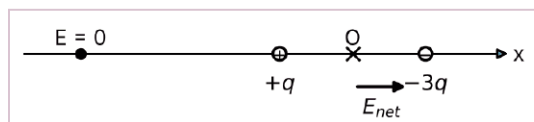
الف) بین دو بار میدان ها هم جهت اند (از $+q$ دور می شود و به $-3q$ می رود)، پس صفر نمی شود. در سمت راست $-3q$ ، میدان بار بزرگ تر و نزدیک تر، قوی تر است؛ پس صفر نمی شود. فقط سمت چپ بار کوچک تر ($x < -a$) ممکن است. اگر فاصله نقطه تا $+q$ برابر d باشد:

$$k q / d^2 = k (3q) / (d + 2a)^2 \Rightarrow (d + 2a)^2 = 3 d^2 \Rightarrow d + 2a = \sqrt{3} d \Rightarrow d = 2a / (\sqrt{3} - 1) = (\sqrt{3} + 1) a \approx 2.73 a$$

پس $x = -a - d = -(2 + \sqrt{3}) a \approx -3.73 a$ یعنی نقطه ای در سمت چپ بار $+q$ به فاصله $2.73a$ از آن.

ب) در مبدأ، میدان $+q$ (که در $-a$ است) به سمت $+x$ و میدان $-3q$ (که در $+a$ است، میدان به سمت بار منفی) هم به سمت $+x$ است:

$$E = kq/a^2 + 3kq/a^2 = 4kq/a^2 \quad \text{در جهت } +x \text{ (به سمت بار } -3q).$$



مسئله ۱۱

صفحه ۴۲

۴۰

در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $4/9 \times 10^5 \text{ N/C}$ که جهت آن قائم و رو به پایین است، ذره باردار به جرم $2/0 \text{ g}$ معلّق و به حال سکون قرار دارد. اگر $g = 9/8 \text{ N/kg}$ باشد، اندازه و نوع بار ذره را مشخص کنید.

ذره ساکن است؛ پس نیروی الکتریکی باید وزن را خنثی کند و رو به بالا باشد. چون میدان رو به پایین است و نیرو در خلاف جهت میدان، بار ذره منفی است.

$$|q| E = m g \Rightarrow |q| = m g / E = (2.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg}) / (4.9 \times 10^5 \text{ N/C}) = 4.0 \times 10^{-8} \text{ C}$$

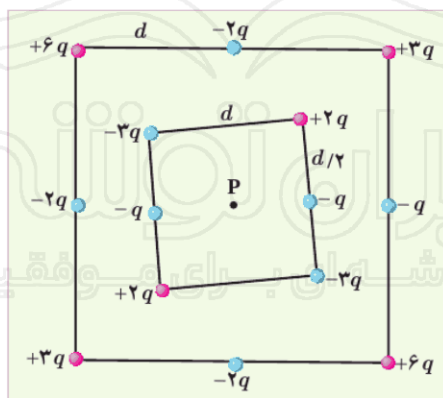
بنابراین $q = -4.0 \times 10^{-8} \text{ C} = -40 \text{ nC}$

مسئله ۱۲

صفحه ۴۲

۴۱

شکل زیر دو آرایه مربعی از ذرات باردار را نشان می‌دهد. مربع‌ها که در نقطه P هم‌مرکزند، هم‌ردیف نیستند. ذره‌ها روی محیط مربع به فاصله d یا d/2 از هم قرار گرفته‌اند. بزرگی و جهت میدان الکتریکی برآیند در نقطه P چیست؟



هر ذره را با ذره قرینه آن نسبت به P جفت می‌کنیم. اگر دو بار هم‌اندازه هم‌علامت در دو طرف P و در یک فاصله باشند، میدان‌هایشان هم‌اندازه و در خلاف جهت‌اند و یکدیگر را خنثی می‌کنند.

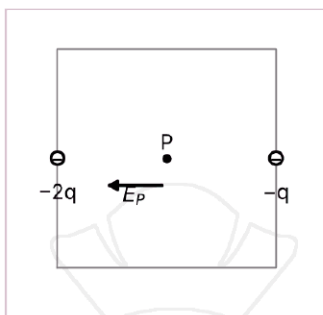
○ **مربع بزرگ:** رأس‌های بالاچپ و پایین‌راست (هر دو +6q)، رأس‌های بالا راست و پایین‌چپ (هر دو +3q) و وسط‌های ضلع بالا و پایین (هر دو -2q) دوه‌دو قرینه و هم‌بارند و میدان آنها در P صفر است. فقط وسط ضلع چپ (-2q) و وسط ضلع راست (-q) هم‌اندازه نیستند.

○ **مربع کوچک:** $+2q \leftrightarrow -3q$ ، $-3q \leftrightarrow -q$ و $-q \leftrightarrow -q$ (وسط ضلع چپ و راست) همه دوبه دو هم بار و قرینه اند؛ پس میدان آنها صفر است.

میدان خالص از دو باری است که ناهم اندازه اند. فاصله هرکدام تا P برابر $d/2$ است و چون بار منفی اند، میدان هایشان به سمت خود بارهاست:

$$E_1 = k(2q)/(d/2)^2 = 8kq/d^2 \text{ (به سمت چپ)}, E_2 = kq/(d/2)^2 = 4kq/d^2 \text{ (به سمت راست)}$$

$$E_P = 8kq/d^2 - 4kq/d^2 = 4kq/d^2 \text{ (به سمت چپ (به سمت بار } -2q \text{ در وسط ضلع چپ مربع بزرگ).)}$$

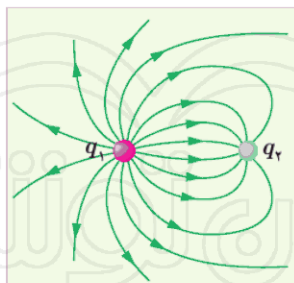


مسئله ۱۳

صفحه ۴۲

۴۲

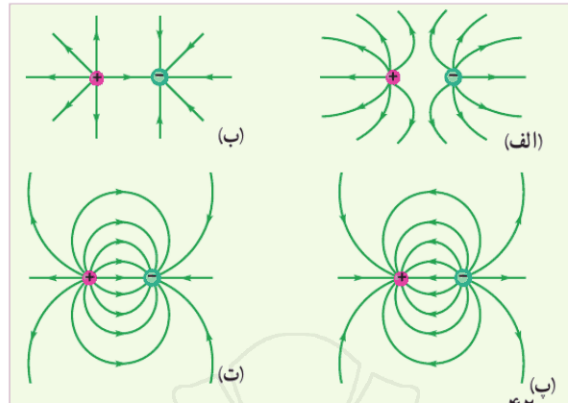
خطوط میدان الکتریکی برای دو کرهٔ رسانای باردار کوچک در شکل روبه رو نشان داده شده است. نوع بار هر کره را تعیین کرده و اندازه آنها را مقایسه کنید.



خطوط میدان از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد می شوند. از q_1 خطوط خارج می شوند، پس q_1 مثبت است؛ خطوط به q_2 وارد می شوند، پس q_2 منفی است.

تعداد خطوط میدان خارج شده از q_1 بیشتر از تعداد خطوط وارد شده به q_2 است (بخشی از خطوط q_1 به بی نهایت می روند) و تعداد خطوط متناسب با اندازه بار است؛ بنابراین $|q_1| > |q_2|$.

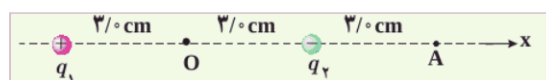
در شکل‌های زیر، اندازه دو بار، یکسان ولی علامت آنها مخالف هم است. کدام آرایش‌های خطوط میدان نادرست است؟ دلیل آن را توضیح دهید.



فقط آرایش (ت) درست است: خطوط از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد می‌شوند، خطوط پیوسته‌اند، یکدیگر را قطع نمی‌کنند و تقارن دو بار هم‌اندازه حفظ شده است.

- (الف) نادرست: خطوط از بار مثبت دور می‌شوند و از بار منفی هم خارج می‌شوند (فقط شبیه دو بار هم‌علامت) و هیچ خطی بین دو بار را به هم وصل نمی‌کند. در حالی که برای بارهای ناهم‌علامت باید خطوط از + شروع و به - ختم شوند.
- (ب) نادرست: خطوط راست و شعاعی‌اند و فقط یک خط دو بار را وصل می‌کند؛ میدان هر بار به تنهایی کشیده شده و برهم‌نهی میدان‌ها (خمیدگی خطوط) نادیده گرفته شده است.
- (پ) نادرست: شکل خطوط مانند حالت درست است، ولی جهت پیکان‌ها برعکس است؛ پیکان‌ها از بار منفی به بار مثبت‌اند، در حالی که خطوط میدان باید از بار مثبت خارج شوند و به بار منفی وارد شوند.

دو بار نقطه‌ای غیرهمنام $q_1 = +1.0 \text{ nC}$ و $q_2 = -1.0 \text{ nC}$ مطابق شکل زیر به فاصله 6.0 cm از یکدیگر قرار دارند. الف) جهت و اندازه میدان را در نقطه‌های O و A به دست آورید. ب) آیا روی محور، نقطه‌هایی وجود دارد که میدان الکتریکی خالص در آن صفر شود؟



q_1 در $x = -3.0 \text{ cm}$ ، O مبدأ ($x = 0$)، q_2 در $x = +3.0 \text{ cm}$ و A در $x = +6.0 \text{ cm}$ است.

الف) نقطه O: ($r_1 = r_2 = 3.0 \times 10^{-2} \text{ m}$): میدان‌ها هم‌جهت‌اند (دور از q_1 و به سمت q_2 ، هر دو x):

$$E_O = 2kq/r^2 = 2(9 \times 10^9)(1.0 \times 10^{-9})/(3.0 \times 10^{-2})^2 = 2.0 \times 10^4 \text{ N/C}$$

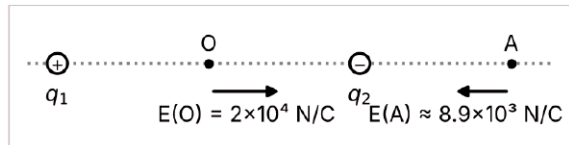
در جهت x .

نقطه A ($r_2 = 3.0 \text{ cm}$, $r_1 = 9.0 \text{ cm}$): میدان q_1 به سمت $x+$ و میدان q_2 به سمت $x-$ (به سمت بار منفی):

$$E_2 = (9 \times 10^9)(1.0 \times 10^{-9}) / (3.0 \times 10^{-2})^2 = 1.0 \times 10^4 \text{ N/C}, E_1 = (9 \times 10^9)(1.0 \times 10^{-9}) / (9.0 \times 10^{-2})^2 = 1.1 \times 10^3 \text{ N/C}$$

$$E_A = E_2 - E_1 = 8.9 \times 10^3 \text{ N/C}, \text{ در جهت } x- \text{ (به سمت } q_2 \text{)}.$$

ب) بین دو بار، میدان هر دو هم جهت است و صفر نمی شود. بیرون از دو بار، میدان بار نزدیک تر (که اندازه ای برابر دارد) بزرگ تر است و باز هم صفر نمی شود. پس روی محور (در فاصله متناهی) نقطه ای با میدان خالص صفر وجود ندارد.

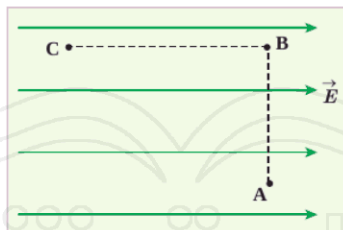


مسئله ۱۶

صفحه ۴۲

۴۵

مطابق شکل زیر، بار $q = +5.0 \text{ nC}$ را در میدان الکتریکی یکنواخت $E = 8.0 \times 10^5 \text{ N/C}$ نخست از نقطه A تا نقطه B و سپس تا نقطه C جابه جا می کنیم. اگر $AB = 0.20 \text{ m}$ و $BC = 0.40 \text{ m}$ باشد، مطلوب است: الف) نیروی وارد بر بار q ، ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه جایی انجام می دهد، پ) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در این جابه جایی.



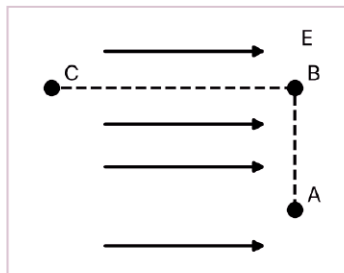
الف) $F = qE = (5.0 \times 10^{-9} \text{ C})(8.0 \times 10^5 \text{ N/C}) = 4.0 \times 10^{-2} \text{ N}$ ، هم جهت با میدان (رو به راست)، در همه مسیر.

ب) مسیر AB بر میدان عمود است: $W_{AB} = F d \cos 90^\circ = 0$. در مسیر BC جابه جایی در خلاف جهت میدان

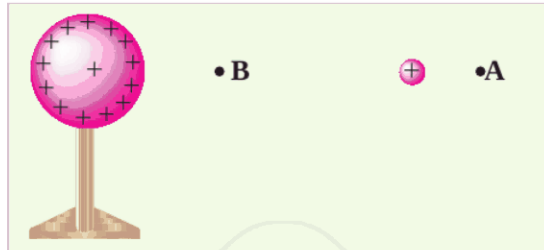
(رو به چپ) است: $W_{BC} = F d \cos 180^\circ = -(4.0 \times 10^{-2} \text{ N})(0.40 \text{ m}) = -1.6 \times 10^{-2} \text{ J}$

$$W_E = W_{AB} + W_{BC} = -1.6 \times 10^{-2} \text{ J}$$

پ) $\Delta U_E = -W_E = +1.6 \times 10^{-2} \text{ J}$ ؛ یعنی انرژی پتانسیل الکتریکی بار به اندازه $1.6 \times 10^{-2} \text{ J}$ افزایش می یابد.



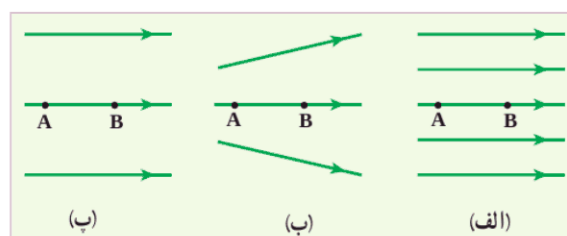
در شکل زیر ذرهٔ باردار مثبت و کوچکی را از حالت سکون، از نقطهٔ A که به سمت کرهٔ باردار که روی پایهٔ عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم و در نقطهٔ B قرار می‌دهیم. (الف) در این جابه‌جایی، کار نیروی الکتریکی مثبت است یا منفی؟ (ب) کاری که ما در این جابه‌جایی انجام می‌دهیم مثبت است یا منفی؟ (پ) انرژی پتانسیل ذرهٔ باردار در این جابه‌جایی چگونه تغییر می‌کند؟ (ت) پتانسیل نقطه‌های A و B را با هم مقایسه کنید.



کرهٔ مثبت، ذرهٔ مثبت را می‌راند. ذره از A (دورتر) به B (نزدیک‌تر به کره) می‌رود، یعنی در خلاف جهت نیروی الکتریکی.

- (الف) جابه‌جایی در خلاف جهت نیروی الکتریکی است؛ پس کار نیروی الکتریکی منفی است ($W_E < 0$).
- (ب) چون ذره در ابتدا و انتها ساکن است ($\Delta K = 0$): $-W_E > 0$ ؛ خارجی W_E ؛ کار ما مثبت است.
- (پ) $\Delta U_E = -W_E > 0$ ؛ انرژی پتانسیل الکتریکی ذره افزایش می‌یابد.
- (ت) $\Delta V = \Delta U_E / q > 0$ (چون q مثبت است)، پس $V_B > V_A$ ؛ پتانسیل نقطهٔ B که به کرهٔ مثبت نزدیک‌تر است بیشتر از پتانسیل A است.

شکل زیر سه آرایش خطوط میدان الکتریکی را نشان می‌دهد. در هر آرایش، یک پروتون از حالت سکون در نقطهٔ A رها می‌شود و سپس توسط میدان الکتریکی تا نقطهٔ B شتاب می‌گیرد. نقطه‌های A و B در هر سه آرایش در فاصله‌های یکسانی از هم قرار دارند. در کدام شکل سرعت پروتون در نقطهٔ B بیشتر است؟ توضیح دهید.



طبق قضیه کار - انرژی جنبشی: $\frac{1}{2} m v_B^2 = W_E = q \Delta V = q \int E dx$ ؛ هرچه میدان در طول مسیر AB قوی‌تر باشد، کار بیشتر و تندی در B بیشتر است. شدت میدان با چگالی خطوط متناسب است.

○ (الف): خطوط موازی و هم‌فاصله‌اند؛ میدان یکنواخت و (به دلیل نزدیک‌ترین فاصله خطوط) قوی‌ترین است.

○ (ب): خطوط در جهت حرکت از هم دور می‌شوند؛ میدان از A به B ضعیف می‌شود و کار کمتر از حالت (الف) است.

○ (پ): میدان یکنواخت ولی خطوط از هم دورترند؛ میدان ضعیف‌تر از (الف) است. بنابراین تندی پروتون در B در شکل (الف) بیشتر است.

مسئله ۱۹

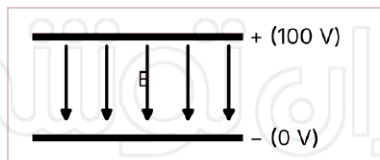
صفحه ۴۳

۴۸

دو صفحه رسانا با فاصله $2/00\text{cm}$ را موازی یکدیگر قرار می‌دهیم و آنها را به اختلاف پتانسیل 100V وصل می‌کنیم. در نتیجه، یکی از صفحه‌ها به طور منفی و دیگری به طور مثبت باردار می‌شود و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی به وجود می‌آید. اندازه این میدان الکتریکی را حساب کنید و با توجه به جهت خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو صفحه توضیح دهید که کدام یک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیشتری دارند.

$$E = |\Delta V| / d = 100 \text{ V} / (2.00 \times 10^{-2} \text{ m}) = 5.00 \times 10^3 \text{ V/m} = 5.00 \times 10^3 \text{ N/C}$$

خطوط میدان از صفحه مثبت به صفحه منفی می‌روند، و پتانسیل در جهت خطوط میدان کاهش می‌یابد؛ بنابراین صفحه مثبت پتانسیل الکتریکی بیشتری دارد (اختلاف آن با صفحه منفی 100 ولت است).



مسئله ۲۰

صفحه ۴۳

۴۹

بار الکتریکی $q = -4.0 \text{ nC}$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_1 = -40 \text{ V}$ تا نقطه‌ای با پتانسیل $V_2 = -10 \text{ V}$ آزادانه جابه‌جا می‌شود. الف) انرژی پتانسیل الکتریکی بار q چه اندازه و چگونه تغییر می‌کند؟ ب) با توجه به قانون پایستگی انرژی، در مورد چگونگی تبدیل انرژی بار q در این جابه‌جایی توضیح دهید.

$$\Delta V = V_2 - V_1 = (-10) - (-40) = +30 \text{ V} \text{ (الف)}$$

یعنی انرژی پتانسیل به اندازه $1/2$ میکروژول کاهش می‌یابد. $\Delta U_E = q \Delta V = (-4.0 \times 10^{-9} \text{ C})(30 \text{ V}) = -1.2 \times 10^{-6} \text{ J}$

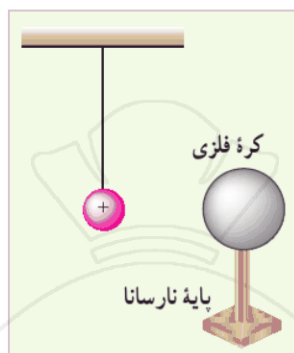
ب) بار آزادانه حرکت می‌کند و تنها نیروی الکتریکی روی آن کار می‌کند، پس انرژی مکانیکی پایسته است:
 $\Delta K + \Delta U_E = 0$. کاهش انرژی پتانسیل ($1.2 \times 10^{-6} \text{ J}$) به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود: $\Delta K = +1.2 \times 10^{-6} \text{ J}$ ؛
 بار منفی خودبه‌خود به سمت پتانسیل بالاتر می‌رود و تندتر می‌شود.

مسئله ۲۱

صفحه ۴۳

۵۰

یک کره فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایه نارسانی قرار دارد، به آونگ الکتریکی باردار نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد.



گوی آونگ مثبت است. وقتی کره فلزی خنثی به آن نزدیک می‌شود، الکترون‌های آزاد کره به سمت گوی مثبت کشیده می‌شوند (القای الکتریکی): نیمه نزدیک کره منفی و نیمه دور آن مثبت می‌شود. بار منفی نزدیک‌تر است؛ پس نیروی ربایشی بیشتر از نیروی رانشی است و گوی آونگ به سمت کره فلزی جذب (منحرف) می‌شود. اگر آنها به هم برسند، مقداری بار منتقل می‌شود و پس از تماس دو گوی هم‌نام می‌شوند و یکدیگر را می‌رانند.

مسئله ۲۲

صفحه ۴۳

۵۱

یک صفحه پلاستیکی باردار (تلق یا ورق باردار) را به برادهای ریز آلومینیومی بدون بار نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که برادها به طرف صفحه پلاستیکی، جذب می‌شوند. علت این پدیده را توضیح دهید.

با نزدیک شدن صفحه باردار، بارهای آزاد براده رسانا در آن جابه‌جا می‌شوند (القا): سمت نزدیک به صفحه، بار ناهم‌نام و سمت دور، بار هم‌نام می‌گیرد. چون بار ناهم‌نام نزدیک‌تر است، نیروی ربایشی بیشتر از نیروی رانشی می‌شود و برادها جذب می‌شوند (پس از تماس و دریافت بار هم‌نام، پس زده می‌شوند).

وقتی ماهواره‌ای به دور زمین می‌چرخد، بر اثر عبور از فضای اطراف زمین باردار می‌شود. این بارها ممکن است موجب آسیب‌رساندن به قطعات الکترونیکی ماهواره شود. فرض کنید ماهواره‌ای در اثر عبور از یکی از لایه‌های جو دارای بار الکتریکی $q = 2.0 \times 10^{-9} \text{ C}$ شود. این ماهواره، مکعبی به ضلع 40 cm است. چگالی سطحی بار الکتریکی روی سطح این ماهواره را محاسبه کنید. (از تجمع بار روی لبه‌ها چشم‌پوشی شود.)

$$A = 6a^2 = 6(0.40)^2 = 0.96 \text{ m}^2 \text{ دارد: } a = 0.40 \text{ m}$$

$$\sigma = Q / A = 2.0 \times 10^{-9} \text{ C} / 0.96 \text{ m}^2 \approx 2.1 \times 10^{-9} \text{ C/m}^2$$

اگر ساختمان یک خازن را تغییر ندهیم، در هریک از شرایط زیر ظرفیت خازن چگونه تغییر می‌کند؟
(الف) بار آن دو برابر شود.
(ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌های آن سه برابر شود.

ظرفیت خازن به ویژگی‌های هندسی (A و d) و جنس دی‌الکتریک بستگی دارد ($C = K \epsilon_0 A / d$) و با تغییر بار یا اختلاف پتانسیل تغییر نمی‌کند.

- (الف) اگر Q دو برابر شود، V هم دو برابر می‌شود و $C = Q/V$ تغییر نمی‌کند.
- (ب) اگر V سه برابر شود، Q هم سه برابر می‌شود و $C = Q/V$ تغییر نمی‌کند.

اختلاف پتانسیل بین دو صفحه یک خازن را از 28 V به 40 V افزایش می‌دهیم. اگر با این کار $15 \text{ } \mu\text{C}$ میکروکولن بر بار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

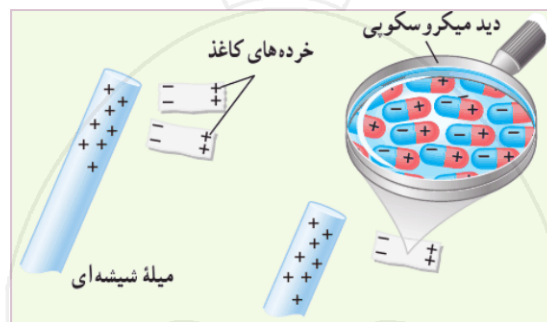
$$Q = CV \text{ و } \Delta Q = C \Delta V$$

$$C = \Delta Q / \Delta V = 15 \times 10^{-6} \text{ C} / (40 - 28) \text{ V} = 15 \times 10^{-6} / 12 = 1.25 \times 10^{-6} \text{ F} = 1.25 \text{ } \mu\text{F}$$

بادکنک باردار شکل زیر را به آب نزدیک کرده‌ایم. توضیح دهید چرا آب به جای اینکه به طور قائم فرو ریزد، خمیده می‌شود؟

مولکول آب قطبی است (یک سر مثبت و یک سر منفی). میدان بادکنک باردار مولکول‌های آب را می‌چرخاند و در راستای میدان هم‌ردیف می‌کند، به طوری که سرِ ناهم‌نام با بار بادکنک به آن نزدیک‌تر است. نیروی ربایشی بر سر نزدیک‌تر بیشتر از نیروی رانشی بر سر دورتر است؛ بنابراین نیروی خالص مولکول‌ها را به سمت بادکنک می‌کشد و جریان آب به طرف بادکنک خمیده می‌شود.

با توجه به شکل زیر توضیح دهید چرا یک میلهٔ باردار، خرده‌های کاغذ را می‌رباید؟



کاغذ نارسناست (دی‌الکتریک) و مولکول‌های آن در میدان میلهٔ باردار قطبیده می‌شوند (جابه‌جایی کوچک بارها یا هم‌ردیف شدن مولکول‌های قطبی). در نتیجه روی سطح نزدیک به میله، بار ناهم‌نام با میله و روی سطح دور، بار هم‌نام ایجاد می‌شود. چون بار ناهم‌نام نزدیک‌تر است، نیروی ربایش بر نیروی رانش غلبه می‌کند و خرده‌های سبک کاغذ جذب میله می‌شوند.

ظرفیت یک خازن تخت با فاصلهٔ صفحات 1.0 mm که بین صفحه‌های آن هوا قرار دارد، برابر $1/0\text{ F}$ است. مساحت صفحه‌های این خازن چقدر است؟ از این مسئله چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

$$C = K \epsilon_0 A / d \Rightarrow A = C d / (K \epsilon_0) \quad (\text{برای هوا } K \approx 1, \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})$$

$$A = (1.0 \text{ F})(1.0 \times 10^{-3} \text{ m}) / (8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}) \approx 1.1 \times 10^8 \text{ m}^2 \quad (\text{حدود } 113 \text{ کیلومتر مربع؛ مربعی به ضلع حدود } 10.6 \text{ km})$$

نتیجه: افراد یکای بسیار بزرگی است. برای داشتن ظرفیت ۱ فاراد با خازن تختی با هوا، مساحت صفحه‌ها باید در حد ده‌ها کیلومتر مربع باشد؛ به همین علت خازن‌های عملی ظرفیتی در حد پیکو تا میکروفاراد دارند و برای ظرفیت‌های بیشتر از دی‌الکتریک با K بزرگ و فاصله بسیار کم استفاده می‌شود.

مسئله ۲۹

صفحه ۴۴

۵۸

یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تا باردار شود. پس از مدتی، درحالی‌که باتری همچنان به خازن متصل است، فاصله بین صفحه‌های خازن را دو برابر می‌کنیم. کدام یک از موارد زیر درست است؟

الف) میدان الکتریکی میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

پ) ظرفیت خازن دو برابر می‌شود.

ت) بار روی صفحه‌ها تغییر نمی‌کند.

باتری متصل است؛ پس V ثابت و برابر ولتاژ باتری می‌ماند.

- الف) درست است: $E = V / d$ ؛ V ثابت و d دو برابر $\Rightarrow E$ نصف می‌شود.
 - ب) نادرست است: اختلاف پتانسیل برابر ولتاژ باتری و ثابت است.
 - پ) نادرست است: $C = K \epsilon_0 A / d$ با دو برابر شدن d نصف می‌شود.
 - ت) نادرست است: $Q = C V$ ؛ C نصف و V ثابت $\Rightarrow Q$ نصف می‌شود (بار از صفحه‌ها به باتری برمی‌گردد).
- فقط مورد (الف) درست است.

مسئله ۳۰

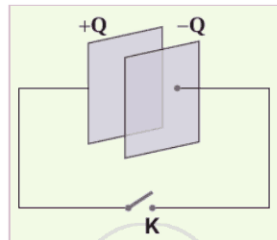
صفحه ۴۴

۵۹

مساحت هریک از صفحه‌های خازن تختی، 1.00 m^2 و فاصله دو صفحه از هم، 0.500 mm است. عایقی با ثابت دی‌الکتریک $4/9$ بین دو صفحه قرار داده شده است. ظرفیت خازن را تعیین کنید.

$$C = K \epsilon_0 A / d = (4.9)(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})(1.00 \text{ m}^2) / (0.500 \times 10^{-3} \text{ m}) \approx 8.7 \times 10^{-8} \text{ F} \approx 87 \text{ nF}$$

دو صفحه خازن تخت باردار را همانند شکل با بستن کلید به هم وصل می‌کنیم، در نتیجه جرقه‌ای زده می‌شود. حال اگر دوباره صفحات را به همان اندازه بار دار کنیم ولی فاصله آنها را دو برابر کنیم و سپس دو صفحه را به هم وصل کنیم، آیا جرقه حاصل بزرگ‌تر از قبل می‌شود، یا کوچک‌تر و یا تغییری نمی‌کند؟ توضیح دهید.



انرژی جرقه همان انرژی ذخیره شده خازن است: $U = Q^2 / (2C)$. بار Q ثابت است، اما با دو برابر شدن d ظرفیت $C = K \epsilon_0 A / d$ نصف می‌شود؛ پس:

$$U' = Q^2 / (2 \times C/2) = 2 \cdot Q^2 / (2C) = 2U$$

انرژی ذخیره شده دو برابر می‌شود (کاری که برای دور کردن صفحه‌ها در برابر ربایش آنها انجام شده، به انرژی خازن افزوده شده است)؛ بنابراین جرقه حاصل **بزرگ‌تر** از قبل می‌شود.

ظرفیت خازنی ۱۲ میکروفاراد و بار الکتریکی آن q است. اگر $+3.0 \text{ mC}$ بار الکتریکی از صفحه منفی به صفحه مثبت منتقل شود، انرژی ذخیره شده در خازن به اندازه 0.8 J زیاد می‌شود. q را محاسبه کنید.

$\Delta U = 0.80 \text{ J}$, $C = 12 \times 10^{-6} \text{ F}$, $\Delta Q = 3.0 \times 10^{-3} \text{ C}$ با انتقال بار، بار خازن از q به $q + \Delta Q$ می‌رسد:

$$\Delta U = (q + \Delta Q)^2 / 2C - q^2 / 2C = (2q\Delta Q + \Delta Q^2) / 2C$$

$$2q\Delta Q = 2C\Delta U - \Delta Q^2 = 2(12 \times 10^{-6})(0.80) - (3.0 \times 10^{-3})^2 = 1.92 \times 10^{-5} - 0.90 \times 10^{-5} = 1.02 \times 10^{-5}$$

$$q = 1.02 \times 10^{-5} / (2 \times 3.0 \times 10^{-3}) = 1.7 \times 10^{-3} \text{ C} = 1.7 \text{ mC}$$

فیزیک ۲ یازدهم - فصل دوم

جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

فهرست

صفحه ۴۷ فعالیت — فعالیت ۱-۲: سرعت سوق و روشن شدن فوری لامپ	۴۲
صفحه ۴۸ تمرین — تمرین ۱-۲: آمپر - ساعت باتری	۴۲
صفحه ۵۱ فعالیت — فعالیت ۲-۲: عوامل مؤثر بر مقاومت سیم	۴۳
صفحه ۵۸ تمرین — تمرین ۲-۲: کد رنگی مقاومت	۴۴
صفحه ۵۹ فعالیت — فعالیت ۳-۲: ترمیستورهای [[NTC]] و [[PTC]]	۴۴
صفحه ۶۱ پرسش — پرسش ۱-۲: روشن شدن [[LED]]	۴۵
صفحه ۶۲ فعالیت — فعالیت ۴-۲: عدد ولت سنج با کلید باز و بسته	۴۵
صفحه ۶۲ فعالیت — فعالیت ۵-۲: پتانسیل درون باتری	۴۶
صفحه ۶۵ تمرین — تمرین ۳-۲: حل مثال ۶-۲ در خلاف جهت جریان	۴۶
صفحه ۶۶ کار در کلاس — فعالیت ۶-۲: اندازه گیری مقاومت درونی باتری	۴۷
صفحه ۶۸ فعالیت — فعالیت ۷-۲: بررسی قانون ژول با گرماسنج	۴۷
صفحه ۶۸ فعالیت — فعالیت ۸-۲: مقاومت و دمای رشته لامپ	۴۸
صفحه ۶۸ پرسش — پرسش ۲-۲: مصرف انرژی لامپ رشته ای و [[LED]]	۴۸
صفحه ۷۰ تمرین — تمرین ۴-۲: قاعده حلقه و پایستگی انرژی	۴۹
صفحه ۷۱ تمرین — تمرین ۵-۲: سه مقاومت متوالی با آمپرسنج	۴۹
صفحه ۷۲ پرسش — پرسش ۳-۲: قاعده انشعاب	۵۰
صفحه ۷۳ فعالیت — فعالیت ۹-۲: بررسی جریان در مقاومت های موازی	۵۰
صفحه ۷۴ تمرین — تمرین ۶-۲: سه مقاومت موازی با آمپرسنج	۵۱
صفحه ۷۶ تمرین — تمرین ۷-۲: پنج مقاومت ۸ اهمی	۵۲
صفحه ۷۹ مسئله — مسئله ۱: روشن شدن لامپ	۵۲
صفحه ۷۹ مسئله — مسئله ۲: تعداد الکترون های عبوری از لامپ	۵۳
صفحه ۷۹ مسئله — مسئله ۳: دریل معیوب با دوشاخه و سه شاخه	۵۴
صفحه ۷۹ مسئله — مسئله ۴: آذرخش	۵۴
صفحه ۷۹ مسئله — مسئله ۵: آزمایش قانون اهم	۵۵
صفحه ۷۹ مسئله — مسئله ۶: نمودار [[I-V]] دو رسانا	۵۶
صفحه ۷۹ مسئله — مسئله ۷: مقایسه مقاومت سیم توپر و لوله توخالی	۵۶
صفحه ۷۹ مسئله — مسئله ۸: سیم ماشین چمن زنی	۵۷
صفحه ۸۰ مسئله — مسئله ۹: رشته برشته کن نیکرومی	۵۷
صفحه ۸۰ مسئله — مسئله ۱۰: مشابه سازی مکانیکی نیروی محرکه	۵۸

۱۰۲	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۲۲: مقاومت آمپرسنج ۶۴	۹۱	صفحه ۸۰ - مسئله - مسئله ۱۱: باتری خودرو و هشت باتری قلمی ۵۸
۱۰۳	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۲۳: جریان در یک بخش از مدار ۶۵	۹۲	صفحه ۸۰ - مسئله - مسئله ۱۲: مقاومت داخلی باتری ۵۹
۱۰۴	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۲۴: بسته شدن متوالی کلیدها ۶۶	۹۳	صفحه ۸۰ - مسئله - مسئله ۱۳: مدار تک حلقه‌ای با چند باتری ۵۹
۱۰۵	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۲۵: دو لامپ متوالی و موازی ... ۶۶	۹۴	صفحه ۸۰ - مسئله - مسئله ۱۴: دو باتری و پتانسیل نقطه $[[A]]$ ۶۰
۱۰۶	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۲۶: متوالی یا موازی در شکل‌های ص ۸۲ ۶۷	۹۵	صفحه ۸۰ - مسئله - مسئله ۱۵: دو لامپ با رشته ضخیم و نازک ۶۱
۱۰۷	صفحه ۸۲ - مسئله - مسئله ۲۷: مدار تک حلقه‌ای با [[E_2]] مجهول ۶۷	۹۶	صفحه ۸۰ - مسئله - مسئله ۱۶: جریان و مقاومت کتری و اتو ۶۱
۱۰۸	صفحه ۸۲ - مسئله - مسئله ۲۸: سه مقاومت ۱۲ اهمی متوالی و موازی ۶۸	۹۷	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۱۷: دمای رشته لامپ چراغ قوه ۶۲
۱۰۹	صفحه ۸۲ - مسئله - مسئله ۲۹: ترکیب مقاومت‌ها و توان مصرفی ۶۸	۹۸	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۱۸: مدار با باتری ناشناخته $[[B]]$ ۶۲
۱۱۰	صفحه ۸۲ - مسئله - مسئله ۳۰: جریان لامپ‌ها پس از بستن کلید ۶۹	۹۹	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۱۹: مصرف انرژی تلویزیون و لامپ خانه ۶۳
۱۱۱	صفحه ۸۲ - مسئله - مسئله ۳۱: جریان در مدار با حلقه‌های مقاومتی ۷۰	۱۰۰	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۲۰: نیروی محرکه و مقاومت داخلی از توان خروجی ۶۳
۱۱۲	صفحه ۸۲ - مسئله - مسئله ۳۲: سه لامپ همسان و کلید ۷۱	۱۰۱	صفحه ۸۱ - مسئله - مسئله ۲۱: موازی بودن چراغ‌های خودرو ۶۴
۱۱۳	صفحه ۸۲ - مسئله - مسئله ۳۳: فیوز سیم‌کشی خانه ... ۷۱		

سرعت سوق الکترون‌های آزاد در یک رسانا به قدری کم است. اگر سرعت سوق الکترون‌ها این قدر کم است، پس چرا وقتی کلید برق را می‌زنیم چراغ‌های خانه به سرعت روشن می‌شوند؟ (راهنمایی: شیلنگ شفاف را در نظر بگیرید. وقتی شیر را باز می‌کنید، هنگامی که شیلنگ پر از آب است، آب بلافاصله از سر دیگر شیلنگ جاری می‌شود؛ ولی اگر لکه‌ای رنگی را درون آب چکانده باشیم، می‌بینیم این لکه رنگی به آهستگی در شیلنگ حرکت می‌کند.)

الکترون‌های آزاد در سراسر سیم و رشته لامپ از قبل وجود دارند (مانند آبی که از قبل شیلنگ را پر کرده است). با بستن کلید، میدان الکتریکی در تمام طول مدار تقریباً با سرعت نور ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) برقرار می‌شود و همه الکترون‌های آزاد، هم‌زمان و در همه نقطه‌های مدار، شروع به حرکت (سوق) می‌کنند؛ پس الکترون‌های درون رشته لامپ بلافاصله به حرکت درمی‌آیند و لامپ روشن می‌شود.

آنچه با سرعت زیاد منتقل می‌شود «میدان الکتریکی» (و در نتیجه انرژی) است، نه خود الکترون‌ها. الکترون‌ها فقط با سرعت بسیار کم (حدود 10^{-4} m/s) در جهت خلاف میدان سوق پیدا می‌کنند؛ درست مانند لکه رنگی که آهسته جابه‌جا می‌شود، در حالی که فشار آب در سراسر شیلنگ تقریباً بلافاصله منتقل می‌شود.

در رابطه $\Delta q = I(\Delta t)$ اگر I برحسب آمپر و Δt برحسب ساعت باشد، یکای Δq ، آمپر-ساعت می‌شود. باتری خودروها با آمپر-ساعت (Ah) و باتری گوشی‌های همراه با میلی‌آمپر-ساعت (mAh) مشخص می‌شود. هرچه آمپر-ساعت یک باتری بیشتر باشد حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار عبور دهد تا به‌طور ایمن تخلیه شود، بیشتر است.

الف) باتری استاندارد خودرویی، 50Ah است. اگر این باتری جریان متوسط 5.0A را فراهم سازد، چقدر طول می‌کشد تا خالی شود؟

ب) روی یک باتری قلمی مقدار 1000mAh نوشته شده است. اگر این باتری جریان متوسط $100 \mu\text{A}$ را فراهم سازد، چه مدت طول می‌کشد تا خالی شود؟

$$\text{از } \Delta q = I \Delta t \text{ نتیجه می‌شود } \Delta t = \Delta q / I.$$

الف) $\Delta t = 50 \text{ Ah} \div 5.0 \text{ A} = 10 \text{ h}$ ؛ باتری خودرو پس از ۱۰ ساعت خالی می‌شود.

ب) ظرفیت باتری قلمی: $1000 \text{ mAh} = 1.0 \text{ Ah}$ و جریان: $100 \mu\text{A} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ A}$ ؛ بنابراین $\Delta t = 1.0 \text{ Ah} \div (1.0 \times 10^{-4} \text{ A}) = 1.0 \times 10^4 \text{ h}$ (حدود ۱۱ سال) است.

اسباب آزمایشی را شامل یک منبع تغذیه، آمپرسنج، ولت سنج، سیم‌های رابط و قطعه سیم‌هایی که می‌خواهیم مقاومت آنها را به دست آوریم، مطابق شکل داده شده سوار کنید. آزمایش شامل سه مرحله است.

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

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

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

با استفاده از $R = V / I$ مقاومت هر سیم از روی عددهای ولت سنج و آمپرسنج به دست می‌آید. نتایج نمونه (دمای ثابت):

مرحله ۱: سیم‌هایی با جنس و قطر یکسان

$R = V/I (\Omega)$	$I (A)$	$V (V)$	$L (m)$ طول
۲/۰	۰/۵۰	۱/۰	۰/۵
۴/۰	۰/۵۰	۲/۰	۱/۰
۸/۰	۰/۵۰	۴/۰	۲/۰

مرحله ۱: با دو برابر شدن طول، مقاومت دو برابر می‌شود؛ مقاومت با طول سیم رابطه مستقیم ($R \propto L$) دارد.

مرحله ۲: سیم‌هایی با جنس و طول یکسان

$R (\Omega)$	A سطح مقطع	$d (mm)$ قطر
۸/۰	A	۰/۵۰
۲/۰	4A	۱/۰۰

مرحله ۲: با دو برابر شدن قطر، سطح مقطع $A = \pi d^2/4$ چهار برابر و مقاومت یک چهارم می‌شود؛ مقاومت با سطح مقطع رابطه وارونه ($R \propto 1/A$) دارد.

مرحله ۳: با طول و قطر یکسان، مقاومت سیم نیکروم بیشتر از کنستانتان است (ρ نیکروم $\Omega \cdot m$ $1.0 \times 10^{-6} \approx$ و ρ کنستانتان $\Omega \cdot m$ $0.44 \times 10^{-6} \approx$ ، یعنی حدود ۲/۳ برابر)؛ پس مقاومت به جنس ماده نیز بستگی دارد.

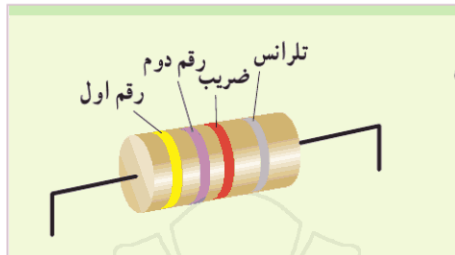
نتیجه: $R = \rho L / A$ که در آن ρ مقاومت ویژه (وابسته به جنس و دما) است.

تمرین

صفحه ۵۸

۶۵

مقدار مقاومت نشان داده شده در شکل، و مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت، بر حسب اهم چقدر است؟



بنا بر جدول ۲-۳ (کد رنگی)، حلقه‌ها از سمت راست‌تر سر مقاومت (نزدیک‌تر به یک سر) به این صورت‌اند: حلقه اول زرد ← رقم ۴، حلقه دوم بنفش ← رقم ۷، حلقه سوم (ضریب) قرمز ← 10^2 ، حلقه چهارم (تولرانس) نقره‌ای ← ۱۰٪.

$$R = 47 \times 10^2 \Omega = 4700 \Omega = 4.7 \text{ k}\Omega$$

مقدار مجاز انحراف: $\Delta R = 10\% \times 4700 \Omega = 470 \Omega$ ؛ یعنی مقاومت دقیق بین 4230Ω و 5170Ω است ($R = 4700 \Omega \pm 470 \Omega$).

فعالیت

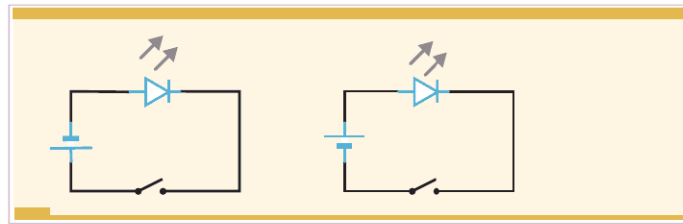
صفحه ۵۹

۶۶

ترمیستورها به دو نوع NTC و PTC تقسیم‌بندی می‌شوند. در مورد ساختار و کاربرد آنها تحقیق کرده و به کلاس گزارش دهید.

- NTC (ضریب دمایی منفی): از اکسیدهای نیم‌رسانا (مانند اکسید منگنز، نیکل و کبالت) ساخته می‌شود. با افزایش دما، تعداد حامل‌های بار بیشتر می‌شود و مقاومت آن کاهش می‌یابد. ($\alpha < 0$) کاربرد: حسگر دما در دماسنج‌ها، کولر و یخچال، محدودکننده جریان لحظه روشن شدن دستگاه‌ها.
- PTC (ضریب دمایی مثبت): معمولاً از سرامیک‌هایی مانند باریم تیتانات ساخته می‌شود. تا دمای معینی مقاومت آن کم و تقریباً ثابت است و بالاتر از آن دما به شدت افزایش می‌یابد. ($\alpha > 0$) کاربرد: فیوز خودبازیاب، گرم‌کن‌های خودتنظیم (سشوار، بخاری)، راه‌اندازی موتور یخچال.
- هر دو نوع به شکل دیسکی، مهره‌ای یا میله‌ای ساخته می‌شوند و با دو پایه به مدار وصل می‌گردند؛ تغییر مقاومت آنها را با اهم‌متر یا مدارهای ساده (مثلاً با باتری و آمپرسنج) می‌توان به تغییر دما ربط داد.

در کدام شکل با بستن کلید، LED روشن می‌شود؟

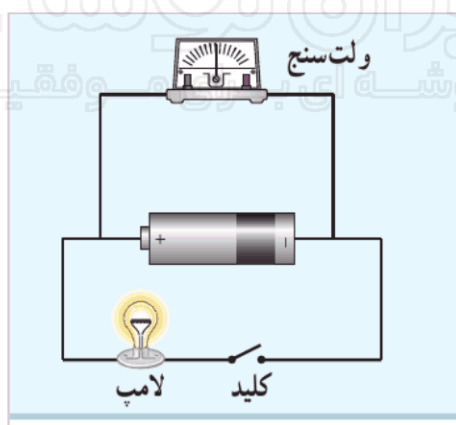


دیود نورگسیل فقط در یک جهت جریان را عبور می‌دهد: جریان قراردادی باید در جهت پیکان نماد (از آند به کاتد) بگذرد. در هر دو مدار پیکان LED به سمت راست است.

- شکل سمت چپ: پایانه مثبت باتری (خط بلندتر) پایین است؛ جریان از پایین، از طریق کلید و سیم سمت راست بالا می‌رود و از راست به چپ از LED می‌گذرد، یعنی در خلاف جهت پیکان؛ LED روشن نمی‌شود.
- شکل سمت راست: پایانه مثبت باتری بالاست؛ جریان از چپ به راست و در جهت پیکان از LED می‌گذرد؛ با بستن کلید LED روشن می‌شود.

پاسخ: شکل سمت راست.

به کمک یک باتری، سیم‌های رابط، لامپ کوچک، ولت‌سنج و کلید، مداری همانند شکل روبه‌رو درست کنید. قبل از بستن کلید عددی را که ولت‌سنج نشان می‌دهد بخوانید. سپس کلید را ببندید و دوباره عددی را که ولت‌سنج نشان می‌دهد بخوانید. در کدام حالت ولت‌سنج عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد؟ چرا؟



وقتی کلید باز است جریانی از باتری نمی‌گذرد و ولت‌سنج (با مقاومت بسیار زیاد) نیروی محرکه باتری $\mathcal{E}$ را نشان می‌دهد. وقتی کلید بسته می‌شود جریان I در مدار برقرار می‌شود و چون باتری مقاومت درونی r دارد، بخشی از اختلاف پتانسیل در درون باتری افت می‌کند: $V = \mathcal{E} - Ir$.

پاسخ: ولت‌سنج در حالت کلید باز (قبل از بستن کلید) عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد؛ زیرا پس از بستن کلید، به دلیل افت پتانسیل Ir در مقاومت درونی باتری، اختلاف پتانسیل دو سر آن کمتر از $\mathcal{E}$ می‌شود.

فعالیت

صفحه ۶۲

۶۹

میدان الکتریکی درون باتری از پایانه مثبت به سمت پایانه منفی است. توضیح دهید چرا وقتی از پایانه مثبت باتری به سمت پایانه منفی آن می‌رویم، پتانسیل کاهش می‌یابد و بالعکس.

در هر میدان الکتریکی، حرکت در جهت میدان همراه با کاهش پتانسیل است ($\Delta V = -E \cdot d$)؛ میدان همواره از پتانسیل زیاد به پتانسیل کم است. چون درون باتری میدان از پایانه مثبت به منفی است، حرکت از پایانه مثبت به منفی در جهت میدان است و پتانسیل کم می‌شود. برعکس، حرکت از پایانه منفی به مثبت در خلاف جهت میدان است و پتانسیل به اندازه $\mathcal{E}$ افزایش می‌یابد؛ به همین دلیل $V_+ - V_- = \mathcal{E}$ (برای باتری آرمانی).

تمرین

صفحه ۶۵

۷۰

مثال بالا را با حرکت در خلاف جهت جریان نشان داده شده، حل و نتیجه را با پاسخ مثال مقایسه کنید.

داده‌ها: $\mathcal{E} = 12 \text{ V}$ ، $r = 2.0 \Omega$ ، $R = 4.0 \Omega$ جریان در مدار ساعت‌گرد است؛ پس خلاف جهت جریان یعنی پادساعت‌گرد. از نقطه a (پایانه منفی) به سمت راست و بالا می‌رویم؛ با حرکت در خلاف جهت جریان از مقاومت R پتانسیل به اندازه IR افزایش می‌یابد، سپس از پایانه مثبت به منفی می‌رسیم (پتانسیل $\mathcal{E}$ کم می‌شود) و در مقاومت درونی r (باز هم خلاف جهت جریان) پتانسیل Ir افزایش می‌یابد:

$$V_a + IR - \mathcal{E} + Ir = V_a \Rightarrow \mathcal{E} - IR - Ir = 0$$

$$I = \mathcal{E} / (R + r) = 12 \text{ V} / (4.0 \Omega + 2.0 \Omega) = 2.0 \text{ A}$$

$$V_b - V_a = \mathcal{E} - Ir = 12 - (2.0)(2.0) = 8 \text{ V. اختلاف پتانسیل دو سر باتری:}$$

مقایسه: نتیجه دقیقاً همان پاسخ مثال است ($I = 2.0 \text{ A}$) و ($V_b - V_a = 8 \text{ V}$)؛ یعنی جهت دور زدن حلقه روی پاسخ تأثیری ندارد.

تفاوت یک باتری نو و فرسوده عمدتاً در مقدار مقاومت داخلی آن است که می‌تواند از یک اهم برای یک باتری نو تا چند هزار اهم برای یک باتری فرسوده باشد. برای اندازه‌گیری مقاومت داخلی یک باتری مدار ساده‌ای متشکل از یک باتری، یک کلید قطع و وصل، و یک مقاومت یا لامپ کوچک سوار کنید. نخست درحالی‌که کلید قطع است، ولتاژ دو سر باتری را با یک ولت‌سنج اندازه بگیرید و آن‌گاه پس از بستن کلید، دوباره ولتاژ دو سر باتری را اندازه بگیرید. همچنین در این حالت، جریان عبوری از مدار را نیز باید به کمک یک آمپرسنج اندازه بگیرید. اکنون با استفاده از رابطه $V - Ir$ مقاومت داخلی باتری را محاسبه کنید (البته در یک اندازه‌گیری دقیق‌تر معمولاً از یک مقاومت متغیر استفاده می‌شود و مقاومت داخلی پس از چندین اندازه‌گیری محاسبه می‌شود). آزمایش را یک بار برای باتری نو و یک بار برای باتری فرسوده انجام دهید.

با کلید باز، ولت‌سنج مقدار $\mathcal{E}$ را نشان می‌دهد. با کلید بسته، ولت‌سنج $V = \mathcal{E} - Ir$ و آمپرسنج I را نشان می‌دهد؛ بنابراین $r = (\mathcal{E} - V) / I$.

نتایج نمونه

باتری	$\mathcal{E}$ (V)	(V) با کلید بسته V	I (A)	$r = (\mathcal{E} - V) / I$ (Ω)
نو	۱/۵۵	۱/۵۰	۰/۵۰	۰/۱۰
فرسوده	۱/۴۰	۱/۰۰	۰/۱۰	۴/۰

نتیجه: مقاومت داخلی باتری فرسوده بسیار بزرگ‌تر از باتری نو است؛ به همین دلیل افت پتانسیل Ir در آن زیاد و ولتاژ دو سر آن هنگام عبور جریان به شدت کم می‌شود. (عددها نمونه‌اند؛ در آزمایش واقعی مقادیرهای اندازه‌گیری شده را جایگزین کنید).

قانون ژول بیان می‌دارد گرمای تولید شده توسط جریان I عبوری از یک مقاومت R در مدت زمان t برابر با RI^2t است. این قانون را می‌توان به روش گرماسنجی با یک گرماسنج که در فیزیک دهم با آن آشنا شدید تحقیق کرد. اسباب این آزمایش در شکل نشان داده شده است. درباره چگونگی این آزمایش تحقیق کنید.

- مقدار مشخصی آب به جرم m را در گرماسنج می‌ریزیم و دمای اولیه آن (θ_1) را اندازه می‌گیریم.
- مقاومت R (گرمکن) را درون آب قرار داده و به منبع تغذیه، آمپرسنج و ولت‌سنج وصل می‌کنیم؛ جریان I را با آمپرسنج می‌خوانیم و مقاومت را با $R = V/I$ به دست می‌آوریم.
- جریان را در مدت t (مثلاً چند دقیقه) برقرار می‌کنیم و آب را هم می‌زنیم، سپس دمای نهایی (θ_2) را می‌خوانیم.
- گرمای دریافت شده توسط آب (و گرماسنج): $Q = (mc + C)(\theta_2 - \theta_1)$ را حساب می‌کنیم.

۵. آن را با انرژی الکتریکی مصرف شده $RI^2t (= VIt)$ مقایسه می‌کنیم. تا حد خطای آزمایش (تلفات گرما به محیط) $Q \approx RI^2t$ به دست می‌آید؛ این نتیجه قانون ژول را تأیید می‌کند. با تغییر I یا t می‌توان نشان داد Q با I^2 و با t متناسب است.

فعالیت

صفحه ۶۸

۷۳

الف) همانند شکل با یک اهم‌متر، مقاومت رشته سیم داخل لامپ ۱۰۰ وات را اندازه‌گیری کنید. سپس با استفاده از رابطه ۱۰-۲ و با داشتن مشخصات روی لامپ، مقاومت آن را در حالت روشن محاسبه کنید. نتیجه محاسبه را با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید و نتیجه را پس از گفتگوی گروهی گزارش دهید.
ب) اکنون با استفاده از نتیجه بدست آمده، دمای رشته سیم داخل لامپ را در حال روشن برآورد کنید (رشته سیم لامپ از جنس تنگستن و ضریب دمایی مقاومت ویژه آن $4.5 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ است^۱).

الف) مشخصات روی لامپ: ۱۰۰ W و ۲۲۰ V مقاومت در حالت روشن: $R = V^2/P = (220 \text{ V})^2 \div 100 \text{ W} = 484 \text{ } \Omega$. اهم‌متر مقاومت رشته سرد را (مثلاً حدود $40 \text{ } \Omega$ ؛ عدد نمونه) نشان می‌دهد، که چند برابر کوچک‌تر از مقدار حالت روشن است؛ زیرا مقاومت فلز با دما افزایش می‌یابد.

ب) با $R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$ و $T_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ، $R_0 \approx 40 \text{ } \Omega$ ؛

$$484 = 40[1 + 4.5 \times 10^{-3}(T - 20)] \Rightarrow T - 20 = (12.1 - 1) \div 4.5 \times 10^{-3} \approx 2470 \Rightarrow T \approx 2.5 \times 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

دمای رشته لامپ روشن حدود ۲۵۰۰ درجه سلسیوس برآورد می‌شود (عدد دقیق به مقدار اندازه‌گیری شده مقاومت سرد بستگی دارد).

پرسش

صفحه ۶۸

۷۴

اگر لامپ‌های رشته‌ای (التهابی) را با لامپ‌های LED جایگزین کنیم، درخواهیم یافت تفاوت چشمگیری در مصرف انرژی حاصل می‌شود. مثلاً درحالی‌که لامپ هالوژن یک کلاه ایمنی چند باتری را در ۳ ساعت مصرف می‌کند، نوع LED همان لامپ، آن باتری‌ها را در ۳۰ ساعت به مصرف می‌رساند. دلیل این اختلاف را بیان کنید.

در لامپ رشته‌ای بیشتر انرژی الکتریکی (بیش از ۹۰٪) به گرما (تابش فروسرخ) تبدیل می‌شود و فقط کسر کوچکی نور مرئی تولید می‌کند. در LED بخش بسیار بیشتری از انرژی الکتریکی مستقیماً به نور تبدیل می‌شود و گرمای کمی تولید می‌شود؛ پس برای تولید نور یکسان توان مصرفی P بسیار کمتری لازم است (در این مثال حدود یک‌دهم).

انرژی باتری‌ها ثابت است $(U = Pt)$ ؛ پس $t = U/P$ و وقتی توان مصرفی ۱۰ برابر کمتر باشد، زمان کارکرد ۱۰ برابر (۳۰ ساعت به جای ۳ ساعت) می‌شود.

با توجه به قانون ژول (فعالیت ۷-۲) و تعریف نیروی محرکه الکتریکی، برای یک حلقه ساده، شامل یک باتری و یک مقاومت نشان دهید که قاعده حلقه یا قانون ولتاژها چیزی جز پایستگی انرژی نیست.

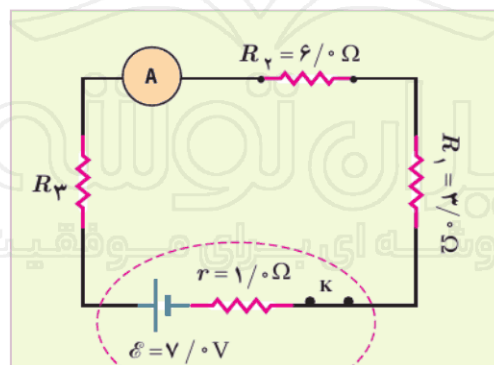
در بازه زمانی Δt بار $\Delta q = I\Delta t$ از باتری می‌گذرد. طبق تعریف نیروی محرکه $(\mathcal{E} = \Delta W / \Delta q)$ ، باتری روی این بار کار $\Delta W = \mathcal{E}\Delta q = \mathcal{E}I\Delta t$ انجام می‌دهد؛ یعنی انرژی تأمین شده توسط باتری.

طبق قانون ژول، انرژی تلف شده (گرمای تولیدشده) در مقاومت R برابر $RI^2\Delta t$ است.

$$\text{پایستگی انرژی: انرژی داده شده به مدار} = \text{انرژی مصرف شده در مدار} \quad \mathcal{E}I\Delta t = RI^2\Delta t \Rightarrow \mathcal{E} = IR \Rightarrow \mathcal{E} - IR = 0.$$

این همان قاعده حلقه است (جمع جبری اختلاف پتانسیل‌ها در یک دور کامل برابر صفر است). اگر باتری مقاومت درونی r هم داشته باشد: $\mathcal{E}I\Delta t = (R + r)I^2\Delta t \Rightarrow \mathcal{E} - Ir - IR = 0$.

در شکل روبه‌رو، سه مقاومت به همراه یک آمپرسنج به صورت متوالی به یک باتری وصل شده‌اند و مقاومت آمپرسنج صفر است (آمپرسنج آرمانی). اگر مقاومت معادل مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 برابر با 13.0Ω باشد، الف) مقاومت R_3 چقدر است؟ ب) جریانی را که آمپرسنج نشان می‌دهد به دست آورید. پ) نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 در مدار برابر است.



داده‌ها (از شکل): $r = 1.0\Omega$ ، $\mathcal{E} = 7.0\text{ V}$ ، $R_2 = 6.0\Omega$ ، $R_1 = 3.0\Omega$

الف) $R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + R_3 \Rightarrow 13.0 = 3.0 + 6.0 + R_3 \Rightarrow R_3 = 4.0\Omega$

ب) با قاعده حلقه: $I = \mathcal{E} / (R_{\text{eq}} + r) = 7.0\text{ V} / (13.0\Omega + 1.0\Omega) = 0.50\text{ A}$

پ) توان خروجی باتری: $P = \mathcal{E}I - rI^2 = (7.0)(0.50) - (1.0)(0.50)^2 = 3.5 - 0.25 = 3.25\text{ W}$

مجموع توان‌های مصرفی: $R_1I^2 + R_2I^2 + R_3I^2 = (3.0 + 6.0 + 4.0)(0.50)^2 = 13.0 \times 0.25 = 3.25\text{ W}$

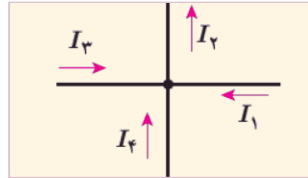
دو مقدار برابرند؛ یعنی P _ خروجی $= P_1 + P_2 + P_3 = 3.25 \text{ W}$.

پرسش

صفحه ۷۲

۷۷

برای نقطه انشعاب نشان داده شده در شکل، رابطه بین جریان‌ها را بنویسید.



بنا بر قاعده انشعاب، مجموع جریان‌های وارد شونده به نقطه انشعاب برابر مجموع جریان‌های خارج شونده از آن است. در شکل، I_1 و I_2 (پیکان‌های صورتی) به سمت نقطه وارد می‌شوند و I_3 و I_4 از آن خارج می‌شوند؛ بنابراین:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

فعالیت

صفحه ۷۳

۷۸

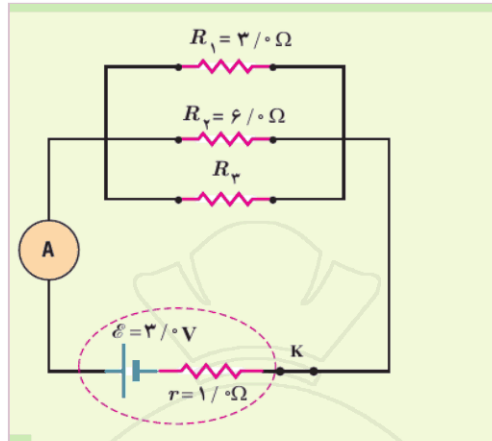
مداری مانند مدار مثال ۱۲-۲ ببندید و در هر شاخه آن، یک آمپرسنج قرار دهید. با خواندن آمپرسنج‌ها، رابطه بین جریان‌ها را بررسی کنید.

اگر آمپرسنج‌ها جریان I (جریان کل، در شاخه اصلی)، I_1 (در R_1) و I_2 (در R_2) را نشان دهند، خواهیم دید که عدد آمپرسنج شاخه اصلی برابر مجموع عددهای آمپرسنج‌های دو شاخه دیگر است:

$$I = I_1 + I_2$$

نمونه (مثال ۱۲-۲، $I_1 = 3.0 \text{ A}$ ، $I_2 = 2.0 \text{ A}$ ، $\mathcal{E} = 12 \text{ V}$ ، $I = 5.0 \text{ A}$. این نتیجه همان قاعده انشعاب (پایستگی بار) است. همچنین چون ولتاژ دو سر هر دو مقاومت یکسان (برابر $\mathcal{E}$) است، جریان در مقاومت کوچک‌تر بیشتر است. $(I_1 R_1 = I_2 R_2)$ است.

در شکل روبه‌رو سه مقاومت موازی به همراه یک آمپرسنج آرمانی به دو سر یک باتری وصل شده‌اند. اگر مقاومت معادل این ترکیب 1.6Ω باشد، الف) مقاومت R_3 چقدر است؟ ب) جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد را به دست آورید. پ) نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 برابر است.



داده‌ها (از شکل): $R_{eq} = 1.6\Omega$ ، $r = 1.0\Omega$ ، $\varepsilon = 3.0\text{ V}$ ، $R_2 = 6.0\Omega$ ، $R_1 = 3.0\Omega$

الف) $1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \Rightarrow 1/1.6 = 1/3.0 + 1/6.0 + 1/R_3 \Rightarrow 1/R_3 = 0.625 - 0.333 - 0.167 = 0.125\Omega^{-1} \Rightarrow R_3 = 8.0\Omega$

ب) $I = \varepsilon / (R_{eq} + r) = 3.0\text{ V} / (1.6\Omega + 1.0\Omega) \approx 1.15\text{ A}$

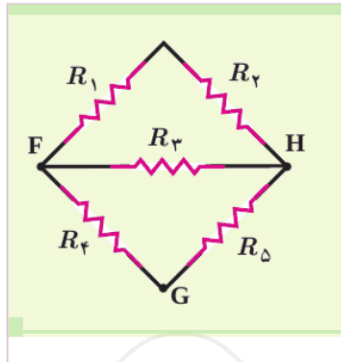
پ) توان خروجی باتری: $P = \varepsilon I - rI^2 = (3.0)(1.154) - (1.0)(1.154)^2 \approx 3.46 - 1.33 = 2.13\text{ W}$

ولتاژ دو سر ترکیب: $V = I \cdot R_{eq} = (1.154)(1.6) = 1.846\text{ V}$ ؛ جریانی‌ها: $I_3 = 0.231\text{ A}$ ، $I_2 = 0.308\text{ A}$ ، $I_1 = 0.615\text{ A}$

توان‌های مصرفی: $V^2/R_1 + V^2/R_2 + V^2/R_3 = 1.136 + 0.568 + 0.426 \approx 2.13\text{ W}$

دو مقدار برابرند: $P_{خروجی} = P_1 + P_2 + P_3 \approx 2.13\text{ W}$

شکل روبه‌رو پنج مقاومت ۸/۰۰ اهمی را نشان می‌دهد. الف) مقاومت معادل بین نقطه‌های F و H چقدر است؟ ب) مقاومت معادل بین نقطه‌های F و G چقدر است؟



الف) بین F و H سه شاخه موازی وجود دارد: $R_3 = 8 \Omega$ ، شاخه $R_1 + R_2 = 16 \Omega$ و شاخه $R_4 + R_5 = 16 \Omega$

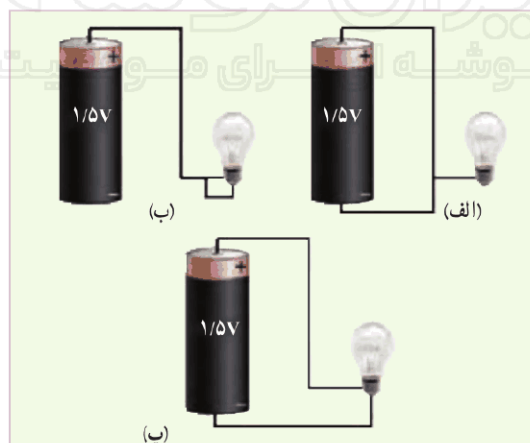
$$1/R_{FH} = 1/8 + 1/16 + 1/16 = 4/16 \Rightarrow R_{FH} = 4.00 \Omega$$

ب) بین F و G، مقاومت $R_4 = 8 \Omega$ مستقیماً وصل است و شاخه دیگر چنین است: $[R_1 + R_2 = 16 \Omega]$ موازی با $R_3 = 8 \Omega$ (بین F و H)، که با $R_5 = 8 \Omega$ (بین H و G) متوالی است:

$$R_{12} \parallel R_3 = (16 \times 8) / (16 + 8) = 5.33 \Omega \Rightarrow$$

$$1/R_{FG} = 1/8 + 1/13.33 = 0.125 + 0.075 = 0.200 \Omega^{-1} \Rightarrow R_{FG} = 5.00 \Omega$$

در کدام یک از شکل‌های زیر، لامپ روشن می‌شود؟



برای روشن شدن لامپ باید مداری کامل از پایانه مثبت باتری به یک تماس لامپ (ته یا پیچ کناری) و از تماس دیگر لامپ به پایانه منفی باتری وجود داشته باشد.

- شکل (الف): سیم پایانه مثبت را مستقیماً به پایانه منفی وصل کرده است (اتصال کوتاه) و لامپ فقط به یک سیم متصل است؛ مدار لامپ کامل نیست و روشن نمی‌شود.
- شکل (ب): هر دو تماس لامپ به یک سیم (پایانه مثبت) وصل شده‌اند و پایانه منفی به جایی وصل نیست؛ جریانی برقرار نمی‌شود.
- شکل (پ): یک سیم پایانه مثبت را به پیچ کنار لامپ و سیم دیگر ته لامپ را به پایانه منفی وصل کرده است؛ مدار بسته می‌شود.

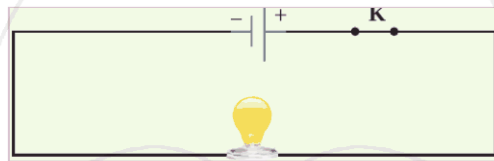
پاسخ: فقط در شکل (پ) لامپ روشن می‌شود.

مسئله

صفحه ۷۹

۸۲

در مدار شکل زیر اختلاف پتانسیل دو سر لامپ 4.0V و مقاومت آن 5.0Ω است. در مدت ۵ دقیقه چه تعداد الکترون از لامپ می‌گذرد؟



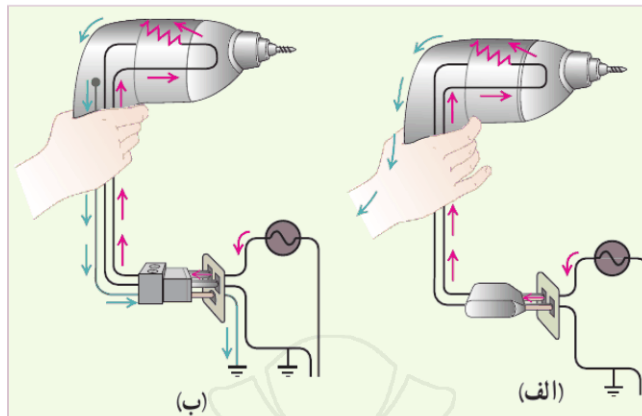
$$I = V / R = 4.0\text{V} \div 5.0\Omega = 0.80\text{A}$$

$$\Delta t = 5\text{min} = 300\text{s} \Rightarrow \Delta q = I \cdot \Delta t = (0.80\text{A})(300\text{s}) = 240\text{C}$$

$$N = \Delta q / e = 240\text{C} \div (1.6 \times 10^{-19}\text{C}) = 1.5 \times 10^{21}$$

تعداد الکترون‌ها $1.5 \times 10^{21} \approx$ است.

بررسی کنید اگر متۀ برقی (دریل) معیوب شکل‌های زیر را با دوشاخه (شکل الف) یا سه‌شاخه (شکل ب) به پریز وصل کنیم، چه رخ می‌دهد؟



فرض کنیم عیب دریل این است که سیم فاز (سیم حامل ولتاژ) از عایق خارج شده و با بدنه فلزی دریل تماس پیدا کرده است.

- شکل (الف) دوشاخه: سیم اتصال زمین وجود ندارد. بدنه فلزی دریل هم‌پتانسیل با سیم فاز (حدود ۲۲۰ V نسبت به زمین) می‌شود و راه فرار جریانی نیست. اگر شخصی که روی زمین ایستاده بدنه را لمس کند، جریان از بدن او به زمین می‌گذرد و دچار برق‌گرفتگی (شوک الکتریکی خطرناک) می‌شود.
- شکل (ب) سه‌شاخه: بدنه از طریق سیم سبز (ارت) به زمین وصل است. مقاومت این مسیر بسیار کم است؛ جریان زیادی از سیم فاز به زمین می‌گذرد و فیوز یا کلید خودکار را قطع می‌کند. همچنین بدنه تقریباً هم‌پتانسیل با زمین می‌ماند، پس لمس آن خطری ندارد.

آذرخش مثالی جالب از جریان در پدیده‌های طبیعی است. در یک آذرخش نوعی $1.0 \times 10^9 \text{ J}$ انرژی تحت اختلاف پتانسیل $5.0 \times 10^7 \text{ V}$ در بازۀ زمانی 0.20 s آزاد می‌شود. با استفاده از این اطلاعات الف) مقدار بار کل منتقل‌شده بین ابر و زمین، ب) جریان متوسط در یک بورش آذرخش و پ) توان الکتریکی آزادشده در 0.20 s را به‌دست آورید.

$$W = q\Delta V \Rightarrow q = W / \Delta V = 1.0 \times 10^9 \text{ J} \div 5.0 \times 10^7 \text{ V} = 20 \text{ C} \quad \text{الف)}$$

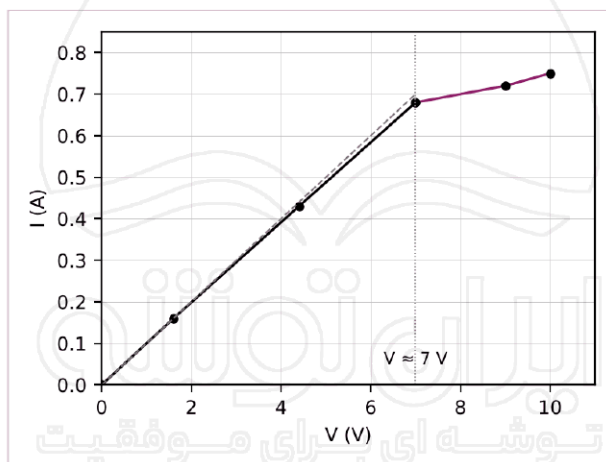
$$I = \Delta q / \Delta t = 20 \text{ C} \div 0.20 \text{ s} = 1.0 \times 10^2 \text{ A} \quad \text{ب) (۱۰۰ آمپر)}$$

$$P = I\Delta V = (100 \text{ A})(5.0 \times 10^7 \text{ V}) = 5.0 \times 10^9 \text{ W} \quad \text{یا} \quad P = W / \Delta t = 1.0 \times 10^9 \text{ J} \div 0.20 \text{ s} = 5.0 \times 10^9 \text{ W} \quad \text{پ)}$$

در آزمایش تحقیق قانون اهم، نتایج جدول زیر به دست آمده است.
نمودار ولتاژ بر حسب جریان را رسم کنید و با فرض ثابت دما تعیین کنید در چه محدوده‌ای رفتار این مقاومت از قانون اهم پیروی می‌کند.

داده‌های آزمایش و مقاومت محاسبه شده

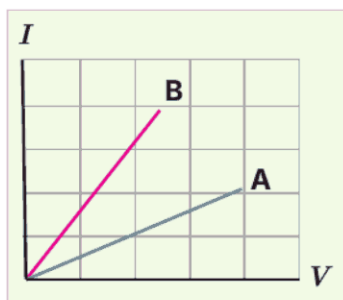
شماره آزمایش	عدد ولت سنج (V)	عدد آمپرسنج (A)	$R = V/I (\Omega)$
۱	۰	۰	—
۲	۱/۶	۰/۱۶	۱۰/۰
۳	۴/۴	۰/۴۳	۱۰/۲
۴	۷/۰	۰/۶۸	۱۰/۳
۵	۹/۰	۰/۷۲	۱۲/۵
۶	۱۰/۰	۰/۷۵	۱۳/۳



(برای نمایش نمودار ولتاژ بر حسب جریان، محورهای را جابه‌جا کنید؛ شیب نمودار $I-V$ برابر R است).
تا حدود $V = 7\text{ V}$ ($I \approx 0.68\text{ A}$) نقطه‌ها تقریباً روی یک خط راست از مبدأ قرار دارند و $R \approx 10\ \Omega$ ثابت است؛ یعنی مقاومت از قانون اهم پیروی می‌کند. پس از آن، نمودار خمیده می‌شود (R از 10 تا $13.3\ \Omega$ افزایش می‌یابد؛ مثلاً به علت گرم شدن رسانا) و قانون اهم دیگر برقرار نیست.

محدوده رفتار اهمی: از ۰ تا حدود ۷ V (جریان تا حدود ۰.۷ A).

شکل زیر نمودار $I-V$ را برای دو رسانای A و B نشان می‌دهد. مقاومت کدام یک بیشتر است؟ چرا؟



در نمودار I بر حسب V ، شیب خط برابر $I/V = 1/R$ است. شیب خط B بیشتر از شیب خط A است؛ پس مقاومت B کمتر است.

مقاومت رسانای A بیشتر است؛ زیرا به ازای یک ولتاژ یکسان جریان کمتری از آن می‌گذرد. ($R = V/I$)

دو رسانای فلزی از یک ماده ساخته شده‌اند و طول یکسانی دارند. رسانای A سیم توپری به قطر 1.0 mm است. رسانای B لوله توخالی به شعاع خارجی 2.0 mm و شعاع داخلی 1.0 mm است. مقاومت رسانای A چند برابر مقاومت رسانای B است؟

$$R = \rho L / A \quad \text{و} \quad \rho \text{ و } L \text{ یکسان‌اند؛ پس} \quad R_A / R_B = A_B / A_A$$

$$A_A = \pi (0.50 \text{ mm})^2 = 0.25\pi \text{ mm}^2 \quad (\text{شعاع } A \text{ برابر } 0.50 \text{ mm} \text{ است})$$

$$A_B = \pi (r_2^2 - r_1^2) = \pi [(2.0)^2 - (1.0)^2] \text{ mm}^2 = 3.0\pi \text{ mm}^2$$

$$R_A / R_B = 3.0\pi \div 0.25\pi = 12$$

مقاومت رسانای A، ۱۲ برابر مقاومت رسانای B است.

در ماشین‌های چمن‌زنی برقی برای مسافت‌های حداکثر تا 35 m از سیم‌های مسی نمره ۲۰ (قطر 0.08 cm) و برای مسافت‌های طولانی‌تر از سیم‌های ضخیم‌تر نمره ۱۶ (قطر 0.13 cm) استفاده می‌کنند تا بدین ترتیب مقاومت سیم را تا آنجا که ممکن است کوچک نگه دارند. الف) مقاومت یک سیم ۳۰ متری ماشین چمن‌زنی چقدر است؟ ب) مقاومت یک سیم ۷۰ متری ماشین چمن‌زنی چقدر است؟ (دمای سیم‌ها را 20°C در نظر بگیرید.)

مقاومت ویژه مس در 20°C (جدول ۲۲-): $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ و $A = \pi d^2/4$. $R = \rho L/A$

$$d = 0.08 \text{ cm} = 8 \times 10^{-4} \text{ m} \Rightarrow A = \pi(8 \times 10^{-4})^2/4 = 5.03 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ (الف)}$$

$$R = (1.7 \times 10^{-8})(30) \div (5.03 \times 10^{-7}) \approx 1.0 \Omega$$

$$d = 0.13 \text{ cm} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow A = \pi(1.3 \times 10^{-3})^2/4 = 1.33 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (ب)}$$

$$R = (1.7 \times 10^{-8})(70) \div (1.33 \times 10^{-6}) \approx 0.90 \Omega$$

مقاومت رشته درونی یک برشته‌کن که از جنس نیکروم است، در حالت روشن (دمای 1200°C) برابر 44Ω است. مقاومت این رشته در دمای 20°C چقدر است؟ (از تغییر طول و قطر رشته در اثر تغییر دما چشم‌پوشی شود.)

ضریب دمایی مقاومت ویژه نیکروم (جدول ۲۲-): $\alpha = 4.0 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ با $R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$ و $\Delta T = 1200 - 20 = 1180^{\circ}\text{C}$:

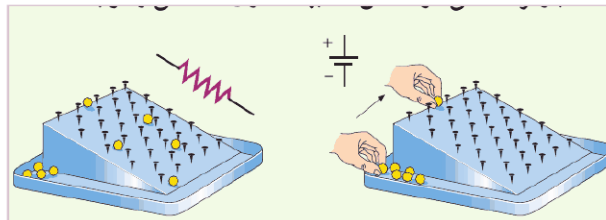
$$20 = 1180^{\circ}\text{C}:$$

$$44 = R_0[1 + (4.0 \times 10^{-4})(1180)] = R_0(1.472)$$

$$R_0 = 44 \Omega \div 1.472 \approx 29.9 \Omega$$

مقاومت رشته در 20°C حدود 30Ω است.

شکل زیر یک مشابهت‌سازی مکانیکی برای درک مقاومت و نیروی محرکه را نشان می‌دهد که در آن بر سطح شیب‌داری میخ‌هایی تعبیه شده و تپه‌ها از ارتفاع بالای سطح شیب‌دار رها می‌شوند و سپس دوباره به بالای سطح شیب‌دار بازگردانده می‌شوند. این مشابهت‌سازی مکانیکی را توجیه کنید.



- سطح شیب‌دار ← مقاومت: تپه‌ها هنگام پایین آمدن به میخ‌ها برخورد می‌کنند و بخشی از انرژی پتانسیل گرانشی خود را به گرما (و صوت) تبدیل می‌کنند؛ همچون حامل‌های بار که در برخورد با اتم‌های مقاومت انرژی خود را از دست می‌دهند و پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد (افت پتانسیل، IR).
- دست (شخصی که تپه‌ها را بالا می‌برد) ← باتری (نیروی محرکه): کار انجام می‌دهد و تپه‌ها را از پایین به بالای سطح بازمی‌گرداند؛ همچون باتری که به هر بار الکتریکی انرژی می‌دهد و آن را از پایانه با پتانسیل کم به پایانه با پتانسیل زیاد می‌برد. $(\mathcal{E} = \Delta W / \Delta q)$
- ارتفاع ← اختلاف پتانسیل؛ شارش تپه‌ها (تعداد در ثانیه) ← جریان الکتریکی؛ مسیر بسته ← مدار بسته. در حالت پایا، انرژی داده‌شده توسط دست (باتری) برابر انرژی تلف‌شده در برخورد با میخ‌ها (مقاومت) است؛ این همان پایستگی انرژی و قاعده حلقه است.

اختلاف پتانسیل دو سر باتری خودروهای سواری برابر ۱۲ ولت است. اگر هشت باتری قلمی ۱/۵ ولتی را به طور متوالی به یکدیگر وصل کنیم، اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه آنها نیز برابر ۱۲ ولت می‌شود. توضیح دهید چرا در خودروها به جای باتری خودرو از هشت باتری قلمی استفاده نمی‌شود.

- نیروی محرکه هشت باتری متوالی $12\text{ V} = 8 \times 1.5$ می‌شود، ولی راه‌اندازی موتور استارت خودرو به جریان بسیار زیاد (صدها آمپر) نیاز دارد. باتری‌های قلمی:
- مقاومت درونی بزرگ (حدود چند دهم تا یک اهم برای هر کدام) دارند؛ مقاومت درونی مجموعه‌ی متوالی $r = r_1 + \dots + r_8$ جمع می‌شود و افت ولتاژ Ir در آنها بسیار زیاد می‌شود، به طوری که ولتاژ مفید دو سر موتور بسیار کم می‌شود و جریان کافی نمی‌گذرد؛
- ظرفیت (آمپر - ساعت) بسیار کمی دارند (حدود ۱ تا ۲ Ah در برابر ۵۰ Ah یا بیشتر) و در جریان زیاد به سرعت تخلیه یا داغ می‌شوند.

باتری خودرو مقاومت درونی بسیار کوچک (حدود چند میلی‌اُهم) و ظرفیت بالا دارد و می‌تواند جریان‌های بزرگ را بدون افت ولتاژ قابل توجه فراهم کند.

مسئله

صفحه ۸۰

۹۲

یک باتری را در نظر بگیرید که وقتی به مدار بسته نیست اختلاف پتانسیل دو سرش برابر ۱۲.۰V است. وقتی یک مقاومت 10.0Ω به این باتری بسته شود، اختلاف پتانسیل دو سر باتری به ۱۰.۹V کاهش می‌یابد. مقاومت داخلی باتری چقدر است؟

وقتی مدار باز است: $\mathcal{E} = 12.0\text{ V}$ با بسته شدن مقاومت $V = 10.9\text{ V}$; $R = 10.0\Omega$; پس جریان:

$$I = V / R = 10.9\text{ V} \div 10.0\Omega = 1.09\text{ A}$$

$$V = \mathcal{E} - Ir \Rightarrow r = (\mathcal{E} - V) / I = (12.0 - 10.9)\text{ V} \div 1.09\text{ A} \approx 1.0\Omega$$

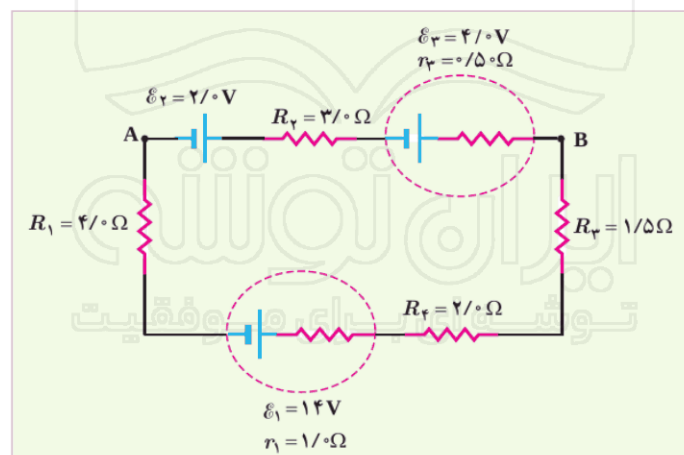
مقاومت داخلی باتری $1.0\Omega \approx$ است.

مسئله

صفحه ۸۰

۹۳

در مدار شکل زیر جریان در مدار و اختلاف پتانسیل بین دو نقطه A و B ($V_B - V_A$) را محاسبه کنید.



از شکل: $R_4, R_3 = 1.5\Omega, R_2 = 3.0\Omega, R_1 = 4.0\Omega, \mathcal{E}_3 = 4.0\text{ V} (r_3 = 0.50\Omega), \mathcal{E}_2 = 2.0\text{ V}, \mathcal{E}_1 = 14\text{ V} (r_1 = 1.0\Omega)$. پایانه مثبت هر سه باتری (خط بلندتر) سمت راست آنهاست.

جهت ساعت‌گرد را در نظر می‌گیریم. در بالا (از A به B) باتری‌های $\mathcal{E}_2$ و $\mathcal{E}_3$ از پایانه منفی به مثبت پیموده می‌شوند ($+$ و $+$) و در پایین (از راست به چپ) باتری $\mathcal{E}_1$ از مثبت به منفی ($-$). مجموع $\mathcal{E} = 2.0 + 4.0 - 14$ -8.0 V ؛ علامت منفی یعنی جریان پادساعت‌گرد است ($\mathcal{E}_1$ غالب است).

$$\text{قاعده حلقه (پادساعت‌گرد): } 14 - 2.0 - 4.0 - I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + r_1 + r_3) = 0$$

به A) $I = 8.0 \text{ V} \div (4.0 + 3.0 + 1.5 + 2.0 + 1.0 + 0.50) \Omega = 8.0 \div 12 \approx 0.67 \text{ A}$ (پادساعت‌گرد: در شاخهٔ بالا از B به

$V_B - V_A$ از A به B در شاخهٔ بالا حرکت می‌کنیم (خلاف جهت جریان، پس افت‌ها به صورت افزایش‌اند):

$$V_B - V_A = \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + I(R_2 + r_3) = 2.0 + 4.0 + (0.667)(3.0 + 0.50) = 6.0 + 2.33 \approx 8.3 \text{ V}$$

(راستی‌آزمایی از مسیر پایین: $-IR_1 - IR_4 + \varepsilon_1 - Ir_1 - IR_3 = -2.67 - 1.33 + 14 - 0.67 - 1.0 = 8.33 \text{ V} \checkmark$)

$$V_B - V_A \approx 8.3 \text{ V. و } I \approx 0.67 \text{ A}$$

مسئله

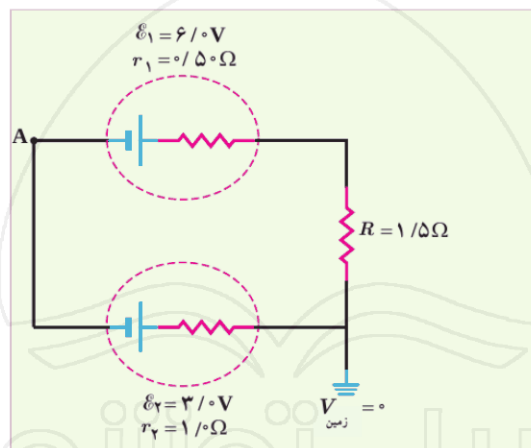
صفحه ۸۰

۹۴

در شکل زیر

الف) اختلاف پتانسیل دو سر منابع نیروی محرکه را بدست آورید.

ب) پتانسیل نقطهٔ A را تعیین کنید.



از شکل: $R = 1.5 \Omega$ ، $\varepsilon_2 = 3.0 \text{ V}$ ($r_2 = 1.0 \Omega$)، $\varepsilon_1 = 6.0 \text{ V}$ ($r_1 = 0.50 \Omega$)؛ پایهٔ مثبت هر دو باتری سمت راست است. مدار یک حلقه است: $A \leftarrow \varepsilon_1 \leftarrow R \leftarrow \varepsilon_2 \leftarrow A$ (زمین). ε_1 باتری ε_2 را از A به سمت R می‌راند و ε_2 در خلاف جهت آن قرار دارد.

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - I(r_1 + R + r_2) = 0 \Rightarrow I = (6.0 - 3.0) \div (0.50 + 1.5 + 1.0) = 3.0 \div 3.0 = 1.0 \text{ A}$$

$$\Delta V_1 = \varepsilon_1 - Ir_1 = 6.0 - (1.0)(0.50) = 5.5 \text{ V}$$

الف) ε_1 (جریان از پایهٔ مثبت خارج می‌شود):

$$\Delta V_2 = \varepsilon_2 + Ir_2 = 3.0 + (1.0)(1.0) = 4.0 \text{ V}$$

ب) پتانسیل زمین صفر است. در شاخهٔ پایین، $V_{\text{زمین}} = V_A = \varepsilon_2 + Ir_2 = 4.0 \text{ V}$ ؛ بنابراین $V_A = 0 - 4.0 = -4.0 \text{ V}$.

(راستی‌آزمایی: $V_R = IR = 1.5 \text{ V}$ بالای R نسبت به زمین؛ $V_A = 1.5 - 5.5 = -4.0 \text{ V} \checkmark$)

$$V_A = -4.0V$$

این فایل توسط سایت ایران توشه تهیه شده است.

irantooshe.ir



۹۵

صفحه ۸۰

مسئله

دو لامپ رشته‌ای در اختیار داریم که جنس و طول رشته آنها یکسان است، ولی رشته لامپ B ضخیم‌تر از رشته لامپ A است. وقتی لامپ‌ها به ولتاژ یکسانی وصل شوند، کدام لامپ پرنورتر خواهد بود و چرا؟

$R = \rho L/A$ با ρ و L یکسان، رشته ضخیم‌تر سطح مقطع بزرگ‌تر و مقاومت کمتری دارد؛ پس $R_B < R_A$.

توان مصرفی در ولتاژ یکسان $P = V^2/R$ است؛ پس $P_B > P_A$.

لامپ B (با رشته ضخیم‌تر) پرنورتر است؛ چون مقاومت کمتر، جریان و توان مصرفی بیشتری دارد.

۹۶

صفحه ۸۰

مسئله

بر روی وسیله‌های الکتریکی، اعداد مربوط به ولتاژ و توان نوشته می‌شود. برای دو وسیله زیر، الف) سیم‌های اتصال به برق آنها باید بتواند حداقل چه جریانی را از خود عبور دهد؟ ب) مقاومت الکتریکی هر وسیله در حالت روشن چقدر است؟



از شکل: اتو برقی ۸۵۰ W، ۲۲۰ V و کتری برقی ۲۴۰۰ W، ۲۲۰ V از $P = IV$ و $P = V^2/R$:

وسيله	الف) $I = P/V$	ب) $R = V^2/P$
اتو برقی	$850 \div 220 \approx 3.9 \text{ A}$	$(220)^2 \div 850 \approx 57 \Omega$
کتری برقی	$2400 \div 220 \approx 10.9 \text{ A}$	$(220)^2 \div 2400 \approx 20 \Omega$

بنابراین سیم اتو باید دست‌کم ۳.۹ A و سیم کتری دست‌کم ۱۰.۹ A (حدود ۱۱ آمپر) را تحمل کند.

لامپ یک چراغ قوه معمولی با ولتاژ ۲.۹۷V کار می‌کند و در این حالت توان مصرفی آن ۰.۸۷W می‌شود. اگر مقاومت رشته تنگستنی این لامپ در دمای اتاق (20°C) برابر 1.1Ω باشد، دمای این رشته وقتی که لامپ روشن است، چقدر می‌شود؟

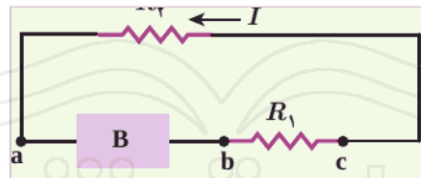
$$R = V^2/P = (2.97)^2 \div 0.87 \approx 10.1 \Omega \text{ : مقاومت در حالت روشن}$$

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]: \alpha = 4.5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \text{ (جدول ۲۲-):}$$

$$10.1 = 1.1[1 + 4.5 \times 10^{-3}(T - 20)] \Rightarrow T - 20 = (9.22 - 1) \div 4.5 \times 10^{-3} \approx 1.83 \times 10^3$$

$$T \approx 1.85 \times 10^3 ^{\circ}\text{C} \text{ (حدود } 1850 \text{ درجه سلسیوس)}$$

شکل زیر جریان را در یک مدار تک حلقه‌ای با باتری B و مقاومت‌های R_1 و R_2 (و سیم‌هایی با مقاومت ناچیز) نشان می‌دهد. الف) علامت پایانه‌های باتری B را مشخص کنید. در نقاط a، b و c، بزرگی جریان، پتانسیل الکتریکی و ت انرژي پتانسیل الکتریکی حامل‌های بار مثبت را به گونه‌ای مرتب کنید که بیشترین مقدار در ابتدا باشد.



جریان در شاخه بالا از راست به چپ است؛ پس در مدار پادساعت‌گرد است و از باتری از نقطه a به سمت نقطه b می‌گذرد، سپس از b به c (از R_1) و از c به a (از R_2) به ا برمی‌گردد.

الف) درون باتری جریان از پایانه منفی به مثبت می‌رود؛ جریان از a وارد و از b خارج می‌شود. پس پایانه a منفی (-) و پایانه b مثبت (+) است.

ب) مدار تک حلقه‌ای است و در همه نقطه‌ها جریان یکسان است: $I_a = I_b = I_c$.

پ) جریان در مقاومت‌ها از پتانسیل بیشتر به کمتر است: b (پایانه مثبت)، سپس با گذشتن از R_1 به c و بعد

با گذشتن از R_2 به a. بنابراین $V_b > V_c > V_a$.

ت) $U = qV$ و q مثبت است؛ پس ترتیب انرژی پتانسیل همان ترتیب پتانسیل است: $U_b > U_c > U_a$.

تلویزیون و یکی از لامپ‌های خانه خود را در نظر بگیرید و فرض کنید که هرکدام روزی ۸ ساعت با اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولت روشن باشد.

الف) انرژی الکتریکی مصرفی هرکدام در یک دوره یک ماهه (۳۰ روز) چند kWh است؟ (توان مصرفی هر وسیله را از روی آن بخوانید.)

ب) بهای برق مصرفی هر کدام از قرار هر کیلووات ساعت ۵۰ تومان در یک دوره یک ماهه چقدر می‌شود؟

پ) اگر در شهر شما هر خانه یک لامپ ۱۰۰ وات اضافی را به مدت ۳ ساعت در شب روشن کند، در طول یک ماه تقریباً چند کیلووات ساعت انرژی الکتریکی اضافی مصرف می‌شود؟

فرض (نمونه): توان تلویزیون روی برچسب ۱۰۰ W و توان لامپ ۶۰ W. انرژی $U = Pt$.

$$U = (0.100 \text{ kW})(8 \text{ h} \times 30) = 0.100 \times 240 = 24 \text{ kWh} \quad \text{الف) تلویزیون:}$$

$$U = (0.060 \text{ kW})(240 \text{ h}) = 14.4 \text{ kWh} \quad \text{لامپ:}$$

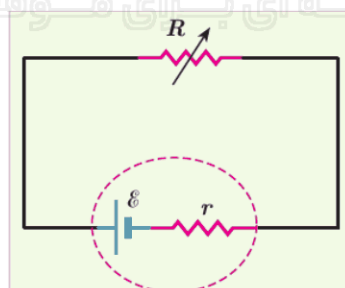
ب) تلویزیون: $24 \text{ kWh} \times 50 = 1200$ تومان؛ لامپ: $14.4 \times 50 = 720$ تومان.

پ) برای هر خانه: $U = (0.100 \text{ kW})(3 \text{ h} \times 30) = 9.0 \text{ kWh}$. اگر شهر مثلاً ۱ میلیون خانه داشته باشد: $9.0 \times 10^6 \text{ kWh}$ (حدود ۹ میلیون کیلووات ساعت) انرژی اضافی در ماه مصرف می‌شود.

این جواب ممکن است دقیق نباشد.

در شکل زیر، الف) نیروی محرکه منبع را و مقاومت داخلی آن که توان خروجی آن به ازای $I_1 = 5.00 \text{ A}$ برابر 9.50 W و به ازای $I_2 = 7.00 \text{ A}$ برابر 12.6 W است، محاسبه کنید.

ب) نمودار اختلاف پتانسیل دو سر باتری برحسب جریان گذرنده از آن را رسم کنید.



$$\text{الف) } P_{\text{خروجی}} = \varepsilon I - rI^2 =$$

$$(1) \quad 9.50 = \varepsilon(5.00) - r(25.0) \quad \text{و} \quad (2) \quad 12.6 = \varepsilon(7.00) - r(49.0)$$

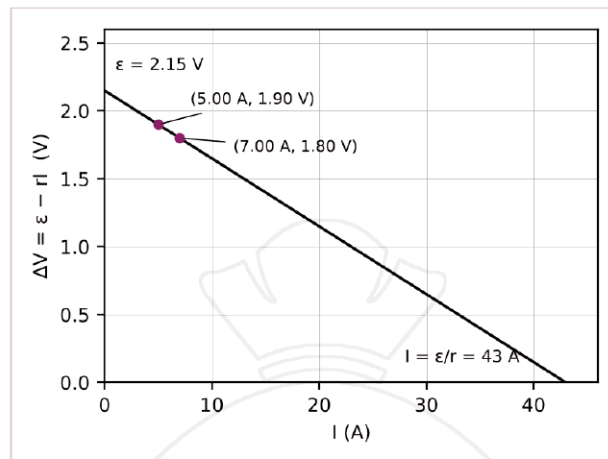
$$\text{از} \quad 5.00r. \quad + \quad 1.90 \quad = \quad \varepsilon \quad (1): \quad \text{جایگزینی} \quad \text{در}$$

$$(2): \quad 12.6 = 7.00(1.90 + 5.00r) - 49.0r = 13.3 - 14.0r \Rightarrow r = 0.050 \, \Omega$$

$$\varepsilon = 1.90 + 5.00(0.050) = 2.15 \text{ V}$$

$$r = 0.050 \, \Omega \text{ و } \varepsilon = 2.15 \text{ V}$$

ب) اختلاف پتانسیل دو سر باتری $\Delta V = \varepsilon - rI = 2.15 - 0.050 I$ است؛ نمودار یک خط راست با عرض از مبدأ 2.15 V و شیب $-r = -0.050 \text{ V/A}$ است (در $I = \varepsilon/r = 43 \text{ A}$ به صفر می‌رسد). مثلاً $\Delta V = 1.90 \text{ V}$ به‌ازای 5.00 A و 1.80 V به‌ازای 7.00 A .



مسئله

صفحه ۸۱

۱۰۱

به نظر شما چرا چراغ‌های خودرو (چراغ‌های جلو، عقب و ...)، به طور موازی بسته می‌شوند؟

در اتصال موازی دو سر هر چراغ مستقیماً به دو پایانه باتری (۱۲ ولت) وصل است و همه ولتاژ کامل را دریافت می‌کنند؛ پس هر چراغ با توان و روشنایی مشخص خودش کار می‌کند. همچنین هر چراغ مسیر مستقل دارد و با کلید جداگانه روشن و خاموش می‌شود و سوختن یا قطع یکی از چراغ‌ها باعث خاموش شدن بقیه نمی‌شود (در اتصال متوالی با قطع یکی، جریان در همه قطع می‌شد و ولتاژ ۱۲ V بین چراغ‌ها تقسیم می‌شد).

مسئله

صفحه ۸۱

۱۰۲

مقاومت یک آمپرسنج برای اندازه‌گیری جریان در یک مدار باید چگونه باشد تا جریان اندازه‌گیری شده توسط آمپرسنج با جریان قبل از قرار دادن آمپرسنج، نزدیک به هم باشد؟

آمپرسنج به صورت متوالی در مدار قرار می‌گیرد و مقاومت معادل مدار را به اندازه R_A افزایش می‌دهد: $I' = \varepsilon / (R_{eq} + R_A + r)$. برای آنکه I' تقریباً برابر $I = \varepsilon / (R_{eq} + r)$ بماند، باید R_A در برابر مقاومت مدار بسیار کوچک باشد.

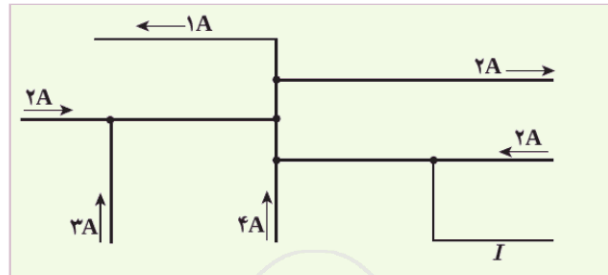
مقاومت آمپرسنج باید بسیار کوچک (در حالت آرمانی صفر) و ناچیز نسبت به مقاومت‌های مدار باشد.

مسئله

صفحه ۸۱

۱۰۳

شکل زیر بخشی از یک مدار را نشان می‌دهد. بزرگی و جهت جریان I در سیم پایین سمت راست چیست؟



قاعدهٔ انشعاب را برای کل بخش مدار به کار می‌بریم: مجموع جریان‌های واردشونده برابر مجموع جریان‌های خارج‌شونده است.

○ واردشونده: $2A$ (از چپ) + $3A$ (از پایین، سمت چپ) + $4A$ (از پایین، وسط) + $2A$ (از راست، رو به چپ) = $11A$

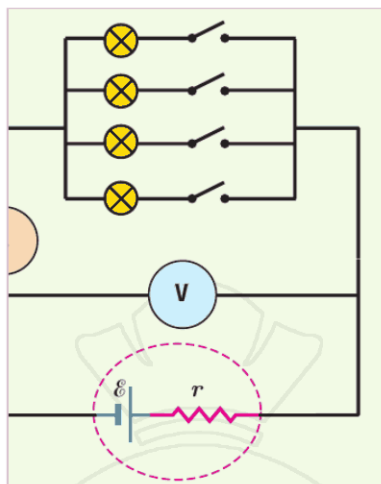
○ خارج‌شونده: $1A$ (بالا، رو به چپ) + $2A$ (بالا، رو به راست) + I

$$11 = 1 + 2 + I \Rightarrow I = 8A$$

(با بررسی گره‌ها: از گرهٔ بالایی $2A$ به راست و $1A$ به چپ خارج می‌شود؛ گرهٔ میانی و گرهٔ پایینی نشان می‌دهد $6A$ از وسط به سمت راست می‌رود و در گرهٔ سمت راست با $2A$ ورودی جمع می‌شود.)

$I = 8A$ و جهت آن به سمت راست (خروج از مدار) است.

در شکل زیر، 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، عده‌هایی که آمپرسنج و ولت سنج نشان می‌دهند، چه تغییری می‌کند؟



- با بستن هر کلید، یک لامپ دیگر به طور موازی به مدار اضافه می‌شود؛ مقاومت معادل لامپ‌ها $(1/R_{eq} = \Sigma)$ کاهش می‌یابد و مقاومت کل مدار $(R_{eq} + r)$ کمتر می‌شود.
- آمپرسنج (جریان کل): $I = \varepsilon / (R_{eq} + r)$ افزایش می‌یابد.
 - ولت سنج (اختلاف پتانسیل دو سر باتری): $V = \varepsilon - Ir$ چون جریان بیشتر می‌شود، افت پتانسیل Ir در مقاومت درونی باتری بیشتر و عدد ولت سنج کمی کاهش می‌یابد.
- (اگر باتری آرمانی بود، $r = 0$ و عدد ولت سنج تغییر نمی‌کرد.)

دو لامپ با مقاومت مساوی R را یک بار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به هم می‌بندیم و آنها را هر بار به ولتاژ V وصل می‌کنیم. نسبت توان مصرف شده در حالت موازی به توان مصرف شده در حالت متوالی چقدر است؟

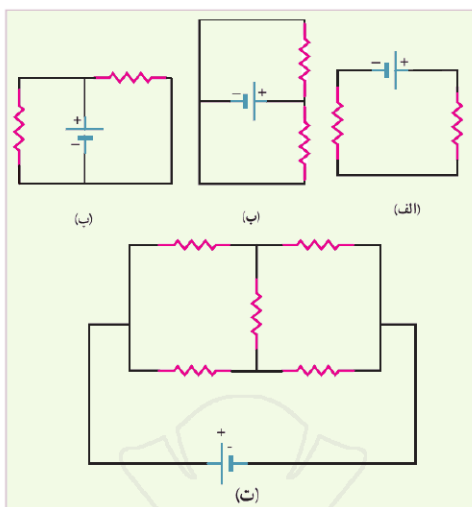
$$\text{متوالی: } R_s = 2R \Rightarrow P_s = V^2 / (2R)$$

$$\text{موازی: } R_p = R/2 \Rightarrow P_p = V^2 / (R/2) = 2V^2 / R$$

$$P_p / P_s = (2V^2 / R) \div (V^2 / 2R) = 4$$

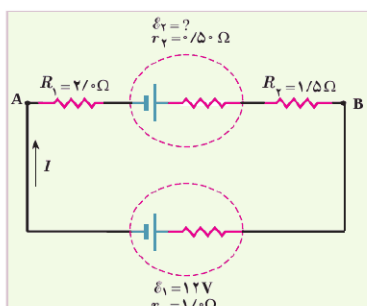
نسبت توان در حالت موازی به توان در حالت متوالی برابر ۴ است.

در شکل‌های صفحه بعد، آیا مقاومت‌ها به طور متوالی بسته شده‌اند یا موازی و یا هیچ کدام؟



- شکل (الف): مقاومت‌ها در یک حلقه ساده پشت سر هم قرار دارند و جریان یکسانی از هر دو می‌گذرد ← متوالی.
- شکل (ب): دو مقاومت یک سرشان به یک گره (پایانه راست باتری) و سر دیگرشان به سیم سمت چپ (پایانه چپ باتری) وصل است؛ ولتاژ دو سر هر دو یکسان است ← موازی.
- شکل (پ): هر دو مقاومت (سمت چپ و بالا-راست) مستقیماً به دو سر باتری وصل‌اند و ولتاژ یکسان دارند ← موازی.
- شکل (ت): پنج مقاومت به صورت پل (چهار مقاومت کناری و یک مقاومت وسط) بسته شده‌اند؛ هیچ دو مقاومتی دقیقاً متوالی یا موازی نیستند ← هیچ کدام (نه متوالی و نه موازی؛ ترکیب پیچیده‌تر).

در مدار شکل زیر جریان در جهت نشان داده شده $1.2A$ است. الف) نیروی محرکه $\mathcal{E}_2$ و $V_A - V_B$ چقدر است؟ ب) انرژی مصرف شده در R_1 و R_2 در مدت $5/0$ ثانیه چقدر است؟



از شکل: $r_1 = 1.0 \Omega$, $\epsilon_1 = 12 \text{ V}$, $r_2 = 0.50 \Omega$, $R_2 = 1.5 \Omega$, $R_1 = 2.0 \Omega$ دو باتری سمت راست است. در بالا (در جهت جریان) از ϵ_2 به + عبور می‌کنیم ($+\epsilon_2$) و در پایین، ϵ_1 از + به - پیموده می‌شود. ($-\epsilon_1$)

الف) قاعده حلقه (در جهت جریان): $\epsilon_2 - \epsilon_1 - I(R_1 + r_2 + R_2 + r_1) = 0$

$$\epsilon_2 = 12 + (1.2)(2.0 + 0.50 + 1.5 + 1.0) = 12 + 6.0 = 18 \text{ V}$$

$$V_B - V_A = -IR_1 + \epsilon_2 - Ir_2 - IR_2 = -2.4 + 18 - 0.6 - 1.8 = 13.2 \text{ V}$$

$$V_A - V_B = -\epsilon_1 - Ir_1 = -12 - 1.2 = -13.2 \text{ V} \quad \checkmark$$

$V_A - V_B = -13.2 \text{ V}$ و $\epsilon_2 = 18 \text{ V}$ (یعنی نقطه B به اندازه 13.2 V پتانسیل بیشتری دارد).

$$U_1 = R_1 I^2 t = (2.0)(1.2)^2(5.0) = 14.4 \text{ J} \quad \text{ب)}$$

$$U_2 = R_2 I^2 t = (1.5)(1.2)^2(5.0) = 10.8 \text{ J} \quad \text{انرژی کل } \approx 25.2 \text{ J}$$

مسئله

صفحه ۸۲

۱۰۸

سه مقاومت مشابه ۱۲ اهمی را یک بار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به یکدیگر می‌بندیم و به اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت وصل می‌کنیم. در هر بار، چه جریانی از هر مقاومت می‌گذرد؟

حالت متوالی: $R_{eq} = 3 \times 12 = 36 \Omega \Rightarrow I = V / R_{eq} = 12 / 36 \approx 0.33 \text{ A}$; این جریان یکسان از هر سه مقاومت می‌گذرد.

حالت موازی: ولتاژ دو سر هر مقاومت ۱۲ V است؛ $I = V / R = 12 / 12 = 1.0 \text{ A}$ از هر مقاومت (جریان کل ۳.۰ A).

متوالی: 0.33 A از هر مقاومت؛ موازی: 1.0 A از هر مقاومت.

مسئله

صفحه ۸۲

۱۰۹

دو مقاومت موازی ۶/۰ اهمی و ۱۲ اهمی به طور متوالی به یک مقاومت ۲/۰ اهمی وصل شده است. اکنون، مجموعه مقاومت‌ها را به دو سر یک باتری آرمانی ۳۶ ولتی می‌بندیم. توان مصرفی در مقاومت ۶/۰ اهمی را محاسبه کنید.

$$R_p = (6.0 \times 12) / (6.0 + 12) = 4.0 \Omega$$

$$R_{eq} = 4.0 + 2.0 = 6.0 \Omega \Rightarrow I = 36 / 6.0 = 6.0 \text{ A}$$

$$V_p = I R_p = (6.0)(4.0) = 24 \text{ V}$$

$$P = V_p^2 / R = (24)^2 \div 6.0 = 96 \text{ W}$$

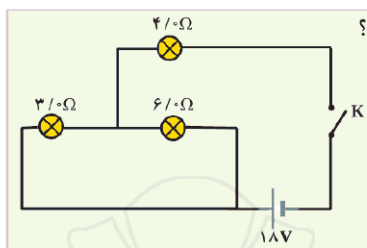
توان مصرفی در مقاومت ۶/۰ اهمی برابر 96 W است.

مسئله

صفحه ۸۲

۱۱۰

در شکل زیر، وقتی کلید بسته شود چه جریانی از هر لامپ رشته‌ای می‌گذرد؟



از شکل: لامپ 4.0 Ω (بالا) با کلید و باتری 18 V متوالی است؛ دو لامپ 3.0 Ω و 6.0 Ω با هم موازی‌اند و این ترکیب با لامپ 4.0 Ω متوالی است.

$$R_p = (3.0 \times 6.0) \div (3.0 + 6.0) = 2.0 \Omega \Rightarrow R_{eq} = 4.0 + 2.0 = 6.0 \Omega$$

$$\text{جریان کل (و جریان لامپ } 4.0 \Omega): I = 18 \text{ V} \div 6.0 \Omega = 3.0 \text{ A}$$

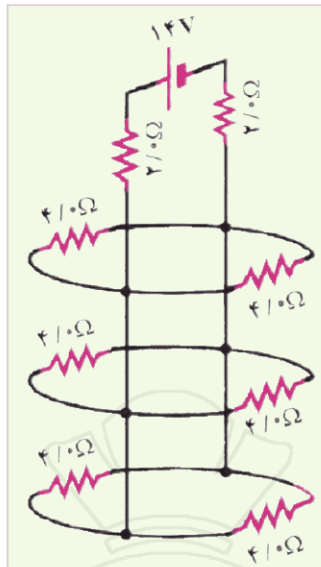
$$\text{ولتاژ دو سر ترکیب موازی: } V = (3.0 \text{ A})(2.0 \Omega) = 6.0 \text{ V؛ بنابراین } I_3 = 6.0 \div 3.0 = 2.0 \text{ A و } I_6 = 6.0 \div 6.0 = 1.0 \text{ A}$$

A.

لامپ 3.0 A: 4.0 Ω؛ لامپ 2.0 A: 3.0 Ω؛ لامپ 1.0 A: 6.0 Ω

ایران توئین
توشه ای برای موفقیت

جریانی که از منبع نیروی محرکه آرمانی و هر یک از مقاومت‌های شکل زیر می‌گذرد، چقدر است؟



در شکل، دو سیم قائم (چپ و راست) از پایین به باتری 14 V (از طریق مقاومت‌های $2.0\ \Omega$ می‌رسند. هر یک از سه حلقه (دایره‌ای) دو سیم قائم را با یک تکه سیم بدون مقاومت به هم وصل کرده است، و هر مقاومت $4.0\ \Omega$ دو سرش روی یک سیم قائم (هم‌پتانسیل) قرار دارد.

○ هر مقاومت $4.0\ \Omega$ بین دو نقطه از یک سیم رسانا (بدون مقاومت) قرار دارد؛ اختلاف پتانسیل دو سر آن صفر است $\leftarrow$ جریان صفر (اتصال کوتاه شده‌اند).

○ دو سیم قائم با سیم‌های افقی حلقه‌ها به هم وصل‌اند $\leftarrow$ فقط دو مقاومت $2.0\ \Omega$ در مدار مؤثرند و با هم متوالی‌اند.

$$R_{\text{eq}} = 2.0 + 2.0 = 4.0\ \Omega \Rightarrow I = \mathcal{E} / R_{\text{eq}} = 14\text{ V} \div 4.0\ \Omega = 3.5\text{ A}$$

جریان باتری و هر یک از دو مقاومت $2.0\ \Omega$ برابر 3.5 A است؛ از هر یک از مقاومت‌های $4.0\ \Omega$ جریانی نمی‌گذرد. (0 A)

این جواب ممکن است دقیق نباشد.

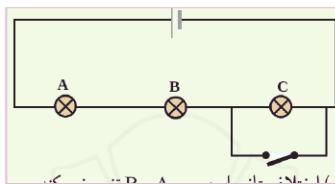
لامپ‌های A، B و C در شکل زیر همگی یکسان‌اند. با بستن کلید، کدام یک از تغییرات زیر در اختلاف پتانسیل رخ می‌دهد؟ (ممکن است بیش از یک پاسخ درست باشد).

الف) اختلاف پتانسیل دو سر A و B تغییر نمی‌کند.

ب) اختلاف پتانسیل دو سر C به اندازه ۵۰٪ کاهش می‌یابد.

پ) هر یک از اختلاف پتانسیل‌های دو سر A و B به اندازه ۵۰٪ افزایش می‌یابد.

ت) اختلاف پتانسیل دو سر C به صفر کاهش می‌یابد.



- سه لامپ همسان (R) متوالی‌اند؛ پیش از بستن کلید: $I = \epsilon/3R$ و $V_A = V_B = V_C = \epsilon/3$. با بستن کلید، لامپ C اتصال کوتاه می‌شود: $R_{eq} = 2R$ ، $I' = \epsilon/2R$ و $V_A' = V_B' = \epsilon/2$ و $V_C' = 0$.
- الف) نادرست است؛ V_A از $\epsilon/3$ به $\epsilon/2$ تغییر می‌کند.
 - ب) نادرست است؛ V_C به اندازه ۱۰۰٪ کم می‌شود (نه ۵۰٪).
 - پ) درست است؛ $1.5 = (\epsilon/2) \div (\epsilon/3)$ ، یعنی ۵۰٪ افزایش برای هر یک از V_A و V_B .
 - ت) درست است؛ دو سر C با سیم کلید به هم وصل شده است.

پاسخ: گزینه‌های (پ) و (ت).

در سیم‌کشی منازل، همه مصرف‌کننده‌ها به‌طور موازی متصل می‌شوند. یک اتوی ۱۱۰۰W، یک نان برشته‌کن (توستر) ۱۸۰۰W، پنج لامپ رشته‌ای ۱۰۰W و یک بخاری ۱۱۰۰W به یک مدار سیم‌کشی خانگی ۲۲۰V که فیوز آن حداکثر می‌تواند جریان ۱۵A را تحمل کند وصل شده‌اند. آیا این ترکیب مصرف‌کننده‌ها باعث پریدن این فیوز می‌شود یا خیر؟

مصرف‌کننده‌ها موازی‌اند؛ جریان کل برابر مجموع جریان‌ها یا $I_{P_کل} = P_{کل} / V$ است. $1100 + 1800 + 5 \times 100 + 1100 = 4500 \text{ W}$

$20.5 \text{ A} \approx 4500 \text{ W} \div 220 \text{ V} = P / V$ ؛ چون $20.5 \text{ A} > 15 \text{ A}$ است، فیوز می‌پرد.

فیزیک ۲ یازدهم - فصل سوم

مغناطیس

فهرست

۱۲۸	صفحه ۹۵ · پرسش — پرسش ۶-۳: جهت جریان در سیم افقی	۸۳
۱۲۹	صفحه ۹۶ · پرسش — پرسش ۷-۳: میدان اطراف سیم حامل جریان	۸۳
۱۳۰	صفحه ۹۶ · تمرین — تمرین ۳-۳: میدان دو سیم موازی	۸۴
۱۳۱	صفحه ۹۸ · پرسش — پرسش ۸-۳: جهت جریان در حلقه	۸۴
۱۳۲	صفحه ۹۹ · تمرین — تمرین ۴-۳: جریان لازم برای میدان مغز	۸۵
۱۳۳	صفحه ۱۰۰ · تمرین — تمرین ۵-۳: تعداد دورهای سیملوله آرمانی	۸۵
۱۳۴	صفحه ۱۰۰ · فعالیت — فعالیت ۵-۳: خط‌های میدان با براده آهن	۸۶
۱۳۵	صفحه ۱۰۱ · فعالیت — فعالیت ۶-۳: آهنربای الکتریکی	۸۶
۱۳۶	صفحه ۱۰۲ · فعالیت — فعالیت ۷-۳: حباب هوا در الک	۸۷
۱۳۷	صفحه ۱۰۳ · پرسش — پرسش ۹-۳: میله‌های فلزی درون سیملوله	۸۷
۱۳۸	صفحه ۱۰۴ · مسئله — مسئله ۱ (۲-۳ و ۱-۳): قطب‌ها و جهت میدان	۸۸
۱۳۹	صفحه ۱۰۴ · مسئله — مسئله ۲ (۲-۳ و ۱-۳): میدان دو آهنربای یکسان	۸۹
۱۴۰	صفحه ۱۰۴ · مسئله — مسئله ۳ (۲-۳ و ۱-۳): تعیین قطب‌ها و مقایسه میدان	۹۰
۱۴۱	صفحه ۱۰۴ · مسئله — مسئله ۴ (۲-۳ و ۱-۳): آهنربا در پزشکی	۹۱
۱۱۴	صفحه ۸۴ · پرسش — پرسش ۱-۳: تشخیص آهن از آهنربا	۷۴
۱۱۵	صفحه ۸۵ · پرسش — پرسش ۲-۳: شکستن آهنربا و القای مغناطیسی	۷۴
۱۱۶	صفحه ۸۵ · فعالیت — فعالیت ۱-۳: قطب‌نما و عقربه مغناطیسی	۷۵
۱۱۷	صفحه ۸۶ · پرسش — پرسش ۳-۳: عقربه‌های مغناطیسی و خطوط میدان	۷۶
۱۱۸	صفحه ۸۶ · فعالیت — فعالیت ۲-۳: عقربه‌ای که گرد آهنربا می‌چرخد	۷۷
۱۱۹	صفحه ۸۷ · آزمایش — آزمایش ۱-۳: طرح خطوط میدان مغناطیسی با براده‌های آهن	۷۸
۱۲۰	صفحه ۸۸ · فعالیت — فعالیت ۳-۳: شیب مغناطیسی	۷۹
۱۲۱	صفحه ۹۰ · تمرین — تمرین ۱-۳: نیروی مغناطیسی بر ذره باردار	۷۹
۱۲۲	صفحه ۹۰ · پرسش — پرسش ۴-۳: جهت میدان مغناطیسی	۸۰
۱۲۳	صفحه ۹۲ · آزمایش — آزمایش ۲-۳: نیروی وارد بر سیم حامل جریان	۸۰
۱۲۴	صفحه ۹۳ · پرسش — پرسش ۵-۳: سیم در امتداد میدان	۸۱
۱۲۵	صفحه ۹۳ · تمرین — تمرین ۲-۳: نیروی وارد بر سیم در میدان زمین	۸۱
۱۲۶	صفحه ۹۳ · فعالیت — فعالیت ۴-۳: اندازه‌گیری نیروی وارد بر سیم حامل جریان	۸۱
۱۲۷	صفحه ۹۵ · آزمایش — آزمایش ۳-۳: آزمایش اورستد	۸۲

۱۴۲	صفحه ۱۰۵ - مسئله - مسئله ۵ (۳-۳): نوع بار ذره‌ها	۹۲
۱۴۳	صفحه ۱۰۵ - مسئله - مسئله ۶ (۳-۳): جهت نیرو بر بار مثبت	۹۳
۱۴۴	صفحه ۱۰۵ - مسئله - مسئله ۷ (۳-۳): جهت سرعت الکترون	۹۴
۱۴۵	صفحه ۱۰۵ - مسئله - مسئله ۸ (۳-۳): جریان در حلقه‌ای که می‌چرخد	۹۵
۱۴۶	صفحه ۱۰۵ - مسئله - مسئله ۹ (۳-۳): پروتون در میدان یکنواخت	۹۵
۱۴۷	صفحه ۱۰۵ - مسئله - مسئله ۱۰ (۳-۳): الکترون و نیروی بیشینه	۹۶
۱۴۸	صفحه ۱۰۵ - مسئله - مسئله ۱۱ (۳-۳): انتخاب‌گر سرعت	۹۶
۱۴۹	صفحه ۱۰۶ - مسئله - مسئله ۱۲ (۴-۳): جهت نیرو بر سیم حامل جریان	۹۷
۱۵۰	صفحه ۱۰۶ - مسئله - مسئله ۱۳ (۴-۳): میلهٔ رسانا در شکاف آهنربا	۹۸
۱۵۱	صفحه ۱۰۶ - مسئله - مسئله ۱۴ (۴-۳): نیروی وارد بر سیم CD	۹۸
۱۵۲	صفحه ۱۰۶ - مسئله - مسئله ۱۵ (۴-۳): سیم حامل جریان و نیروسنج‌ها	۹۹
۱۵۳	صفحه ۱۰۶ - مسئله - مسئله ۱۶ (۵-۳): آهنربای آویزان بالای سیملوله	۱۰۰
۱۵۴	صفحه ۱۰۷ - مسئله - مسئله ۱۷ (۵-۳): انتخاب باتری برای عقربهٔ قطب‌نما	۱۰۰
۱۵۵	صفحه ۱۰۷ - مسئله - مسئله ۱۸ (۵-۳): جذب آهنربا به سیملوله	۱۰۱
۱۵۶	صفحه ۱۰۷ - مسئله - مسئله ۱۹ (۵-۳): دو سیم موازی و نقطهٔ A	۱۰۲
۱۵۷	صفحه ۱۰۷ - مسئله - مسئله ۲۰ (۵-۳): میدان درون سیملوله	۱۰۲
۱۵۸	صفحه ۱۰۷ - مسئله - مسئله ۲۱ (۵-۳): دو سیملولهٔ هم‌محور	۱۰۳
۱۵۹	صفحه ۱۰۷ - مسئله - مسئله ۲۲ (۶-۳): نوع مادهٔ فرومغناطیس	۱۰۳
۱۶۰	صفحه ۱۰۸ - مسئله - مسئله ۲۳ (۶-۳): نقشهٔ مفهومی مواد مغناطیسی	۱۰۴

فرض کنید دو میله کاملاً مشابه، یکی از جنس آهن و دیگری آهنربا در اختیار دارید. با گفت و گو در گروه خود، روشی را پیشنهاد کنید که با استفاده از آن و بدون استفاده از هیچ وسیله دیگر، بتوان میله‌ای را که از جنس آهنرباست مشخص کرد.

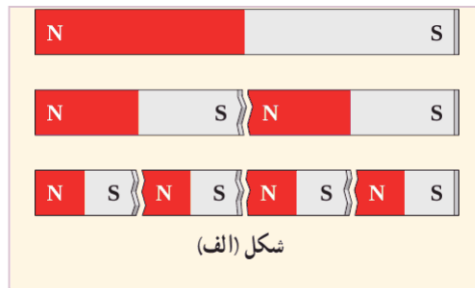
یک سر میله اول را به وسط میله دوم نزدیک می‌کنیم. وسط یک آهنربا تقریباً هیچ خاصیت مغناطیسی ندارد، ولی نزدیکی دو سر آن (قطب‌ها) نیروی ربایشی قوی دارد.

- اگر میله اول جذب میله دوم شود، قطب میله اول در حال جذب کردن وسط میله آهنی است؛ پس میله اول آهنرباست و میله دوم آهن.
- اگر جذبی دیده نشود، وسط میله دوم آهنربا است (وسط آهنربا نیرو وارد نمی‌کند)؛ پس میله دوم آهنرباست و میله اول آهن.
- برای اطمینان می‌توان آزمایش را برعکس (سر میله دوم به وسط میله اول) تکرار کرد: فقط در حالتی که سر آهنربا به وسط آهن نزدیک شود، جذب قوی رخ می‌دهد.

۱- دریافت خود را از شکل الف بیان کنید.

۲- در علوم هشتم با پدیده القای مغناطیسی آشنا شدید. با توجه به شکل ب این پدیده را توضیح دهید و بیان کنید چرا در پدیده القای مغناطیسی همواره جذب وجود دارد؟



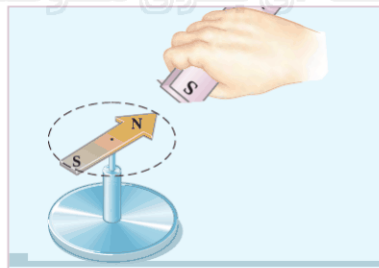


۱- هر بار که آهنربا را به دو تکه می‌شکنیم، هر تکه خود یک آهنربای کامل با دو قطب N و S است. این کار را هر قدر ادامه دهیم، باز هم به قطب تنها (تک‌قطبی) نمی‌رسیم؛ قطب‌های مغناطیسی همواره به صورت زوج (دوقطبی) وجود دارند.

۲- وقتی سوزن آهنی به یکی از قطب‌های آهنربا (در شکل ب، قطب S) نزدیک می‌شود، میدان آهنربا قطب‌های مغناطیسی اتم‌های آهن را هم جهت می‌کند و سوزن آهنربا می‌شود؛ انتهای نزدیک به قطب S آهنربا، قطب N و انتهای دیگر (نوک) قطب S می‌شود. نوک سوزن نیز به همین ترتیب واشرهای آهنی را آهنربا می‌کند و آن‌ها آویزان می‌مانند. این پدیده را القای مغناطیسی می‌نامند.

علت جذب همیشگی: قطبی که در جسم آهنی نزدیک‌تر به آهنربا القا می‌شود، همواره ناهمنام قطب آهنرباست و به آن نزدیک‌تر است؛ قطب هم‌نام که دورتر القا می‌شود، در میدان ضعیف‌تری قرار دارد. پس نیروی جاذبه از نیروی دافعه بزرگ‌تر است و برآیند، همیشه ربایشی است.

یکی از قطب‌های یک آهنربای میله‌ای را به یک عقربه مغناطیسی نزدیک کنید (شکل روبه‌رو). آنچه را می‌بینید توضیح دهید. با دور کردن آهنربا از قطب‌نما چه اتفاقی می‌افتد؟ دلیل آن را شرح دهید. در صورتی که قطب‌نما در اختیار ندارید، یک سوزن ته‌گرد مغناطیسی شده، درون ظرفی شناور سازید. به این ترتیب، سوزن ته‌گرد مانند عقربه مغناطیسی یک قطب‌نما رفتار می‌کند.



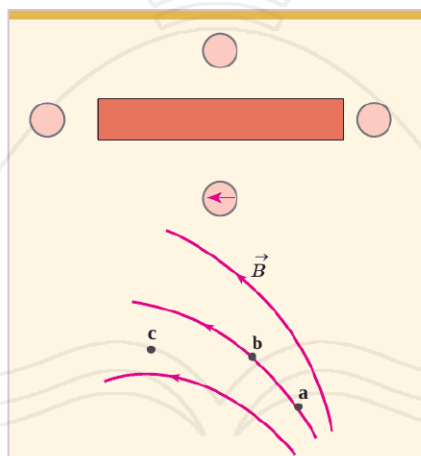
با نزدیک کردن قطب S آهنربا، سر N عقربه به سوی آن می‌چرخد (قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند)؛ اگر قطب N آهنربا را نزدیک کنیم، سر S عقربه جذب و سر N آن دفع می‌شود. عقربه یک آهنربای کوچک است و در میدان آهنربای نزدیک در راستای خط‌های میدان قرار می‌گیرد.

با دور کردن آهنربا، اثر میدان آن بر عقربه ناچیز می‌شود و عقربه دوباره در میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرد و سر N آن به سوی شمال جغرافیایی برمی‌گردد.

سوزن مغناطیسی شناور بر آب نیز چون آهنربای کوچکی است که آزادانه می‌چرخد؛ بنابراین مانند قطب‌نما در راستای شمال - جنوب قرار می‌گیرد و با نزدیک کردن آهنربا مانند عقربه رفتار می‌کند.

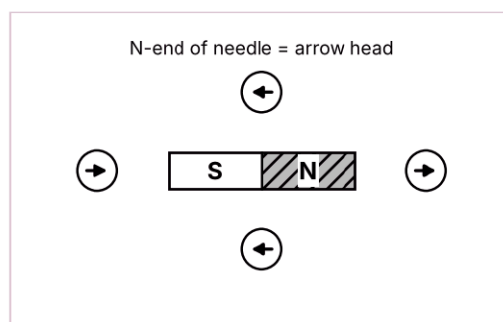
۱- شکل روبه‌رو، یک آهنربای میله‌ای و تعدادی عقربه مغناطیسی را نشان می‌دهد. (الف) کدام سر آهنربا قطب N و کدام سر قطب S است؟ (ب) جهت‌گیری عقربه‌های مغناطیسی را در دیگر مکان‌های روی شکل تعیین کنید.

۲- شکل روبه‌رو، خطوط میدان مغناطیسی در ناحیه‌ای از فضا را نشان می‌دهد. بردار میدان مغناطیسی را در هر یک از نقطه‌های روی شکل رسم کنید. به اندازه و جهت بردار میدان در هر نقطه توجه کنید.

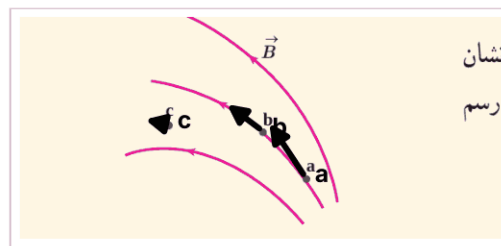


۱- (الف) سر N عقربه همواره در جهت میدان قرار می‌گیرد. در شکل، عقربه زیر آهنربا به سمت چپ است؛ خطوط میدان در بیرون آهنربا از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شوند، پس در کنار آهنربا از N به سمت S است. بنابراین سر راست آهنربا قطب N و سر چپ آن قطب S است.

(ب) عقربه بالای آهنربا مانند عقربه پایین به سمت چپ؛ عقربه سمت چپ آهنربا (کنار قطب S) و عقربه سمت راست (کنار قطب N) هر دو به سمت راست (سر N عقربه) قرار می‌گیرند (شکل زیر).



۲- بردار میدان در هر نقطه بر خط میدان مماس و هم جهت با پیکان خط است (در شکل به سمت بالا و چپ). اندازه میدان هر جا خطوط فشرده‌تر باشند بزرگ‌تر است؛ پس بردار در نقطه a از همه بلندتر، در b متوسط و در c (که خطوط از هم دورترند) کوتاه‌تر رسم می‌شود.



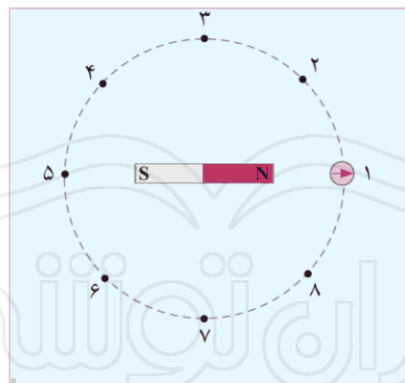
نشان
رسم

فعالیت

صفحه ۸۶

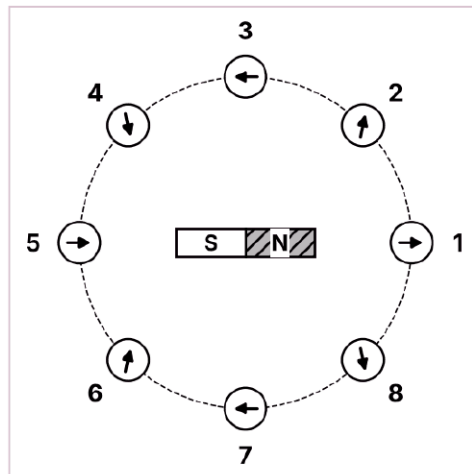
۱۱۸

یک آهنربای میله‌ای را روی سطح افقی میزی قرار دهید. یک قطب‌نما یا عقربه مغناطیسی را مقابل یکی از قطب‌های آهنربا قرار دهید. عقربه را روی مسیری دایره‌ای شکل دور آهنربا، به آرامی حرکت دهید (شکل روبه‌رو) تا یک دور کامل دور آهنربا بچرخد و به جای اولش برگردد.
(الف) جهت‌گیری عقربه را در نقطه‌های ۱ تا ۸، روی شکل نشان دهید.
(ب) در این حرکت، عقربه چند دور پیرامون محور خودش می‌چرخد؟



(الف) سر N عقربه همواره در جهت میدان مغناطیسی آهنربا در آن نقطه است (شکل زیر؛ قطب N آهنربا در سمت راست است):

- نقطه ۱ (روبه‌روی قطب N): به سمت راست، یعنی دور از آهنربا.
- نقطه‌های ۲ و ۶: تقریباً رو به بالا.
- نقطه‌های ۳ و ۷: به سمت چپ، یعنی موازی آهنربا و از N به S.
- نقطه‌های ۴ و ۸: تقریباً رو به پایین.
- نقطه ۵ (روبه‌روی قطب S): به سمت راست، یعنی به سمت آهنربا.



ب) جهت عقربه در طول یک دور کامل حول آهنربا، دو دور کامل ($360^\circ \times 2$ درجه) می‌چرخد؛ یعنی عقربه دو دور پیرامون محور خودش می‌زند.

آزمایش

صفحه ۸۷

۱۱۹

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

نتیجه: براده‌های آهن در میدان مغناطیسی آهنربا می‌شوند و مانند عقربه‌های کوچک در راستای خط‌های میدان قرار می‌گیرند.

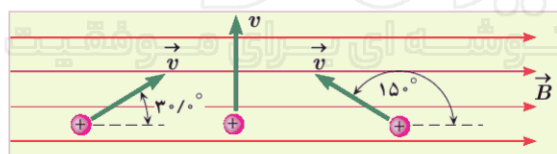
- یک آهنربای میله‌ای: براده‌ها از یک قطب بیرون می‌آیند، خطوطی بسته و خمیده تا قطب دیگر می‌سازند؛ نزدیک قطب‌ها براده‌ها متراکم‌ترند (میدان قوی‌تر است).
- دو قطب ناهمنام روبه‌رو: براده‌ها مستقیماً از قطب N به قطب S می‌روند و خط‌ها بین دو قطب به هم نزدیک‌اند (جذب).
- دو قطب همنام روبه‌رو: خطوط یکدیگر را دفع می‌کنند، در میانه دو قطب براده‌ای دیده نمی‌شود (میدان تقریباً صفر) و خطوط به طرفین خم می‌شوند (دفع).

وقتی یک سوزن مغناطیسی شده یا یک عقربه مغناطیسی را از وسط آن آویزان می‌کنیم در بیشتر نقاط زمین، به طور افقی قرار نمی‌گیرد و امتداد آن با سطح افقی زمین زاویه می‌سازد. به این زاویه، شیب مغناطیسی گفته می‌شود. برای یافتن شیب مغناطیسی محلی که در آن زندگی می‌کنید درست به وسط یک سوزن مغناطیسی شده یا یک عقربه مغناطیسی بزرگ، نخ را ببندید و آن را آویزان کنید. پس از تعادل، به کمک نقاله، زاویه‌ای را اندازه بگیرید که امتداد سوزن یا عقربه مغناطیسی با راستای افق می‌سازد. عدد به دست آمده، شیب مغناطیسی محل زندگی شماست. چنانچه در آزمایشگاه مدرسه شیب‌سنج مغناطیسی موجود باشد می‌توانید از آن نیز استفاده کنید.

نمونه نتیجه: در این آزمایش، سوزن مغناطیسی آویخته شده در امتداد خط میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرد؛ سر N آن به سمت پایین (رو به زمین) خم می‌شود و با افق زاویه می‌سازد. برای مثال، برای یک شهر در مرکز ایران، زاویه اندازه‌گیری شده حدود 50° به دست می‌آید. مطابق پاورقی کتاب، شیب مغناطیسی در ایران از حدود 40° در مناطق جنوبی تا حدود 60° در مناطق شمال غربی تغییر می‌کند، پس عددی در این بازه (بسته به محل شما) قابل قبول است.

(این آزمایش، با ابزار و محل هر دانش‌آموز، نتیجه عددی متفاوتی می‌دهد؛ مقدار بالا نمونه است.)

- ۱- بر پروتونی که با زاویه $\theta = 30^\circ$ نسبت به میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه $B = 320 \text{ G}$ در حرکت است نیرویی به اندازه $F = 5.12 \times 10^{-14} \text{ N}$ وارد می‌شود. تندی پروتون چند کیلومتر بر ثانیه است؟
- ۲- سه ذره، هر کدام با بار $q = 6.15 \text{ nC}$ و تندی $v = 46 \text{ m/s}$ ، در میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه $B = 0.165 \text{ T}$ در حرکت‌اند (شکل روبه‌رو). اندازه نیروی وارد بر هر ذره را حساب کنید.



- ۱- بار پروتون $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و $B = 320 \text{ G} = 0.032 \text{ T}$ است. از $F = |q| v B \sin \theta$ داریم:

$$v = F / (|q| B \sin \theta) = 5.12 \times 10^{-14} \text{ N} / (1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 0.032 \text{ T} \times \sin 30^\circ) \\ = 5.12 \times 10^{-14} / (2.56 \times 10^{-21}) = 2 \times 10^7 \text{ m/s}$$

تندی پروتون برابر $2 \times 10^7 \text{ m/s} = 2 \times 10^4 \text{ km/s}$ (۲۰ هزار کیلومتر بر ثانیه) است.

- ۲- ابتدا $|q| v B = (6.15 \times 10^{-9} \text{ C})(46 \text{ m/s})(0.165 \text{ T}) \approx 4.67 \times 10^{-8} \text{ N}$ سپس:

ذره	θ زاویه	$\sin \theta$	$F = q v B \sin \theta$
-----	----------------	---------------	---------------------------

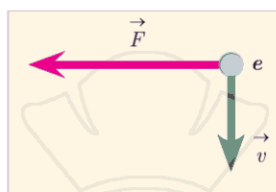
$2.33 \times 10^{-8} \text{ N}$	0.5	30°	اول
$4.67 \times 10^{-8} \text{ N}$	1	90°	دوم
$2.33 \times 10^{-8} \text{ N}$	0.5	150°	سوم

پرسش

صفحه ۹۰

۱۲۲

الکترونی عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. با توجه به شکل، جهت میدان B کدام است؟ (بالا / راست / درون سو / برون سو)



جهت میدان درون سو است.

دلیل: بار الکترون منفی است؛ پس جهت نیرو خلاف جهت $v \times B$ است. چون نیرو به سمت چپ است، جهت $v \times B$ باید به سمت راست باشد. با سرعت رو به پایین، فقط وقتی B درون سو باشد، $v \times B$ به سمت راست می شود (انگشتان راست در جهت v، خم شده به سوی B درون سو، شست به راست). پس نیرو بر الکترون به چپ خواهد بود.

آزمایش

صفحه ۹۲

۱۲۳

مداری مطابق شکل الف ببندید تا جریان از سیم مسی بگذرد. آنچه را که مشاهده می کنید، در گروه خود به بحث بگذارید.

مدار را قطع کنید و جهت جریان را تغییر داده و مراحل بالا را دوباره انجام دهید. نتیجه آزمایش را به کلاس گزارش دهید.

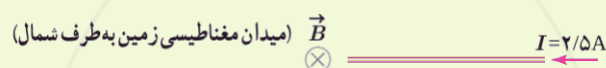
- با برقراری جریان، سیم مسی ضخیم که میان قطب های آهنربای نعلی شکل آویزان است، از جای خود منحرف می شود (تاب می خورد)؛ یعنی آهنربا نیرویی بر سیم حامل جریان وارد می کند.
- با قطع جریان، نیرو صفر می شود و سیم به حالت قائم برمی گردد.
- با وارونه کردن جهت جریان (یا جابه جا کردن قطب های آهنربا) جهت انحراف سیم نیز برعکس می شود.
- نتیجه: بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی نیرو وارد می شود؛ این نیرو بر سیم و بر میدان عمود است و جهتش را با قاعده دست راست می توان یافت. با افزایش جریان، انحراف سیم بیشتر می شود.

اگر در شکل ۱۳-۳ سیم حامل جریان در امتداد میدان مغناطیسی قرار گیرد، نیروی مغناطیسی وارد بر آن چقدر خواهد بود؟ در چه حالتی بزرگی این نیرو بیشینه می‌شود؟

اگر سیم در امتداد میدان باشد، زاویه θ بین سیم و میدان صفر (یا 180°) است، پس $\sin \theta = 0$ و $F = I \ell B \sin \theta$ ؛ $\theta = 0$ ؛ نیرویی وارد نمی‌شود.

بزرگی نیرو وقتی بیشینه است که $\sin \theta = 1$ یعنی $\theta = 90^\circ$ ؛ سیم عمود بر خطوط میدان باشد و در این حالت $F_{\max} = I \ell B$ است.

سیم مستقیمی به طول $2/4\text{m}$ حامل جریان $2/5\text{A}$ از شرق به غرب است. اندازه میدان مغناطیسی زمین در محل این سیم $0/45\text{G}$ و جهت آن از جنوب به شمال است. اندازه و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم را تعیین کنید.



$B = 0.45\text{ G} = 0.45 \times 10^{-4}\text{ T} = 4.5 \times 10^{-5}\text{ T}$ ؛ سیم عمود بر میدان است ($\theta = 90^\circ$):

$$F = I \ell B \sin \theta = (2.5\text{ A})(2.4\text{ m})(4.5 \times 10^{-5}\text{ T})(1) = 2.7 \times 10^{-4}\text{ N}$$

جهت: جریان به سمت غرب و میدان به سمت شمال است. با قاعده دست راست (چهار انگشت در جهت جریان، خم شده به سوی میدان، شست جهت نیرو را نشان می‌دهد) نیرو **رو به پایین** (به طرف زمین) است. (در شکل کتاب: B درون سو و I به چپ؛ نیرو به سمت پایین صفحه.)

آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن بتوان نیروی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی درون میدان مغناطیسی را اندازه‌گیری کرد. در صورت لزوم، برای اجرای این آزمایش می‌توانید از ترازوهای دیجیتال (رقمی) با دقت $0/01\text{g}$ استفاده کنید.

طرح پیشنهادی (بر پایه قانون سوم نیوتون):

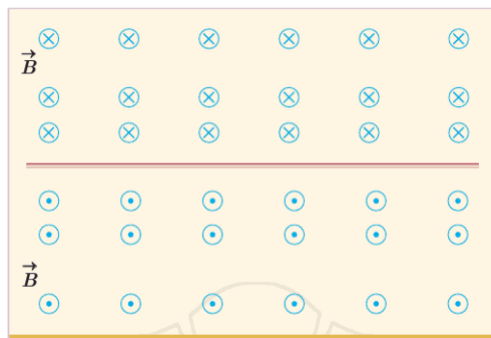
1. یک آهنربای نعلی یا دو آهنربای قوی با یک بست فلزی را روی کفه ترازوی دیجیتال بگذارید و ترازو را صفر کنید.

2. ○ یک سیم مستقیم (با طول l معلوم) را به کمک پایه و گیره طوری ثابت کنید که افقی، در میان قطب‌ها و عمود بر میدان B باشد و به کفه ترازو یا آهنربا نخورد. سیم را با رئوستا، آمپرسنج و باتری در یک مدار ببندید.
3. ○ با بستن مدار، آهنربا نیروی F بر سیم وارد می‌کند و سیم نیز نیروی هم‌اندازه و در خلاف جهت بر آهنربا وارد می‌کند؛ عدد ترازو به اندازه Δm تغییر می‌کند و $F = \Delta m \cdot g$ است.
4. ○ جریان I را با آمپرسنج بخوانید و برای چند جریان مختلف آزمایش را تکرار کنید؛ Δm با I متناسب است. با معلوم بودن l و I می‌توان $B = F / (Il)$ را نیز به دست آورد.
5. ○ برای بررسی عوامل دیگر، طول سیم داخل میدان یا زاویه سیم با میدان را عوض و نتیجه را با رابطه $F = IlB \sin \theta$ مقایسه کنید.

با توجه به جهت‌گیری عقربه در نقطه‌های مختلف صفحه مقوایی، چند خط میدان مغناطیسی را رسم کنید. این آزمایش را بار دیگر با جریانی در جهت مخالف تکرار کنید. به کمک چند باتری دیگر یا با تغییر مقاومت رئوستا، تحقیق کنید که افزایش یا کاهش جریان چه تأثیری در نتیجه آزمایش دارد؟ نتیجه این آزمایش را در گروه خود بحث کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.

- قبل از برقراری جریان، همه عقربه‌ها در راستای میدان زمین (شمال - جنوب) قرار دارند. پس از وصل مدار، عقربه‌ها منحرف می‌شوند و بر دایره‌هایی به مرکز سیم مماس قرار می‌گیرند؛ پس خط‌های میدان حاصل از سیم راست حامل جریان، دایره‌هایی هم‌مرکز و عمود بر سیم (با مرکز روی سیم) هستند.
- با وارونه کردن جهت جریان، جهت همه عقربه‌ها برعکس می‌شود؛ یعنی جهت میدان با جهت جریان تغییر می‌کند.
- با افزایش جریان (باتری بیشتر یا کاهش مقاومت رئوستا)، انحراف عقربه‌ها بیشتر می‌شود و آن‌ها بیشتر در راستای مماس بر دایره قرار می‌گیرند (میدان قوی‌تر می‌شود)؛ با کاهش جریان انحراف کمتر می‌شود.
- نتیجه: جریان الکتریکی در اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند؛ جهت آن را با قاعده دست راست (شست در جهت جریان، چهار انگشت خم شده جهت میدان) می‌توان تعیین کرد و اندازه آن با جریان افزایش و با دور شدن از سیم کاهش می‌یابد.

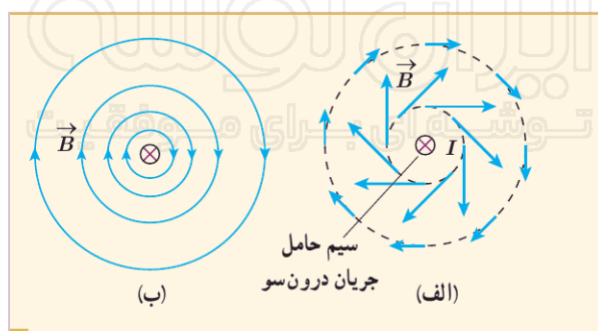
شکل روبه‌رو، جهت میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم افقی و مستقیم حامل جریان را نشان می‌دهد. در ناحیه بالای سیم، جهت میدان مغناطیسی درون سو و در ناحیه پایین آن برون سو است. جهت جریان را در سیم تعیین کنید.



جهت جریان در سیم از راست به چپ است.

با قاعده دست راست: وقتی شست در جهت جریان باشد، چهار انگشت جهت چرخش خط‌های میدان را نشان می‌دهد. اگر جریان به سمت چپ باشد، انگشتان در بالای سیم به درون صفحه و در زیر سیم به بیرون صفحه می‌روند که با شکل سازگار است. (اگر جریان به راست بود، میدان بالای سیم برون سو می‌شد.)

دریافت خود را از شکل‌های الف و ب بیان کنید. در بیان خود، به چگونگی تغییر جهت و اندازه میدان B در اطراف سیم حامل جریان اشاره کنید.



- شکل الف: بردارهای میدان در نقطه‌های روی یک دایره به مرکز سیم، بر آن دایره مماس‌اند و جهت آن‌ها (برای جریان درون سو) ساعتگرد است؛ یعنی جهت میدان در هر نقطه بر شعاع واصل به سیم عمود است.
- شکل ب: خط‌های میدان دایره‌های هم‌مرکز با سیم‌اند. هرچه از سیم دورتر می‌شویم، دایره‌ها از هم دورتر (خطوط کم‌تراکم‌تر) و بردارهای میدان کوتاه‌تر می‌شوند؛ یعنی اندازه B با افزایش فاصله از سیم کم می‌شود.

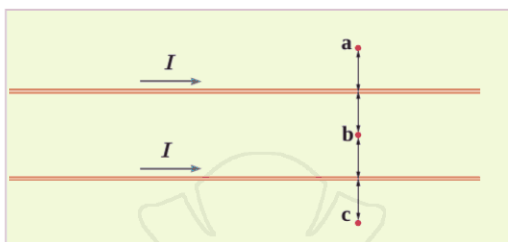
- اگر جهت جریان عوض شود، جهت چرخش میدان نیز وارونه می‌شود (برای جریان برون سو، پادساعتگرد).
- اندازه میدان با جریان افزایش می‌یابد.

تمرین

صفحه ۹۶

۱۳۰

جهت میدان مغناطیسی برابند (خالص) را ناشی از سیم‌های موازی و بلند حامل جریان را در هر یک از نقطه‌های a، b و c پیدا کنید. نقطه b در فاصله مساوی از دو سیم قرار دارد.



جریان در هر دو سیم به سمت راست و هم‌اندازه است. با قاعده دست راست، هر سیم در بالای خود میدان برون سو و در پایین خود میدان درون سو ایجاد می‌کند.

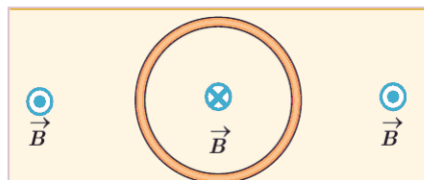
- نقطه a (بالای هر دو سیم): میدان هر دو سیم برون سو است؛ برابند **برون سو** (بیشینه).
- نقطه b (میان دو سیم، هم‌فاصله): میدان سیم بالا درون سو و میدان سیم پایین برون سو، هم‌اندازه است؛ برابند **صفر**.
- نقطه c (پایین هر دو سیم): میدان هر دو سیم درون سو است؛ برابند **درون سو**.

پرسش

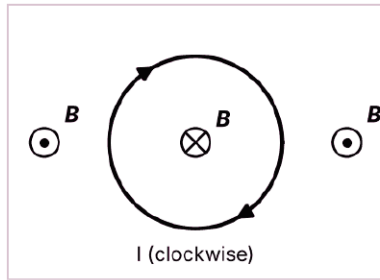
صفحه ۹۸

۱۳۱

شکل روبه‌رو، یک حلقه حامل جریان را نشان می‌دهد که جهت خط‌های میدان مغناطیسی درون و بیرون آن نشان داده شده است. جهت جریان را در این حلقه تعیین کنید.



میدان در درون حلقه درون سو است. با قاعده دست راست (چهار انگشت در جهت جریان حلقه، شست جهت میدان درون حلقه): برای آنکه شست به درون صفحه باشد، انگشتان باید در جهت حرکت عقربه‌های ساعت بچرخند؛ پس جریان در حلقه **ساعتگرد** است (شکل زیر). (میدان بیرون حلقه نیز برون سو می‌شود که با شکل سازگار است).



تمرین

صفحه ۹۹

۱۳۲

اندازه میدان مغناطیسی دور سر انسان حدود $3 \times 10^{-8} \text{ T}$ اندازه‌گیری شده است. اگرچه جریان‌هایی که این میدان را به وجود می‌آورند بسیار پیچیده‌اند، ولی با در نظر گرفتن این جریان‌ها به صورت یک حلقه‌ای دایره‌ای به قطر 16 cm (پهنای یک سر نوعی) می‌توان بزرگی جریان الکتریکی را تخمین زد. جریان لازم برای ایجاد این میدان در مرکز حلقه چقدر است؟

$$B = \mu_0 I / (2R) \text{ از } R = 16 \div 2 = 8 \text{ cm} = 0.08 \text{ m} \text{ و } B = 3 \times 10^{-8} \text{ T} = 3 \times 10^{-12} \text{ T}$$

$$I = 2 R B / \mu_0 = 2 \times 0.08 \text{ m} \times 3 \times 10^{-12} \text{ T} / (4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}) \\ \approx 4.8 \times 10^{-13} / 1.257 \times 10^{-6} \approx 3.8 \times 10^{-7} \text{ A}$$

جریان لازم حدود $3.8 \times 10^{-7} \text{ A}$ (نزدیک 0.4 میکروآمپر) است.

تمرین

صفحه ۱۰۰

۱۳۳

سیملوله آرمانی‌ای به طول 40.0 cm چنان طراحی شده است که جریان بیشینه‌ای به شدت $1/2 \text{ A}$ می‌تواند از آن بگذرد. با عبور این جریان از سیملوله، اندازه میدان مغناطیسی درون و دور از لبه‌ها 270 G می‌شود. تعداد دورهای سیملوله چقدر باید باشد؟

$$B = \mu_0 N I / \ell \text{ از } B = 270 \text{ G} = 0.027 \text{ T} \text{ و } I = 1.2 \text{ A}, \ell = 40.0 \text{ cm} = 0.400 \text{ m}$$

$$N = B \ell / (\mu_0 I) = (0.027 \text{ T})(0.400 \text{ m}) / [(4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A})(1.2 \text{ A})] \\ = 0.0108 / (1.508 \times 10^{-6}) \approx 7.16 \times 10^3$$

تعداد دورهای سیملوله باید حدود ۷۱۶۰ دور (تقریباً 7.2×10^3) باشد.

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

۱. یک صفحه مقوایی یا شیشه‌ای را افقی نگه دارید؛ سیم بلند را به‌طور عمودی از سوراخی در صفحه عبور دهید (برای حلقه و سیم‌لوله، حلقه یا سیم‌لوله را طوری سوار کنید که صفحه از میان آن بگذرد).
۲. مدار را با باتری، رئوستا و کلید ببندید و جریان نسبتاً زیادی برقرار کنید.
۳. براده آهن را به‌طور یکنواخت روی صفحه بپاشید و با ضربه‌های آرام به صفحه بزنید.
۴. براده‌ها در امتداد خط‌های میدان قرار می‌گیرند: برای سیم راست، دایره‌های هم‌مرکز؛ برای حلقه، خطوطی دایره‌ای در نزدیکی سیم که در داخل حلقه تقریباً راست و به هم نزدیک و موازی محور حلقه‌اند؛ برای سیم‌لوله، خطوط بسیار متراکم و موازی درون آن و خطوطی شبیه آهنربای میله‌ای در بیرون.

قسمتی از سیم نازک روکش‌داری را دور میخ آهنی نسبتاً بلندی بپیچید و مداری مطابق شکل دهید. با تغییر مقاومت رئوستا، جریان عبوری از مدار را تغییر دهید.
الف) بررسی کنید برای جریان‌های متفاوت، آهنربای الکتریکی چه تعداد گیره آهنی را می‌تواند بلند کند.
ب) اگر تعداد دورهای سیم دو برابر شود، نتیجه کار چه تفاوتی خواهد داشت؟

الف) با افزایش جریان (کم کردن مقاومت رئوستا) میدان سیم‌لوله دور میخ و در نتیجه آهنربایی شدن میخ بیشتر می‌شود و تعداد گیره‌های بلندشده افزایش می‌یابد؛ با کاهش جریان، تعداد کمتر می‌شود. (در عمل با حدود دو برابر شدن جریان، تعداد گیره‌ها بیشتر می‌شود).

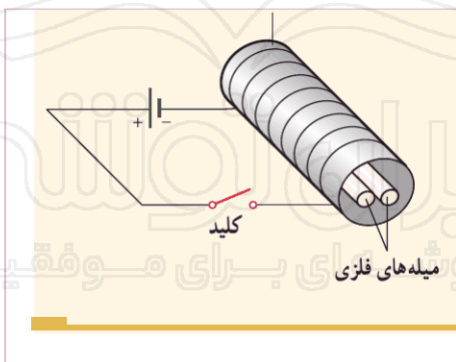
ب) چون $B = \mu_0 N I / l$ است، با دو برابر شدن تعداد دورهای سیم (در همان طول و با جریان یکسان) میدان نیز تقریباً دو برابر می‌شود؛ آهنربای الکتریکی قوی‌تر می‌شود و گیره‌های بیشتری (تقریباً دو برابر) را بلند می‌کند.

یک لوله آزمایش را تا نزدیکی لبه آن از الکل طبی (اتانول ۹۶ درجه) پر کنید. در لوله را ببندید و آن را به طور افقی قرار دهید. مطابق شکل، یک آهنربای نئودیمیم را بالای حباب هوای درون لوله بگیرید و به آرامی آهنربا را حرکت دهید. دلیل آنچه مشاهده می کنید به گفت و گو در گروه خود بگذارید.

مشاهده: وقتی آهنربا را روی لوله حرکت می دهیم، حباب هوا همراه آهنربا در لوله جابه جا می شود و به آهنربا نزدیک می شود.

دلیل: الکل (اتانول) ماده دیامغناطیس است و در حضور میدان قوی آهنربا از آن دور می شود (دفع می شود)؛ هوای حباب (به دلیل اکسیژن) پارامغناطیس و ضعیف جذب شونده است. پس الکل از ناحیه میدان قوی کنار می رود و حباب که نسبت به الکل «کمتر دفع می شود»، جای آن را می گیرد و به سمت آهنربا می رود.

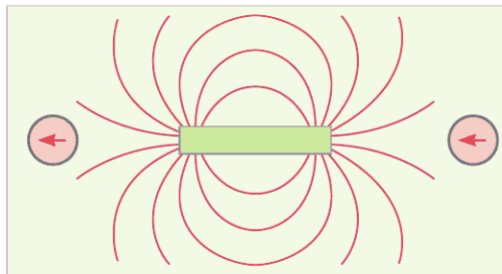
دو میله فلزی بلند مطابق شکل روبه رو درون سیملوله ای که دور یک قوطی مقوایی پیچیده شده است قرار دارند. با بستن کلید و عبور جریان از این سیملوله، مشاهده می شود که دو میله از یکدیگر دور می شوند. وقتی کلید باز و جریان در مدار قطع می شود، میله ها به محل اولیه باز می گردند. (الف) چرا با عبور جریان از پیچه، میله ها از یکدیگر دور می شوند؟ (ب) با دلیل توضیح دهید میله های فلزی از نظر مغناطیسی در کدام دسته قرار می گیرند.



(الف) جریان در سیملوله میدان مغناطیسی هم جهتی در درون آن ایجاد می کند. این میدان هر دو میله را آهنربا می کند (القای مغناطیسی) و آن ها قطب های هم جهت می گیرند: دو سر هم سوی میله ها هم نام می شوند. چون قطب های هم نام یکدیگر را می رانند، میله ها از هم دور می شوند.

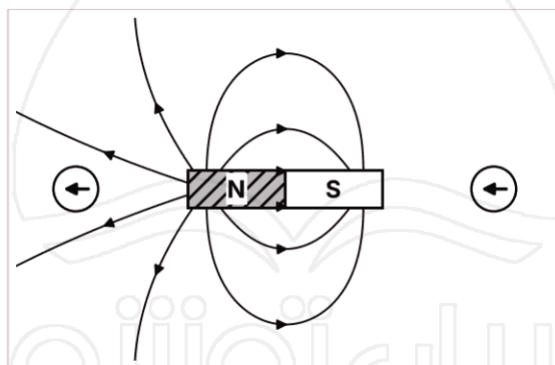
(ب) میله ها با حذف میدان (قطع جریان) خاصیت آهنربایی خود را از دست می دهند و به جای اول بازمی گردند؛ پس فرومغناطیس نرم هستند. (مواد فرومغناطیس سخت پس از قطع میدان، آهنربایی خود را حفظ می کنند).

با توجه به جهت‌گیری عقربه‌های مغناطیسی در شکل زیر، قطب‌های آهنربای میله‌ای و جهت خط‌های میدان مغناطیسی را تعیین کنید.



سر N هر عقربه در جهت میدان است. هر دو عقربه به سمت چپ‌اند. عقربه سمت راست آهنربا به سوی آهنربا (به چپ) اشاره می‌کند، یعنی خط‌های میدان وارد این سر می‌شوند؛ پس **سر راست آهنربا قطب S** است. عقربه سمت چپ در جهتی دور از آهنربا اشاره می‌کند؛ یعنی خط‌ها از این سر خارج می‌شوند و **سر چپ قطب N** است.

خط‌های میدان در بیرون آهنربا از N خارج و به S وارد می‌شوند و در درون آهنربا از S به N اند (شکل زیر).



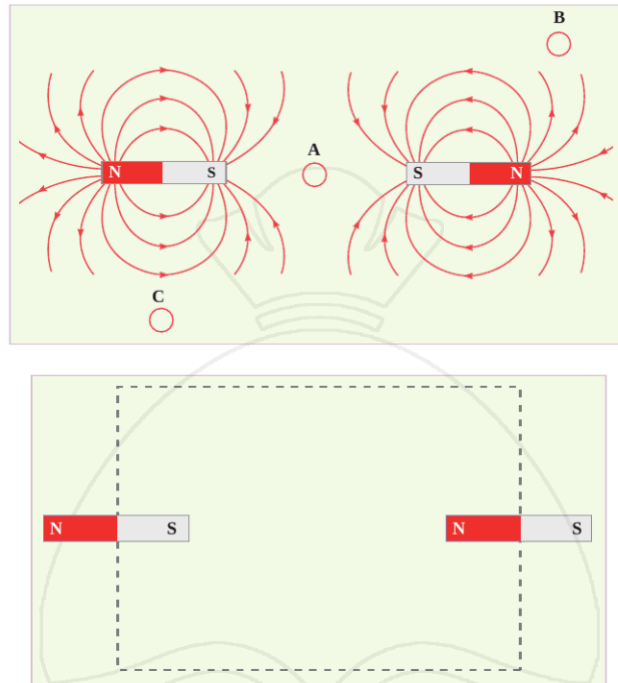
توشه‌ای برای موفقیت

شکل زیر، خط‌های میدان را در نزدیکی دو آهنربای میله‌ای یکسان نشان می‌دهد.

الف) دربارهٔ میدان مغناطیسی در نقطهٔ A چه می‌توان گفت؟

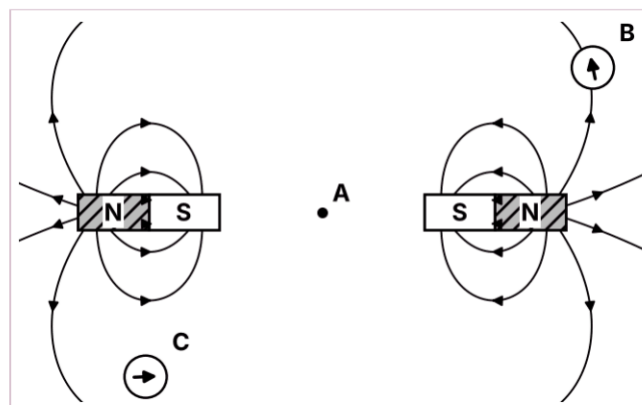
ب) با رسم شکل نشان دهید عقربهٔ قطب‌نما در نقطه‌های B و C به ترتیب در کدام جهت قرار می‌گیرد؟

پ) اگر مانند شکل زیر یکی از آهنرباها را بچرخانیم تا جای قطب‌های آن عوض شود، خطوط میدان مغناطیسی را در ناحیهٔ نقطه چین رسم کنید.

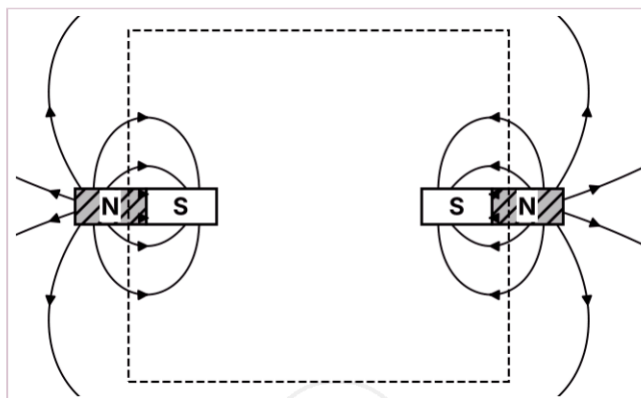


الف) نقطهٔ A وسط دو قطب هم‌نام S است. میدان دو قطب هم‌نام و هم‌اندازه (و هم‌فاصله) در A هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگرند؛ پس میدان برآیند در A صفر است (نقطهٔ خنثی).

ب) سر N عقربه در جهت میدان قرار می‌گیرد: در نقطهٔ B (بالا و سمت راست) عقربه تقریباً رو به بالا (کمی متمایل به چپ) و در نقطهٔ C (زیر آهنربای چپ) عقربه تقریباً افقی و به سمت راست (از قطب N به سوی قطب S آهنربای چپ) قرار می‌گیرد.



پ) با چرخاندن یکی از آهنرباها، دو قطب هم نام (S و S) روبه روی هم قرار می گیرند (دفع): خط های هر قطب از قطب N بیرون می آیند و به قطب S همان آهنربا باز می گردند؛ خط ها یکدیگر را قطع نمی کنند و در وسط، هیچ خطی از ناحیه میانی نمی گذرد (میدان در وسط صفر است) (شکل زیر).



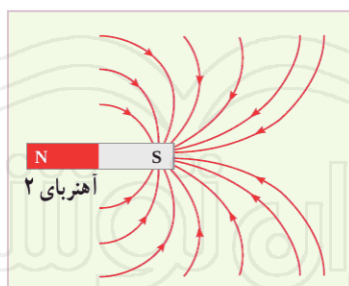
مسئله

صفحه ۱۰۴

۱۴۰

الف) آهنربای میله ای با قطب های نامشخص در اختیار داریم. دست کم دو روش برای تعیین قطب های این آهنربا بیان کنید.

ب) خط های میدان مغناطیسی بین دو آهنربا در شکل زیر نشان داده شده است. اندازه میدان مغناطیسی را در نزدیکی قطب های آهنرباها با هم مقایسه کنید.



توشه ای برای موفقیت

الف)

- آهنربا را از وسط با نخ آویزان می کنیم تا آزادانه بچرخد؛ پس از ایستادن، سری که به سمت شمال جغرافیایی است قطب N و سر دیگر قطب S است.
- قطب نما را به آهنربا نزدیک می کنیم؛ سر N عقربه به سمت قطب S آهنربا می چرخد و از قطب N دور می شود.
- قطب های آهنربایی دیگر را که قطب هایش معلوم است نزدیک می کنیم؛ هرگاه دفع شود هم نام و هرگاه جذب شود ناهم نام اند.
- براده آهن یا خط های میدان را بررسی کرده و با یک سیملوله حامل جریان که قطب هایش با قاعده دست راست معلوم است، مقایسه می کنیم.

ب) هر جا خط‌های میدان به هم نزدیک‌تر (متراکم‌تر) باشند میدان قوی‌تر است. در نزدیکی قطب‌ها خط‌ها بسیار متراکم‌اند؛ پس میدان در نزدیکی قطب‌ها از نقاط دورتر بزرگ‌تر است. در شکل، در نزدیکی دو قطب S خط‌ها به یک اندازه متراکم‌اند، پس اندازه میدان در نزدیکی قطب‌های دو آهنربا تقریباً یکسان است؛ و در وسط فاصله آن‌ها میدان به صفر می‌رسد.

مسئله

صفحه ۱۰۴

۱۴۱

کودکی یک قطعه کوچک آهنی را بلعیده است. پزشک می‌خواهد آن را با دستگاه شکل زیر بیرون بیاورد.

الف) هنگامی که آهنربای دائمی به نوک ثابت آهنی نزدیک می‌شود چه اتفاقی می‌افتد؟

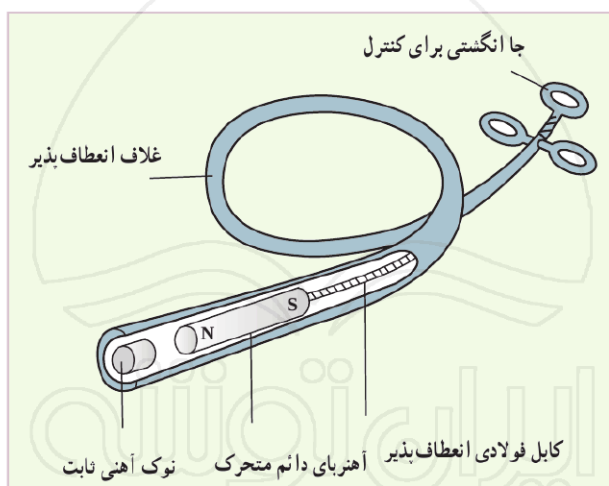
ب) ساختن نوک ثابت آهن چه مزیتی دارد؟

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 گیره آهنی کاغذ و یک واشر آلومینیومی را از گلوی کودک بیرون بیاورد؛ کدام یک را

می‌توان بیرون آورد؟ چرا؟



الف) نوک آهنی با القای مغناطیسی آهنربا می‌شود: سر نزدیک به آهنربا قطب ناهم‌نام آن می‌گیرد و سر دیگر (نوک) قطب هم‌نام. در نتیجه نوک آهنی به سمت آهنربا کشیده می‌شود و میدان مغناطیسی قوی در نوک آن ایجاد می‌شود.

ب) آهن نرم است و در کنار آهنربای متحرک به سرعت و به شدت آهنربا می‌شود و با دور کردن آهنربا خاصیتش را از دست می‌دهد؛ پس با نزدیک و دور کردن آهنربا می‌توان قدرت جذب را کنترل کرد (وصل و قطع آهنربایی). همچنین نوک آهنی میدان را در یک نقطه کوچک متمرکز می‌کند و با ایجاد نیروی قوی‌تر در همان جا، قطعه آهنی را مستقیم به سمت نوک می‌کشد و فلز را می‌گیرد. ضمناً آهنربای دائمی از بدن دور است و به بافت آسیب نمی‌زند.

پ) چون گلو و مری و نای منحنی و خمیده‌اند. غلاف انعطاف‌پذیر می‌تواند با پیچ و خم مسیر هماهنگ شود و بدون آسیب زدن به بافت‌های حساس، به فلز بلعیده شده برسد.

ت) گیره آهنی را می‌توان بیرون آورد؛ زیرا آهن فرومغناطیس است و به شدت به آهنربا جذب می‌شود. آلومینیم پارامغناطیس است و خاصیت آهنربایی آن بسیار ضعیف و موقتی است؛ پس واشر آلومینیومی با این دستگاه جذب نمی‌شود.

مسئله

صفحه ۱۰۵

۱۴۲

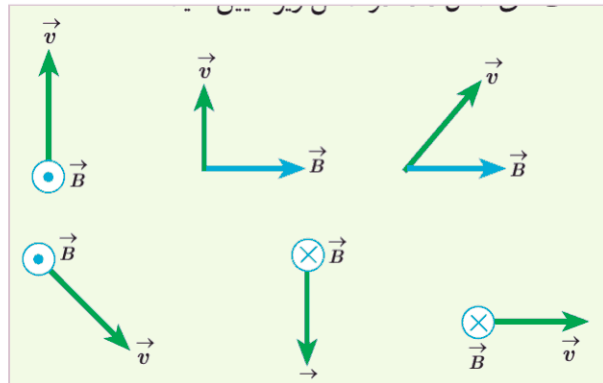
چهار ذره هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون سو مسیرهایی مطابق شکل زیر می‌پیمایند. درباره نوع بار هر ذره چه می‌توان گفت؟



میدان درون سو است. اگر ذره مثبتی در جهت راست حرکت کند نیرو رو به بالا است ($F = q v \times B$)؛ با همین قاعده:

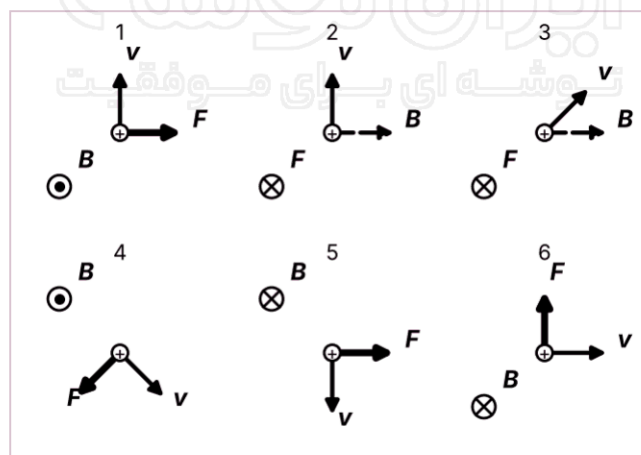
- ذره ۱: ذره به راست می‌رود و به بالا منحرف می‌شود؛ جهت نیرو همان جهت $v \times B$ است، پس بار مثبت است.
- ذره ۲: ذره به پایین می‌رود و به چپ منحرف می‌شود؛ برای بار مثبت نیرو به راست می‌شد، پس بار منفی است.
- ذره ۳: مسیر مستقیم است و منحرف نمی‌شود؛ بار آن صفر است (خنثی).
- ذره ۴: ذره به بالا می‌رود و به راست منحرف می‌شود؛ برای بار مثبت نیرو به چپ می‌شد، پس بار منفی است.

جهت نیروی وارد بر بار مثبت را در هریک از حالت‌های نشان داده شده در شکل زیر تعیین کنید.

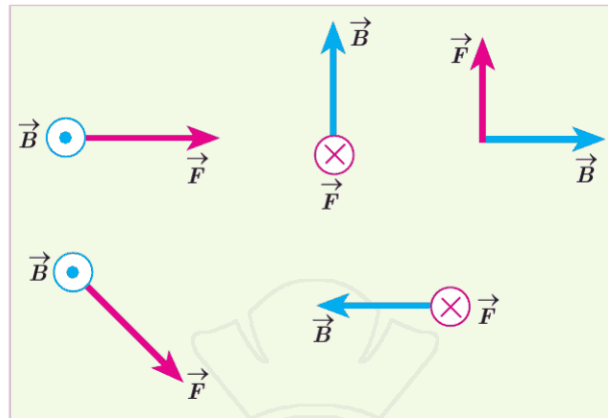


با قاعده دست راست ($F = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$)، چهار انگشت در جهت $\mathbf{v}$ ، خم شده به سوی $\mathbf{B}$ ، شست جهت $\mathbf{F}$. نتیجه حالت‌ها به ترتیب جای آن‌ها در شکل: ردیف بالا و سپس ردیف پایین، از چپ به راست):

حالت	$\mathbf{v}$	$\mathbf{B}$	جهت $\mathbf{F}$
بالای چپ	بالا	برون سو	به راست
بالای وسط	بالا	به راست	درون سو
بالای راست	بالا راست (۴۵°)	به راست	درون سو
پایین چپ	پایین راست	برون سو	پایین چپ (عمود بر $\mathbf{v}$)
پایین وسط	پایین	درون سو	به راست
پایین راست	به راست	درون سو	به بالا

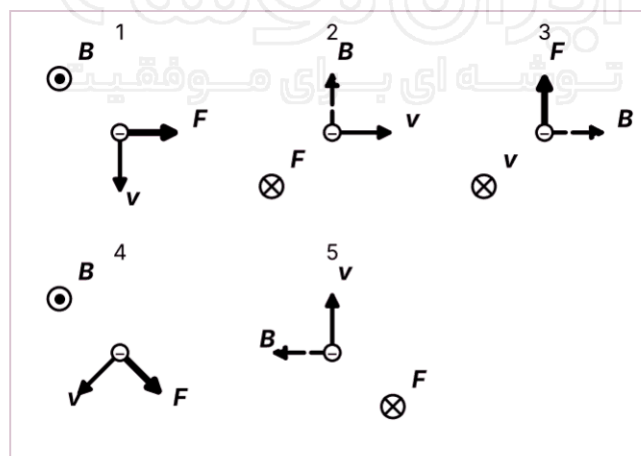


نیروی مغناطیسی F وارد بر الکترونی که در میدان مغناطیسی B در حرکت است، در شکل زیر، نشان داده شده است. فرض کنید راستای حرکت الکترون بر میدان مغناطیسی عمود است؛ در هریک از حالت‌های نشان داده شده جهت سرعت الکترون را تعیین کنید.

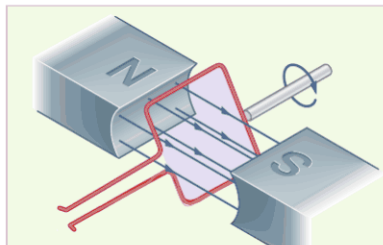


بار الکترون منفی است؛ پس F خلاف جهت $v \times B$ است. به عبارت دیگر، جهت سرعت الکترون همان جهت $F \times B$ می‌شود (یا با دست راست، جهت نیروی بر بار فرضی مثبت را وارونه می‌کنیم). نتیجه (به ترتیب جای آن‌ها در شکل: ردیف بالا و سپس ردیف پایین، از چپ به راست):

- B برون سو و F به راست $\leftarrow$ سرعت الکترون **رو به پایین**.
- B رو به بالا و F درون سو $\leftarrow$ سرعت **به راست**.
- F رو به بالا و B به راست $\leftarrow$ سرعت **درون سو**.
- B برون سو و F پایین راست $\leftarrow$ سرعت **پایین چپ** (عمود بر F).
- B به چپ و F درون سو $\leftarrow$ سرعت **رو به بالا**.



حلقهٔ رسانای مستطیل شکلی که حامل جریان I است، بر اثر نیروی مغناطیسی وارد بر ضلع‌های حامل جریان حلقه، مطابق شکل درون میدان مغناطیسی یکنواخت می‌چرخد. جهت جریان را در حلقه تعیین کنید.



میدان از قطب N (چپ) به قطب S (راست) است و پیکان کنار محور، جهت چرخش حلقه را نشان می‌دهد. نیروی وارد بر ضلع‌های حامل جریان که موازی محورند ($F = I l B$ ، عمود بر ضلع و بر میدان) باید حلقه را در همین جهت بچرخاند. با قاعدهٔ دست راست ($F = I l \times B$) برای ضلع بالایی، جریان در این ضلع باید از سمت محور (بالا راست) به سمت چپ پایین (به طرف ناظر) برقرار باشد و در ضلع پایینی که جهتش مخالف است، از سمت ناظر به طرف محور؛ در دو ضلع کوتاه نیز جریان به دنبال آن‌ها ادامه می‌یابد. یعنی جریان در حلقه در خلاف جهت حرکت پیکان‌های حلقه از بالا به سمت ناظر است.

این جواب ممکن است دقیق نباشد.

پروتونی با تندی $4/4 \times 10^6 \text{ m/s}$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازهٔ 18 mT در حرکت است. جهت حرکت پروتون با جهت B ، زاویهٔ 60° می‌سازد. الف) اندازهٔ نیروی وارد بر این پروتون را محاسبه کنید. ب) اگر تنها این نیرو بر این پروتون وارد شود، شتاب پروتون را حساب کنید. (بار الکتریکی پروتون $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و جرم آن را $1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ در نظر بگیرید).

الف) $B = 18 \text{ mT} = 1.8 \times 10^{-2} \text{ T}$

$$F = |q| v B \sin \theta = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(4.4 \times 10^6 \text{ m/s})(1.8 \times 10^{-2} \text{ T})(\sin 60^\circ) \\ = (1.267 \times 10^{-14})(0.866) \approx 1.1 \times 10^{-14} \text{ N}$$

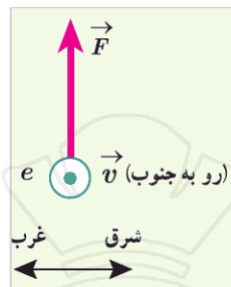
ب) از قانون دوم نیوتون:

$$a = F / m = 1.097 \times 10^{-14} \text{ N} / (1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}) \approx 6.5 \times 10^{12} \text{ m/s}^2$$

الکترونی با تندی $2.4 \times 10^5 \text{ m/s}$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. اندازه نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر این الکترون وارد می‌شود، هنگامی بیشینه است که الکترون به سمت جنوب حرکت کند.

الف) اگر جهت این نیروی بیشینه، رو به بالا و اندازه آن برابر $6.8 \times 10^{-14} \text{ N}$ باشد، اندازه و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

ب) اندازه میدان الکتریکی چقدر باشد تا همین نیرو را ایجاد کند؟



الف) نیروی بیشینه یعنی $\theta = 90^\circ$ ، پس $F_{\text{max}} = |q| v B$

$$B = F_{\text{max}} / (e v) = 6.8 \times 10^{-14} \text{ N} / [(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2.4 \times 10^5 \text{ m/s})] = 6.8 \times 10^{-14} / 3.84 \times 10^{-14} \approx 1.8 \text{ T}$$

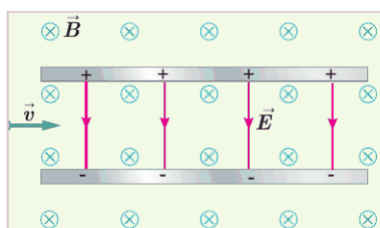
جهت: الکترون بار منفی دارد؛ پس F خلاف $v \times B$ است. سرعت به سمت جنوب و نیرو رو به بالا است. با آزمودن جهت‌ها (شرق، شمال، بالا): اگر B به سمت غرب باشد، $v \times B$ (جنوب $\times$ غرب) رو به پایین است و نیرو بر الکترون رو به بالا می‌شود. پس میدان به سمت غرب و اندازه آن 1.8 T است.

ب) برای ایجاد همین نیرو با میدان الکتریکی: $F = |q| E$

$$E = F / e = 6.8 \times 10^{-14} \text{ N} / (1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) = 4.25 \times 10^5 \text{ N/C}$$

توشه‌ای برای موفقیت

ذره باردار مثبتی با جرم ناچیز و با سرعت v در امتداد محور x وارد فضایی می‌شود که میدان‌های یکنواخت B و E وجود دارد (شکل زیر). اندازه این میدان‌ها برابر $E = 450 \text{ N/C}$ و $B = 0.18 \text{ T}$ است. تندی ذره چقدر باشد تا در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد؟



میدان الکتریکی رو به پایین است؛ نیروی الکتریکی بر ذره مثبت رو به پایین $(F_E = qE)$. میدان B درون سو و v به سمت x است؛ نیروی مغناطیسی رو به بالا $(F_B = qvB)$. برای حرکت مستقیم باید برآیند نیروها صفر باشد:

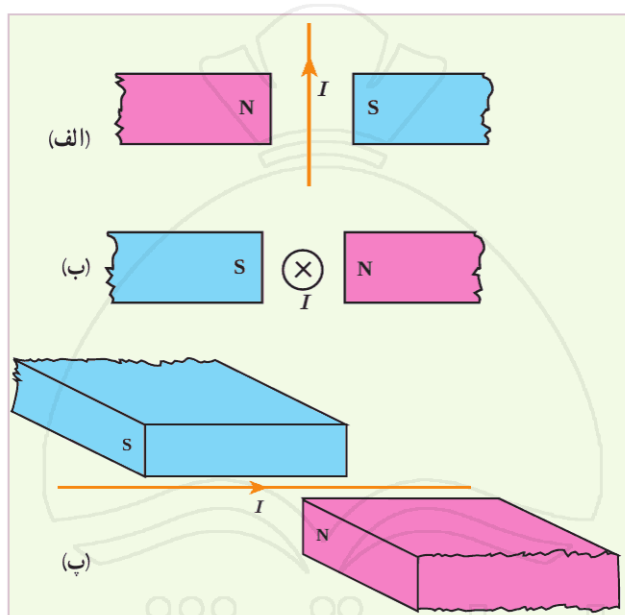
$$qvB = qE \Rightarrow v = E / B = 450 \text{ N/C} / 0.18 \text{ T} = 2500 \text{ m/s}$$

مسئله

صفحه ۱۰۶

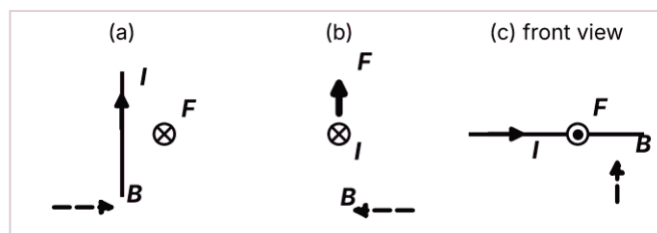
۱۴۹

جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان را در هر یک از شکل‌های الف، ب و پ با استفاده از قاعده دست راست بیابید.

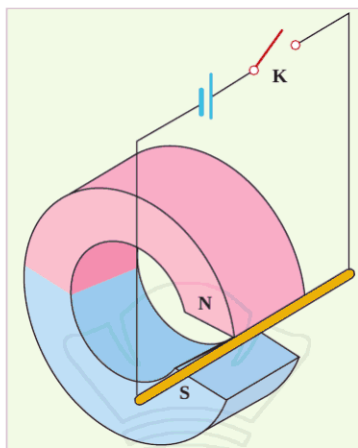


میدان مغناطیسی از قطب N به S است و $F = I \ell \times B$ (چهار انگشت در جهت جریان، خم شده به سوی B ، شست جهت F):

- شکل الف: B به راست و I رو به بالا $\leftarrow$ نیرو درون سو.
- شکل ب: B از N (راست) به S (چپ)، یعنی به چپ؛ I درون سو $\leftarrow$ نیرو رو به بالا.
- شکل پ: B از N (پایین) به S (بالا)، یعنی رو به بالا؛ I به راست $\leftarrow$ نیرو برون سو (به سمت ناظر).



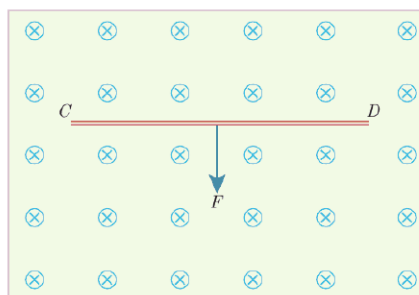
یک میلهٔ رسانا به پایانه‌های یک باتری وصل شده و مطابق شکل در فضای بین قطب‌های یک آهنربای C شکل آویزان است و می‌تواند آزادانه نوسان کند. با بستن کلید K، چه اتفاقی برای میلهٔ رسانا رخ می‌دهد؟ توضیح دهید.



با بستن کلید، جریان از باتری در مدار و در میلهٔ رسانا برقرار می‌شود. میلهٔ حامل جریان درون میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربا (از N به S، رو به پایین) قرار دارد؛ پس نیروی $F = I l B$ که بر میله و بر میدان عمود است، بر آن وارد می‌شود. میله از وضعیت تعادل خود منحرف می‌شود و در راستای عمود بر میلهٔ رسانا و میدان (به سمت بیرون از دهانهٔ آهنربا) نوسان می‌کند؛ جهت انحراف را با قاعدهٔ دست راست با توجه به قطب‌های باتری تعیین می‌کنیم. با باز کردن کلید نیرو صفر می‌شود و میله به صورت آونگ به حالت قائم برمی‌گردد.

این جواب ممکن است دقیق نباشد.

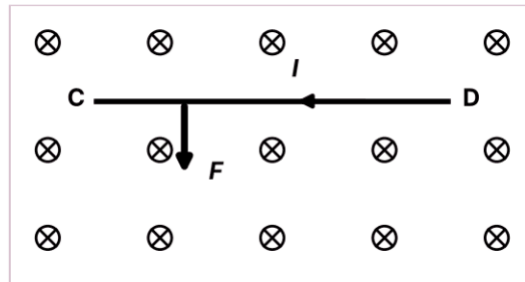
سیم رسانای CD به طول $2m$ مطابق شکل زیر عمود بر میدان درون سو با اندازهٔ $5T$ قرار گرفته است؛ اگر اندازهٔ نیروی وارد بر سیم برابر $1N$ باشد، جهت و مقدار جریان عبوری از سیم را تعیین کنید.



سیم عمود بر میدان است ($\theta = 90^\circ$):

$$F = I \ell B \rightarrow I = F / (\ell B) = 1 \text{ N} / (2 \text{ m} \times 0.5 \text{ T}) = 1 \text{ A}$$

جهت: میدان درون سو و نیرو رو به پایین است. اگر جریان از C به D (به راست) بود، $I \times B$ (راست $\times$ درون سو) رو به بالا می شد؛ پس برای نیروی رو به پایین، جریان باید از D به C (به سمت چپ) باشد.



مسئله

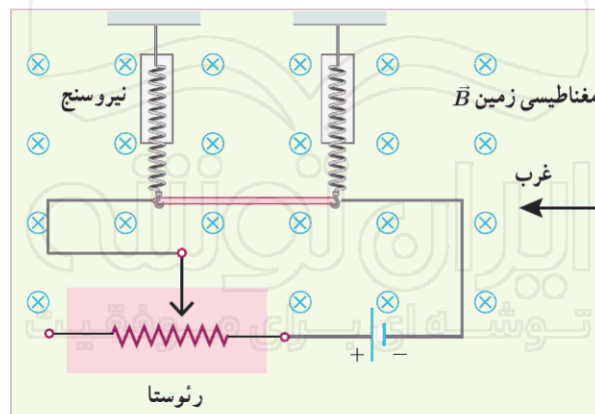
صفحه ۱۰۶

۱۵۲

یک سیم حامل جریان ۱/۶ آمپر مطابق شکل زیر با دو نیروسنج فنری که به دو انتهای آن بسته شده اند، به طور افقی و در راستای غرب - شرق قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین را یکنواخت، به طرف شمال و اندازه 0.05 mT بگیریید.

(الف) اندازه نیروی وارد بر هر متر این سیم را پیدا کنید.

(ب) اگر بخواهیم نیروسنج ها عدد صفر را نشان دهند، چه جریانی و در چه جهتی باید از سیم عبور کند؟ جرم هر متر از طول این سیم ۸ گرم است. ($g = 9.8 \text{ N/kg}$)



(الف) $B = 0.05 \text{ mT} = 5 \times 10^{-5} \text{ T}$ ؛ سیم عمود بر میدان (شرق - غرب و میدان شمال) است. نیروی هر متر سیم:

$$F/\ell = I B \sin 90^\circ = (1.6 \text{ A})(5 \times 10^{-5} \text{ T}) = 8 \times 10^{-5} \text{ N/m}$$

(ب) نیروسنج ها وقتی صفر می شوند که نیروی مغناطیسی رو به بالا وزن سیم را خنثی کند ($F_B = mg$). برای هر متر: $m/\ell = 8 \text{ g/m} = 8 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$

$$I B \ell = m g \rightarrow I = (m/\ell) g / B = (8 \times 10^{-3} \text{ kg/m})(9.8 \text{ N/kg}) / (5 \times 10^{-5} \text{ T}) = 1568 \text{ A} \approx 1.6 \times 10^3 \text{ A}$$

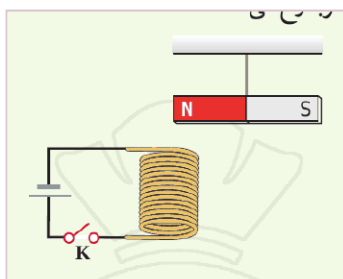
جهت: میدان به شمال و نیرو باید رو به بالا باشد. با قاعده دست راست (شرق $\times$ شمال = بالا) جهت جریان باید از غرب به شرق باشد. (جریان خیلی بزرگ است و در عمل شدنی نیست؛ ولی داده‌های مسئله چنین جوابی می‌دهند).

مسئله

صفحه ۱۰۶

۱۵۳

یک آهنربای میله‌ای مطابق شکل زیر، بالای سیملوله‌ای آویزان شده است. توضیح دهید با بستن کلید K چه تغییری در وضعیت آهنربا رخ می‌دهد.



با بستن کلید، در سیملوله جریان برقرار می‌شود و سیملوله مانند یک آهنربا قطب‌های N و S پیدا می‌کند. جریان در مدار از قطب مثبت باتری (صفحه بلندتر پایینی) به سیملوله وارد می‌شود و طبق قاعده دست راست (چهار انگشت در جهت جریان در پیچه‌ها، شست جهت میدان درون سیملوله) انتهای بالایی سیملوله قطب N می‌شود. قطب N آهنربا که درست بالای این سر قرار دارد، دفع می‌شود؛ پس سر N آهنربا بالا می‌رود (از سیملوله دور می‌شود) و سر S آن به سمت پایین می‌آید، یعنی آهنربا حول نقطه آویز می‌چرخد (چپ بالا، راست پایین).

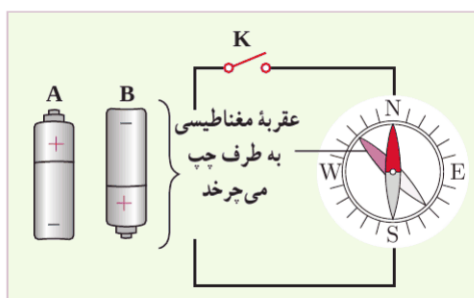
این جواب ممکن است دقیق نباشد.

مسئله

صفحه ۱۰۷

۱۵۴

کدام باتری را در مدار شکل زیر قرار دهیم تا پس از بستن کلید K، عقربه قطب‌نما که روی سیم قرار دارد، در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت شروع به چرخش کند؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.



باتری A (قطب مثبت آن در بالا قرار دارد).

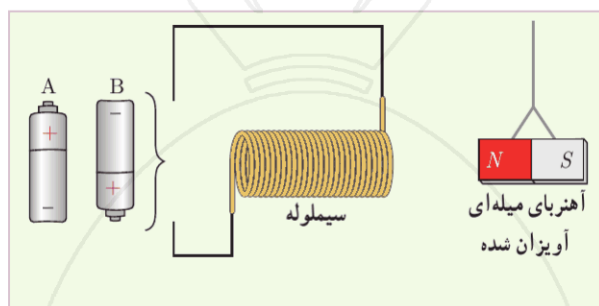
عقربه قطب نما روی سیم قائم (شمال - جنوب) سمت راست قرار دارد. چرخش خلاف عقربه های ساعت یعنی سر N عقربه به سمت غرب (چپ) می چرخد؛ پس میدان بالای سیم (محل قطب نما) باید به چپ باشد. با قاعده دست راست، برای آنکه میدان بالای (جلوی) سیم به چپ باشد، جریان باید در این سیم **رو به پایین** باشد. جریان در مدار از قطب مثبت باتری خارج می شود؛ جریان رو به پایین در سیم راست یعنی جریان در سیم چپ (جایگاه باتری) رو به بالا است. پس باتری باید طوری قرار گیرد که قطب مثبت آن بالا باشد، یعنی باتری A.

مسئله

صفحه ۱۰۷

۱۵۵

کدام باتری را در مدار شکل زیر قرار دهیم تا آهنربای میله ای آویزان شده به طرف سیملوله جذب شود؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.

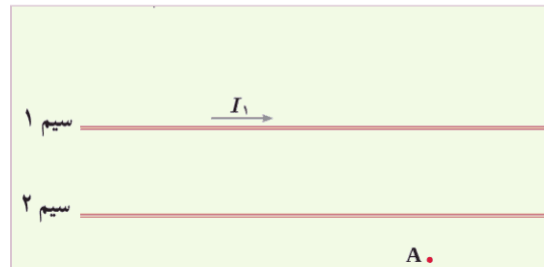


باتری B (قطب مثبت در پایین).

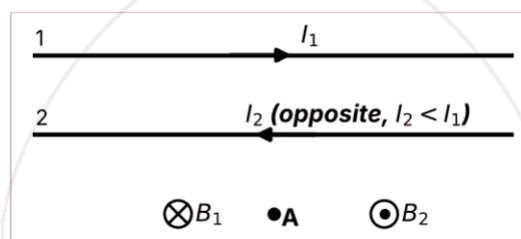
قطب N آهنربا به سیملوله نزدیک تر است؛ برای جذب باید انتهای نزدیک سیملوله (سمت راست) قطب S باشد، یعنی میدان درون سیملوله به سمت چپ (انتهای چپ N) باشد. با توجه به جهت پیچش سیم در شکل و قاعده دست راست، برای این کار جریان باید از انتهای پایینی (چپ) به پیچه وارد شود؛ بنابراین قطب مثبت باتری باید در پایین باشد، که باتری B است.

این جواب ممکن است دقیق نباشد.

شکل زیر، دو سیم موازی و بلند حامل جریان را نشان می‌دهد. اگر میدان مغناطیسی برآیند حاصل از این سیم‌ها در نقطه A صفر باشد، جهت جریان آن را در سیم ۲ پیدا کنید.



جریان سیم ۱ به راست است و نقطه A زیر هر دو سیم است. میدان سیم ۱ در A درون سو است. برای صفر شدن برآیند، میدان سیم ۲ در A باید برون سو باشد؛ زیر یک سیم، میدان برون سو یعنی جریان به سمت چپ. پس جریان در سیم ۲ به سمت چپ (خلاف جریان سیم ۱) است. چون A به سیم ۲ نزدیک‌تر است، اندازه جریان در سیم ۲ باید از I_1 کمتر باشد ($I_2 = I_1 r_2 / r_1$).



سیم‌لوله‌ای شامل ۲۵۰ حلقه است که دور یک لوله پلاستیکی توخالی به طول ۰/۱۴ متر پیچیده شده است. اگر جریان گذرنده از سیم‌لوله ۰/۸۸۸ باشد، اندازه میدان مغناطیسی درون سیم‌لوله را حساب کنید.

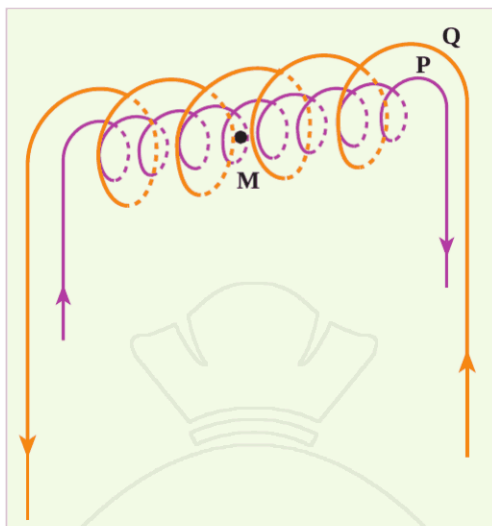
گوشه ای برای نوشتن

$$I = 0.88 \text{ A}, \ell = 0.14 \text{ m}, N = 250$$

$$B = \mu_0 N I / \ell = (4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}) (250) (0.88 \text{ A}) / (0.14 \text{ m}) \approx 1.97 \times 10^{-3} \text{ T}$$

اندازه میدان درون سیم‌لوله حدود $2 \times 10^{-3} \text{ T}$ (یعنی ۲۰ G) است.

در شکل زیر دو سیملوله P و Q هم محورند و طول برابر دارند. تعداد دور سیملوله P برابر ۲۰۰ و تعداد دور سیملوله Q برابر ۳۰۰ است. اگر جریان ۱A از سیملوله Q عبور کند، از سیملوله P چه جریانی باید عبور کند تا برابند میدان مغناطیسی ناشی از دو سیملوله در نقطه M (روی محور دو سیملوله) صفر شود؟

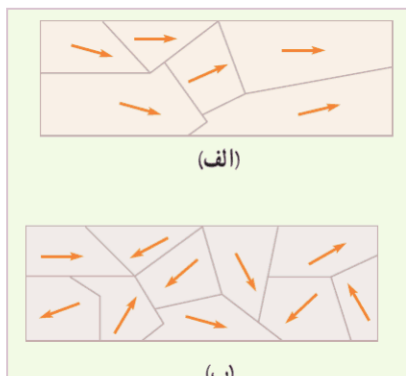


میدان درون هر سیملوله آرمانی $B = \mu_0 N I / \ell$ است و دو سیملوله طول یکسان دارند. در شکل جهت جریان در دو سیملوله (با پیچش مشابه) خلاف هم است، پس میدان آن‌ها در M در خلاف جهت یکدیگر است. برای صفر شدن برابند، اندازه‌ها باید برابر باشند:

$$\mu_0 N_P I_P / \ell = \mu_0 N_Q I_Q / \ell \rightarrow I_P = N_Q I_Q / N_P = 300 \times 1 \text{ A} / 200 = 1.5 \text{ A}$$

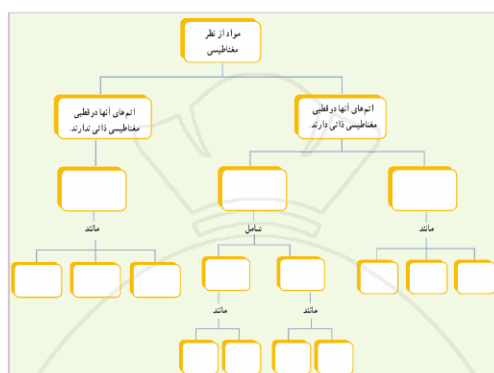
جریان لازم در سیملوله P برابر 1.5 A است (با همان جهتی که در شکل نشان داده شده، یعنی در جهتی که میدانش خلاف میدان Q باشد).

شکل الف حوزه‌های مغناطیسی ماده فرومغناطیسی را درون میدان خارجی B نشان می‌دهد. شکل ب همان ماده را پس از حذف میدان B نشان می‌دهد. نوع فرومغناطیس را با ذکر دلیل تعیین کنید.

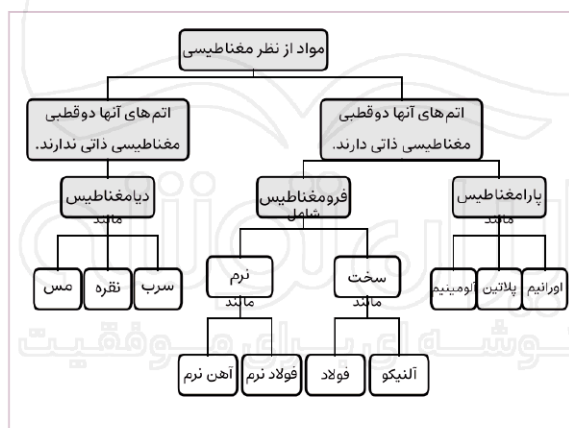


ماده فرومغناطیس نرم است. دلیل: در شکل الف (در حضور میدان) قطبی‌های حوزه‌ها تقریباً هم‌جهت با میدان شده‌اند (ماده آهنربا شده است)، اما در شکل ب پس از حذف میدان، جهت‌گیری حوزه‌ها دوباره بی‌نظم و تصادفی شده است؛ یعنی ماده آهنربایی خود را از دست داده است. این رفتار ماده فرومغناطیس نرم است (در فرومغناطیس سخت پس از حذف میدان جهت‌گیری حوزه‌ها تقریباً حفظ می‌شود).

با توجه به آنچه در بخش ویژگی‌های مغناطیسی مواد دیدید، نقشه مفهومی زیر را کامل کنید.



نقشه مفهومی کامل شده در شکل زیر آمده است:



خلاصه: بدون دو قطبی ذاتی ← دیامغناطیس؛ با دو قطبی ذاتی ← پارامغناطیس و فرومغناطیس (نرم و سخت).

فیزیک ۲ یازدهم - فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

فهرست

۱۱۶	صفحه ۱۲۸ مسئله — مسئله‌های ۴ و ۵ (۲-۴) ... ۱۱۶	۱۰۶	صفحه ۱۰۹ پرسش آغاز فصل — چرا کارت را در کارت‌خوان می‌کشیم؟ ... ۱۰۶
۱۱۷	صفحه ۱۲۸ مسئله — مسئله ۶ (۳-۴): قانون لنز ... ۱۱۷	۱۰۶	صفحه ۱۱۰ آزمایش — آزمایش ۴-۱: بررسی پدیده القای الکترومغناطیسی ... ۱۰۶
۱۱۷	صفحه ۱۲۸ مسئله — مسئله ۷ (۳-۴): سقوط آهنربا ... ۱۱۷	۱۰۷	صفحه ۱۱۳ تمرین — تمرین ۴-۱: شار مغناطیسی ... ۱۰۷
۱۱۸	صفحه ۱۲۹ مسئله — مسئله ۸ (۳-۴): جهت جریان القایی ... ۱۱۸	۱۰۷	صفحه ۱۱۳ پرسش — پرسش ۴-۱: یکای وبر بر ثانیه ... ۱۰۷
۱۱۹	صفحه ۱۲۹ مسئله — مسئله ۹ (۳-۴): سیم‌لوله و حلقه ... ۱۱۹	۱۰۸	صفحه ۱۱۵ تمرین — تمرین ۴-۲: نیروی محرکه القایی متوسط ... ۱۰۸
۱۱۹	صفحه ۱۲۹ مسئله — مسئله ۱۰ (۳-۴): رئوس‌تا و حلقه ... ۱۱۹	۱۰۹	صفحه ۱۱۶ پرسش — پرسش ۴-۲: تندی سنج دوچرخه ... ۱۰۹
۱۲۰	صفحه ۱۲۹ مسئله — مسئله‌های ۱۱ و ۱۲ (۳-۴) ... ۱۲۰	۱۰۹	صفحه ۱۱۸ پرسش — پرسش ۴-۳: جهت جریان القایی ... ۱۰۹
۱۲۱	صفحه ۱۲۹ مسئله — مسئله ۱۳ (۳-۴): میله لغزنده ... ۱۲۱	۱۱۰	صفحه ۱۱۹ آزمایش — آزمایش ۴-۲: بررسی اثر خود-القایی ... ۱۱۰
۱۲۲	صفحه ۱۲۹ مسئله — مسئله ۱۴ (۳-۴): بستن و باز کردن کلید ... ۱۲۲	۱۱۱	صفحه ۱۲۰ تمرین — تمرین ۴-۳: ضریب القاوری سیم‌لوله ... ۱۱۱
۱۲۳	صفحه ۱۳۰ مسئله — مسئله ۱۵ (۳-۴): ورود و خروج حلقه از میدان ... ۱۲۳	۱۱۱	صفحه ۱۲۲ تمرین — تمرین ۴-۴: ضریب القاوری و انرژی ذخیره‌شده ... ۱۱۱
۱۲۴	صفحه ۱۳۰ مسئله — مسئله ۱۶ (۳-۴): حلقه و آهنربای میله‌ای ... ۱۲۴	۱۱۱	صفحه ۱۲۵ تمرین — تمرین ۵-۴: معادله جریان متناوب ... ۱۱۱
۱۲۵	صفحه ۱۳۰ مسئله — مسئله ۱۷ (۴-۴): افزایش انرژی القاگر ... ۱۲۵	۱۱۲	صفحه ۱۲۶ فعالیت — فعالیت ۴-۱: دیود و جریان متناوب ... ۱۱۲
۱۲۵	صفحه ۱۳۰ مسئله — مسئله ۱۸ (۴-۴): ضریب القاوری و جریان ... ۱۲۵	۱۱۳	صفحه ۱۲۷ تمرین — تمرین ۶-۴: ولتاژ ثانویه مبدل ... ۱۱۳
۱۲۶	صفحه ۱۳۰ مسئله — مسئله‌های ۱۹ و ۲۰ (۵-۴) ... ۱۲۶	۱۱۴	صفحه ۱۲۸ مسئله — مسئله‌های ۱ و ۲ (۲-۴ و ۱-۴) ... ۱۱۴
		۱۱۵	صفحه ۱۲۸ مسئله — مسئله ۳ (۲-۴ و ۱-۴): بادسنگ ... ۱۱۵

وقتی کارت بانکی درون دستگاه کارت‌خوان «کشیده» می‌شود، اطلاعات ذخیره شده در نوار مغناطیسی پشت کارت، به مرکز اطلاعات بانک ارسال می‌شود. چرا به جای ثابت نگه داشتن کارت در شکاف دستگاه کارت‌خوان، لازم است آن را بکشیم؟ پاسخ در همین فصل.

در سر خواننده کارت‌خوان یک پیچه قرار دارد. نوار مغناطیسی پشت کارت از ناحیه‌هایی با جهت‌های مغناطیسی متفاوت (نمایانگر صفر و یک) تشکیل شده است. با کشیدن کارت، این ناحیه‌ها یکی‌یکی از کنار پیچه می‌گذرند و شار مغناطیسی عبوری از پیچه تغییر می‌کند؛ طبق قانون فاراده در پیچه نیروی محرکه القایی و جریان اندکی پدید می‌آید که اطلاعات را در بردارد. اگر کارت ثابت باشد، شار عبوری از پیچه تغییر نمی‌کند و جریان القایی ایجاد نمی‌شود؛ پس باید کارت را بکشیم.

دو سر سیمولوله را به گالوانومتر ببندید.

یکی از قطب‌های آهنربا را وارد سیمولوله کنید (شکل روبه‌رو). مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.

اکنون آهنربا را از سیمولوله خارج کنید. مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، دوباره یادداشت کنید. مراحل بالا را برای قطب دیگر آهنربا تکرار کنید.

آزمایش را در حالی انجام دهید که آهنربا ثابت باشد و سیمولوله به آن نزدیک یا از آن دور شود. آیا نتیجه آزمایش تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

- هنگام وارد کردن یک قطب آهنربا به سیمولوله، عقربه گالوانومتر به یک سو منحرف می‌شود؛ یعنی در مدار جریان القایی برقرار می‌شود.
- هنگام خارج کردن آهنربا، عقربه به سوی مخالف منحرف می‌شود (جهت جریان القایی وارونه است).
- با تکرار آزمایش برای قطب دیگر آهنربا، جهت انحراف‌ها در هر مرحله برعکس می‌شود.
- تا وقتی آهنربا درون سیمولوله ساکن است، عقربه روی صفر می‌ماند؛ هرچه آهنربا را تندتر حرکت دهیم انحراف عقربه بیشتر است.

نتیجه: اگر آهنربا ثابت باشد و سیمولوله به آن نزدیک یا از آن دور شود، نتیجه تغییری نمی‌کند و باز هم عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود. دلیل آن این است که آنچه مهم است حرکت نسبی آهنربا و سیمولوله است؛ در هر دو حالت شار مغناطیسی عبوری از سیمولوله تغییر می‌کند و جریان القا می‌شود.

الف) حلقه‌ای به مساحت 25cm^2 درون میدان مغناطیسی یکنواخت درون سویی به اندازه 0.30T قرار دارد (شکل الف). شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

ب) اگر مطابق شکل ب و بدون تغییر B ، مساحت سطح حلقه را به 10cm^2 برسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.

پ) اگر این تغییر شار در بازه زمانی $\Delta t = 0.20\text{s}$ رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.



در شکل الف سطح حلقه بر خطوط میدان عمود است؛ پس نیم خط عمود با میدان زاویه $\theta = 0^\circ$ می‌سازد.

$$A_1 = 25\text{ cm}^2 = 25 \times 10^{-4}\text{ m}^2, B = 0.30\text{ T} \text{ (الف)}$$

$$\Phi_1 = B A_1 \cos \theta = (0.30\text{ T})(25 \times 10^{-4}\text{ m}^2)(\cos 0^\circ) = 7.5 \times 10^{-5}\text{ Wb}$$

$$\text{ب) } A_2 = 10\text{ cm}^2 = 10 \times 10^{-4}\text{ m}^2 \text{ و میدان تغییر نکرده است:}$$

$$\Phi_2 = B A_2 \cos 0^\circ = (0.30\text{ T})(10 \times 10^{-4}\text{ m}^2) = 3.0 \times 10^{-5}\text{ Wb}$$

پ) تغییر شار و آهنگ تغییر آن:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 3.0 \times 10^{-5} - 7.5 \times 10^{-5} = -4.5 \times 10^{-5}\text{ Wb}$$

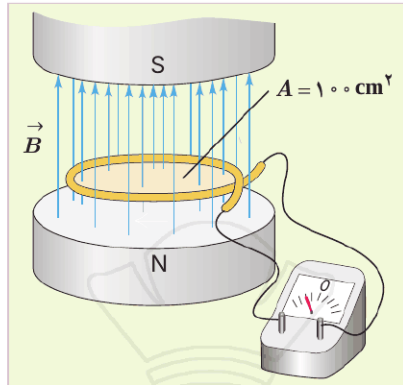
$$\Delta\Phi/\Delta t = (-4.5 \times 10^{-5}\text{ Wb})/(0.20\text{ s}) = -2.25 \times 10^{-4}\text{ Wb/s}$$

علامت منفی نشان می‌دهد شار عبوری از حلقه کاهش یافته است.

کدام یک از یکاهای زیر معادل یکای وبر بر ثانیه (Wb/s) است؟ V/A یا Ω

گزینه V (ولت). طبق قانون فاراده $\mathcal{E} = -N \Delta\Phi/\Delta t$ است؛ پس یکای نیروی محرکه القایی همان یکای $\Delta\Phi/\Delta t$ یعنی Wb/s است و یکای $\mathcal{E}$ نیز ولت است. بنابراین $\text{Wb/s} = \text{V}$.

میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربای شکل روبه‌رو که بر سطح حلقه عمود است با زمان تغییر می‌کند و در مدت $0/45\text{ s}$ از $0/28\text{ T}$ ، رو به بالا، به $0/17\text{ T}$ ، رو به پایین می‌رسد. در این مدت، الف) نیروی محرکه القایی متوسط در حلقه را به دست آورید. ب) اگر مقاومت حلقه 10Ω باشد، جریان القایی متوسط در حلقه را پیدا کنید.



حلقه یک دور دارد ($N = 1$) و $A = 100\text{ cm}^2 = 1 \times 10^{-2}\text{ m}^2$. نیم‌خط عمود را رو به بالا و هم‌سو با میدان اولیه می‌گیریم ($\theta = 0^\circ$ برای میدان رو به بالا و $\theta = 180^\circ$ برای میدان رو به پایین).

$$\Phi_1 = B_1 A = (+0/28\text{ T})(1 \times 10^{-2}\text{ m}^2) = 2/8 \times 10^{-3}\text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos 180^\circ = -(0/17\text{ T})(1 \times 10^{-2}\text{ m}^2) = -1/7 \times 10^{-3}\text{ Wb}$$

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -4/5 \times 10^{-3}\text{ Wb}$$

الف) طبق رابطه ۲-۴:

$$\varepsilon_{\text{av}} = -N \Delta\Phi / \Delta t = -(1)(-4/5 \times 10^{-3}\text{ Wb}) / (0/45\text{ s}) = +1/0 \times 10^{-2}\text{ V} = 10\text{ mV}$$

ب) طبق رابطه ۳-۴:

$$I_{\text{av}} = \varepsilon_{\text{av}} / R = (1/0 \times 10^{-2}\text{ V}) / (10\Omega) = 1/0 \times 10^{-3}\text{ A} = 1\text{ mA}$$

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

با هر دور چرخش چرخ، آهنربایی که روی پره نصب شده یک بار از کنار پیچه ثابت می‌گذرد. نزدیک و دور شدن آهنربا باعث تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچه می‌شود و طبق قانون فاراده در پیچه نیروی محرکه القایی (یک تپ یا پالس جریان) پدید می‌آید. نمایشگر (رایانه کوچک) تعداد پالس‌ها را در مدت معین می‌شمارد؛ این تعداد همان بسامد چرخش چرخ f است.

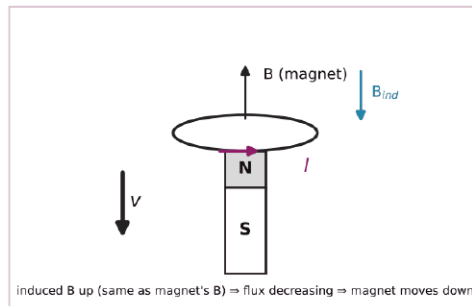
با دانستن شعاع چرخ r ، تندی دوچرخه از رابطه $v = 2\pi r f$ به دست می‌آید و نمایشگر آن را نشان می‌دهد. هرچه چرخ تندتر بچرخد پالس‌ها پشت‌سرهم‌تر می‌شوند و تندی نمایش داده شده بیشتر است.

الف) با توجه به جهت جریان القایی در مدار شکل الف، توضیح دهید که آیا آهنربا رو به بالا حرکت می‌کند یا رو به پایین.

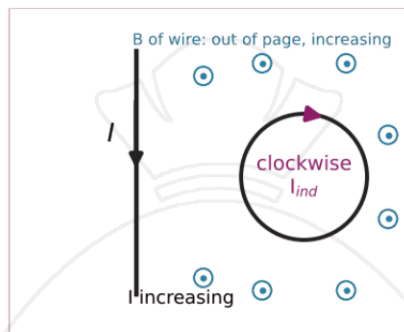
ب) شکل ب سیم بلند و مستقیمی را نشان می‌دهد که جریان عبوری از آن در حال افزایش است. جهت جریان القایی را در حلقهٔ رسانای مجاور سیم تعیین کنید.



الف) از بالا نگاه کنیم، جریان در حلقه پادساعتگرد است (در جلوی حلقه از چپ به راست). با قاعدهٔ دست راست، میدان مغناطیسی القایی درون حلقه رو به بالاست و هم‌جهت با میدان آهنربا (قطب N بالا) است. طبق قانون لنز، جریان القایی با عامل ایجادکننده‌اش مخالفت می‌کند؛ میدان القایی هم‌سو با میدان آهنربا یعنی شار آهنربا در حال کاهش است. پس آهنربا از حلقه دور می‌شود، یعنی رو به پایین حرکت می‌کند.



ب) میدان جریان رو به پایین در سمت راست سیم، برون سو (خارج از صفحه) است و چون جریان افزایش می‌یابد، این شار برون سو در حال افزایش است. طبق قانون لنز، جریان القایی میدانی درون سو ایجاد می‌کند؛ با قاعده دست راست جهت جریان القایی در حلقه ساعتگرد است.



آزمایش

صفحه ۱۱۹

۱۶۸

مداری مطابق شکل الف ببندید.

کلید را وصل کنید. آیا لامپ روشن است؟ اینک کلید را قطع کنید. در لحظه قطع کردن کلید چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دلیل آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود بگفتگو بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

با وصل کلید، لامپ نئون روشن نمی‌شود؛ زیرا ولتاژ باتری (۹ ولت) برای روشن کردن آن کافی نیست و جریان از الگوی بدون مقاومت، یعنی سیم پیچ (القاگر)، می‌گذرد.

در لحظه قطع کلید، لامپ نئون برای مدت بسیار کوتاهی روشن می‌شود (جرقه می‌زند). دلیل: با قطع کلید، جریان القاگر به سرعت کاهش می‌یابد، شار مغناطیسی عبوری از القاگر تغییر می‌کند و به دلیل پدیده خودالقایی، نیروی محرکه القایی بزرگی (چند ده تا چند صد ولت) در القاگر ایجاد می‌شود. این نیروی محرکه طبق قانون لنز، با کاهش جریان مخالفت می‌کند و جریان را برای لحظه‌ای از طریق لامپ برقرار نگه می‌دارد؛ ولتاژ بالای آن لامپ نئون را روشن می‌کند.

۱- تعداد حلقه‌های سیمولوله‌ای بدون هسته، به طول ۲۸cm و سطح ۱۰cm^2 چه تعداد باشد تا ضریب القاوری آن $۱/۰\text{H}$ شود؟

۲- دو سیمولوله بدون هسته با سطح مقطع و تعداد دور یکسان را در نظر بگیرید. اگر طول یکی از سیمولوله‌ها دو برابر دیگری باشد، ضریب القاوری‌اش چند برابر دیگری است؟

(۱) از رابطه ۴-۴، $L = \mu_0 A N^2 / \ell$ ، داریم $N^2 = L \ell / (\mu_0 A)$ ،

$$N^2 = (1/0 \text{ H})(0/28 \text{ m}) / [(4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A})(10 \times 10^{-4} \text{ m}^2)] \approx 2/23 \times 10^8$$

$$N \approx 1/5 \times 10^4 \approx 15000 \text{ حلقه}$$

(۲) چون μ_0 ، A و N یکسان‌اند، L با ℓ نسبت وارونه دارد ($L \propto 1/\ell$). سیمولوله‌ای که طولش دو برابر است:

$$L_2/L_1 = \ell_1/\ell_2 = 1/2$$

یعنی ضریب القاوری سیمولوله بلندتر نصف ضریب القاوری سیمولوله دیگر است.

سیمولوله آرمانی بدون هسته‌ای به طول ۲۲cm و با حلقه‌هایی به مساحت $۰/۴۴\text{cm}^2$ ، شامل $N=2000$ حلقه نزدیک به هم است و جریان $۱/۷۸\text{A}$ از آن می‌گذرد. ضریب القاوری و انرژی ذخیره شده در سیمولوله را حساب کنید.

$$L = \mu_0 A N^2 / \ell = (4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A})(0/44 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(2000)^2 / (0/22 \text{ m}) \approx 1/0 \times 10^{-3} \text{ H} = 1/0 \text{ mH}$$

$$U = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} (1/0 \times 10^{-3} \text{ H})(1/78 \text{ A})^2 \approx 1/6 \times 10^{-3} \text{ J} = 1/6 \text{ mJ}$$

معادله جریان - زمان یک مولد جریان متناوب برحسب یکاهای SI به صورت $i = (4/0 \times 10^{-3}) \sin 250\pi t$ است. الف) جریان در دو لحظه $t_1 = 2/0 \text{ ms}$ و $t_2 = 8/0 \text{ ms}$ چقدر است؟ ب) دوره تناوب جریان را به دست آورید و نمودار جریان - زمان را در یک دوره کامل رسم کنید.

$$\text{الف) } t_1 = 2/0 \text{ ms} = 2/0 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$i_1 = (4/0 \times 10^{-3} \text{ A}) \sin(250\pi \times 2/0 \times 10^{-3}) = (4/0 \times 10^{-3}) \sin(\pi/2) = 4/0 \times 10^{-3} \text{ A} = 4/0 \text{ mA}$$

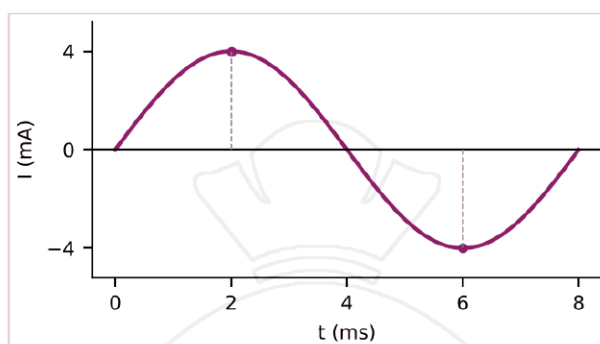
$$t_2 = 8 \text{ ms} = 8 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$I_2 = (4 \times 10^{-3} \text{ A}) \sin(250\pi \times 8 \times 10^{-3}) = (4 \times 10^{-3}) \sin(2\pi) = 0$$

ب) با مقایسه $I = I_m \sin(2\pi t/T)$ با معادله داده شده: $2\pi/T = 250\pi$

$$T = 2/250 = 8 \times 10^{-3} \text{ s} = 8 \text{ ms}$$

بیشینه جریان ۴/۰ mA است. جریان در $t = 0$ صفر، در $t = 2 \text{ ms}$ بیشینه مثبت، در $t = 4 \text{ ms}$ صفر، در $t = 6 \text{ ms}$ بیشینه منفی و در $t = 8 \text{ ms}$ دوباره صفر است:

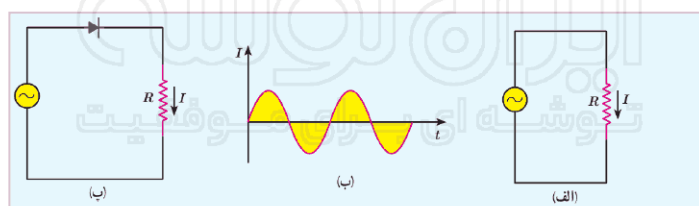


فعالیت

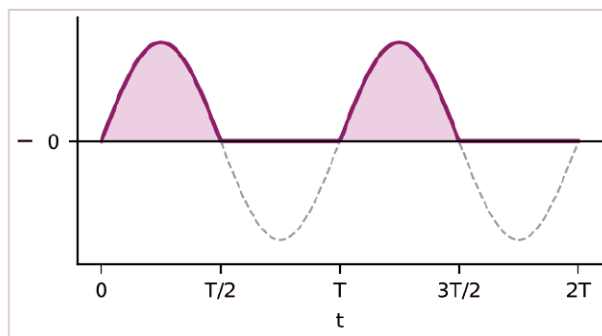
صفحه ۱۲۶

۱۷۲

در فصل ۲ دیدیم که دیود جریان را در یک جهت از خود عبور می‌دهد و در جهت دیگر عبور جریان می‌شود. به همین دلیل آن را یکسوکننده جریان می‌نامند. نمودار شکل ب، تغییرات جریان برحسب زمان را برای مدار شکل الف نشان می‌دهد. پس از گفتگو در گروه خود، نمودار تغییرات جریان برحسب زمان را برای مدار شکل پ رسم کنید.



دیود تنها در یک جهت جریان را عبور می‌دهد؛ در نیم‌دوره مثبت جریان از مدار می‌گذرد و در نیم‌دوره منفی جریان صفر است. بنابراین نمودار جریان فقط نیم‌موج‌های مثبت سینوسی را دارد و در نیم‌دوره‌های دیگر روی محور زمان است (یکسوسازی نیم‌موج؛ نمودار خط چین نیم‌موج حذف شده را نشان می‌دهد).

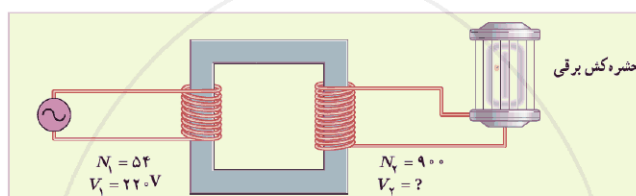


تمرین

صفحه ۱۲۷

۱۷۳

برخی از وسیله‌های برقی، مانند حشره‌کش برقی، برای کار کردن نیاز به ولتاژهای بالا از مرتبه چند هزار ولت دارند. شکل زیر تبدیلی را نشان می‌دهد که ولتاژ لازم را برای کار یک دستگاه حشره‌کش برقی فراهم می‌کند. اگر تعداد دور اولیه مبدل $N_1 = 54$ و تعداد دور ثانویه $N_2 = 900$ باشد، مبدل چه ولتاژی را برای کار کردن دستگاه حشره‌کش تأمین می‌کند؟



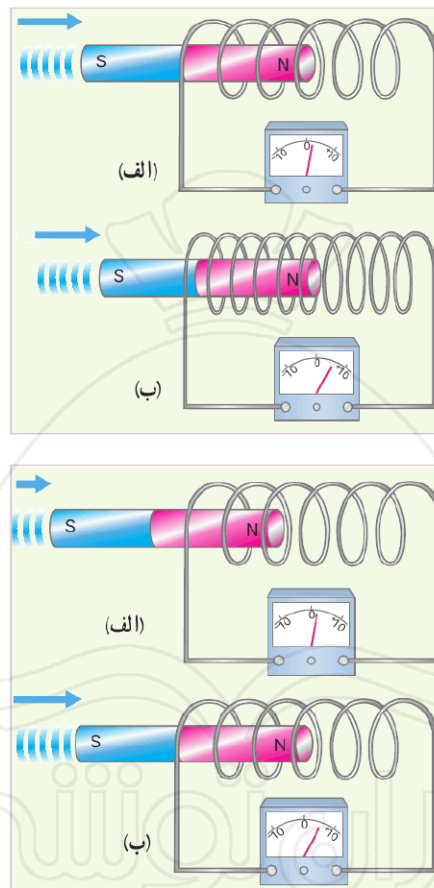
با فرض آرمانی بودن مبدل و $V_1 = 220 \text{ V}$ طبق رابطه ۸-۴:

$$V_2/V_1 = N_2/N_1 \Rightarrow V_2 = (220 \text{ V})(900/54) \approx 3.7 \times 10^3 \text{ V}$$

یعنی مبدل حدود ۳۶۷۰ ولت برای حشره‌کش تأمین می‌کند.

ایران توشه
توشه‌ای برای موفقیت

- مسئله ۱- دو سیمولوله با حلقه‌هایی با مساحت یکسان ولی با تعداد دور متفاوت را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از این شکل‌ها بنویسید. (آهنرباها مشابه‌اند و با تندی یکسانی به طرف سیمولوله‌ها حرکت می‌کنند.)
- مسئله ۲- دو سیمولوله مشابه را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از شکل‌های زیر بنویسید. (آهنرباها مشابه‌اند ولی با تندی متفاوتی به طرف سیمولوله حرکت می‌کنند.)



پاسخ مسئله ۱

آهنرباها یکسان‌اند و با تندی یکسان حرکت می‌کنند؛ پس آهنگ تغییر شار عبوری از هر حلقه $(\Delta\Phi/\Delta t)$ در دو سیمولوله یکی است. طبق قانون فاراده $\varepsilon = -N \Delta\Phi/\Delta t$ ، نیروی محرکه القایی با تعداد دور N متناسب است. در شکل ب تعداد دور بیشتر است؛ بنابراین نیروی محرکه القایی بزرگ‌تر و انحراف عقربه ولت‌سنج بیشتر است (در شکل الف انحراف کمتر است). دریافت: هرچه تعداد دور سیمولوله بیشتر باشد، نیروی محرکه القایی بیشتری ایجاد می‌شود.

پاسخ مسئله ۲

سیمولوله‌ها و آهنرباها مشابه‌اند، پس $\Delta\Phi$ در هر دو حالت یکسان است ولی در شکل ب آهنربا تندتر حرکت می‌کند و بازه زمانی Δt کوتاه‌تر است. در نتیجه آهنگ تغییر شار $\Delta\Phi/\Delta t$ و به دنبال آن نیروی محرکه القایی ($\mathcal{E} = -N \Delta\Phi/\Delta t$) در شکل ب بزرگ‌تر است و عقربه انحراف بیشتری دارد. دریافت: هرچه آهنربا تندتر به سیمولوله نزدیک شود (شار سریع‌تر تغییر کند)، نیروی محرکه القایی و جریان القایی بیشتر است.

مسئله

صفحه ۱۲۸

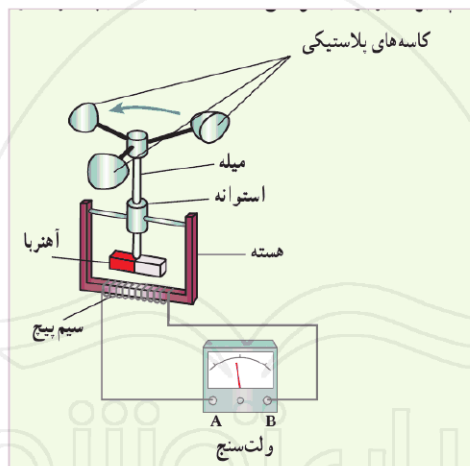
۱۷۵

شکل داده شده ساختمان یک بادسنج را نشان می‌دهد. اگر این بادسنج را روی بام خانه نصب کنیم، به هنگام وزیدن باد میله آن می‌چرخد و ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد.

الف) چرا چرخش میله سبب انحراف عقربه ولت‌سنج می‌شود؟

ب) آیا با افزایش تندی باد، عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟

پ) برای بهبود و افزایش دقت کار دستگاه دو پیشنهاد ارائه دهید.



الف) با چرخش میله، آهنربای متصل به آن نیز می‌چرخد و هنگام عبور از کنار پیچه ثابت، شار مغناطیسی عبوری از پیچه به طور متناوب تغییر می‌کند. طبق قانون فاراده در پیچه نیروی محرکه القایی پدید می‌آید و عقربه ولت‌سنج منحرف می‌شود.

ب) بله. با افزایش تندی باد، میله و آهنربا تندتر می‌چرخند؛ شار مغناطیسی سریع‌تر تغییر می‌کند ($\Delta\Phi/\Delta t$ بزرگ‌تر) و نیروی محرکه القایی بیشتر می‌شود؛ بنابراین عدد ولت‌سنج بزرگ‌تر می‌شود (و می‌توان آن را برحسب تندی باد مدرج کرد).

پ) ۱) افزایش تعداد دور پیچه (چون $\mathcal{E} \propto N$)؛ ۲) استفاده از آهنربای قوی‌تر یا چند آهنربا و نزدیک‌تر کردن آن به پیچه (یا قرار دادن هسته آهنی نرم درون پیچه) تا تغییر شار بیشتر شود؛ ۳) کاهش اصطکاک محور برای چرخش آزادانه‌تر؛ ۴) مدرج کردن ولت‌سنج با یک وسیله استاندارد. (دو مورد از اینها کافی است.)

مسئله ۴- سطح حلقه‌های پیچه‌ای که دارای ۱۰۰۰ حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی که اندازه آن 0.040 T و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت 0.010 s تغییر می‌کند و به 0.040 T در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقه پیچه 50 cm^2 باشد، اندازه نیروی محرکه القایی متوسط در پیچه را حساب کنید.

مسئله ۵- مساحت هر حلقه پیچه‌ای 30 cm^2 و پیچه متشکل از ۱۰۰۰ حلقه است. در ابتدا سطح پیچه‌ها بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت 0.020 s پیچه بچرخد و سطح حلقه‌ها موازی میدان مغناطیسی زمین شود، نیروی محرکه متوسط القایی در آن چقدر است؟ اندازه میدان زمین را 50 G در نظر بگیرید.

پاسخ مسئله ۴

$$N = 1000, A = 50\text{ cm}^2 = 5/0 \times 10^{-3}\text{ m}^2, \theta = 0^\circ \text{ (جهت اولیه را مثبت می‌گیریم).}$$

$$\Phi_1 = B_1 A = (0.040\text{ T})(5/0 \times 10^{-3}\text{ m}^2) = 2/0 \times 10^{-4}\text{ Wb}, \Phi_2 = -2/0 \times 10^{-4}\text{ Wb}$$

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -4/0 \times 10^{-4}\text{ Wb}$$

$$\varepsilon_{av} = -N \Delta\Phi / \Delta t = -(1000)(-4/0 \times 10^{-4}\text{ Wb}) / (0.010\text{ s}) = 40\text{ V}$$

اندازه نیروی محرکه القایی متوسط ۴۰ ولت است.

پاسخ مسئله ۵

$$B = 0.50\text{ G} = 0.50 \times 10^{-4}\text{ T} = 5/0 \times 10^{-5}\text{ T}, A = 30\text{ cm}^2 = 3/0 \times 10^{-3}\text{ m}^2, N = 1000$$

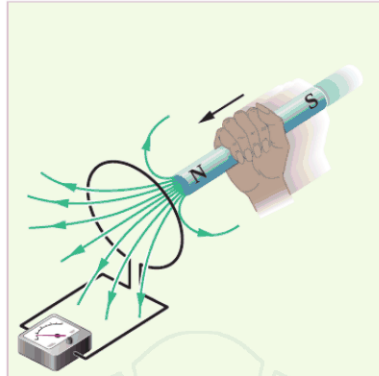
در ابتدا سطح پیچه بر میدان عمود است ($\theta = 0^\circ$) و در پایان موازی میدان است ($\theta = 90^\circ$):

$$\Phi_1 = BA \cos 0^\circ = (5/0 \times 10^{-5})(3/0 \times 10^{-3}) = 1/5 \times 10^{-7}\text{ Wb}, \Phi_2 = BA \cos 90^\circ = 0$$

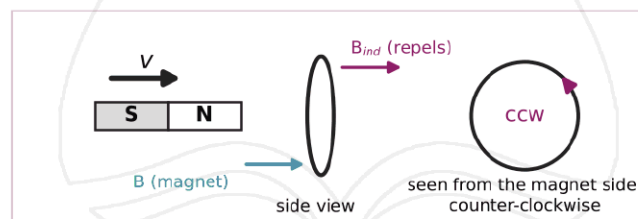
$$\Delta\Phi = -1/5 \times 10^{-7}\text{ Wb}$$

$$\varepsilon_{av} = -N \Delta\Phi / \Delta t = -(1000)(-1/5 \times 10^{-7}\text{ Wb}) / (0.020\text{ s}) = 7/5 \times 10^{-3}\text{ V} = 7/5\text{ mV}$$

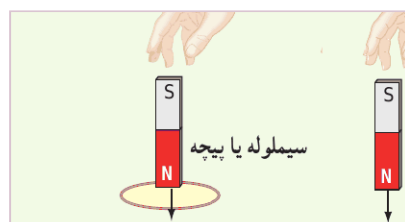
قطب N یک آهنربا را مطابق شکل روبه‌رو به یک حلقهٔ رسانا نزدیک می‌کنیم. جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید.



با نزدیک شدن قطب N، شار مغناطیسی عبوری از حلقه (در جهت میدان آهنربا، یعنی از آهنربا به سمت حلقه) افزایش می‌یابد. طبق قانون لنز، میدان القایی باید با این افزایش مخالفت کند، یعنی در خلاف جهت میدان آهنربا باشد؛ پس وجهی از حلقه که رو به آهنرباست مانند قطب N عمل می‌کند. با قاعدهٔ دست راست، جریان القایی از دید ناظری که از سمت آهنربا به حلقه نگاه می‌کند، پادساعتگرد است.



دو آهنربای میله‌ای مشابه را مطابق شکل، به‌طور قائم از ارتفاع معینی نزدیک سطح زمین رها می‌کنیم به‌طوری‌که یکی از آنها از حلقهٔ رسانایی عبور می‌کند. اگر سطح زمین در محل برخورد آهنرباها نرم باشد، مقدار فرورفتگی آهنرباها را در زمین با یکدیگر مقایسه کنید. (تأثیر میدان مغناطیسی زمین روی آهنرباها را نادیده بگیرید.)



آهنربایی که از حلقه می‌گذرد، شار عبوری از حلقه را تغییر می‌دهد و در حلقه جریان القایی پدید می‌آید. طبق قانون لنز، این جریان با حرکت آهنربا (که عامل تغییر شار است) مخالفت می‌کند، یعنی به آهنربا نیرویی رو به بالا وارد می‌کند. بخشی از انرژی جنبشی آهنربا به انرژی الکتریکی و سپس گرما در حلقه تبدیل می‌شود؛ پس این آهنربا با تندی کمتری به زمین می‌رسد.

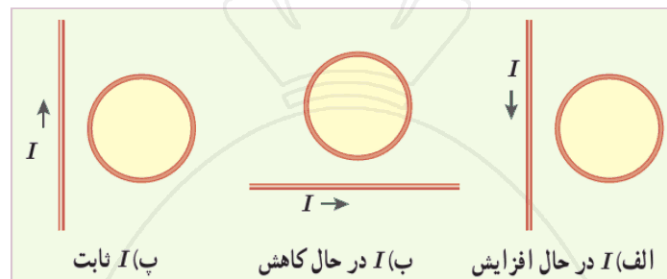
آهنربای دیگر سقوط آزاد دارد و با تندی بیشتر به زمین می‌رسد. در نتیجه فرورفتگی آهنربایی که از حلقه عبور نکرده، در زمین بیشتر از فرورفتگی آهنربای عبورکننده از حلقه است.

مسئله

صفحه ۱۲۹

۱۷۹

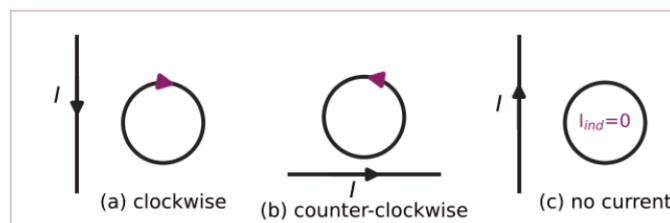
جهت جریان القایی را در هریک از حلقه‌های رسانای نشان داده شده در شکل‌های زیر تعیین کنید.



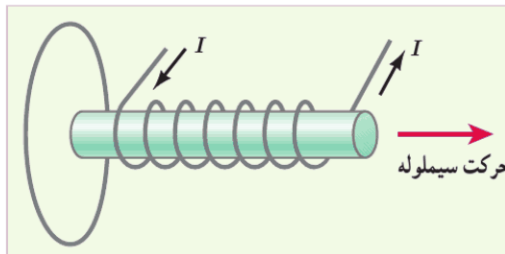
الف) جریان سیم رو به پایین است؛ میدان آن در سمت راست سیم برون‌سو است و چون جریان افزایش می‌یابد، این شار برون‌سو زیاد می‌شود. جریان القایی میدان درون‌سو می‌سازد، پس جریان در حلقه ساعتگرد است.

ب) جریان سیم به راست است؛ میدان آن در بالای سیم (محل حلقه) برون‌سو است و چون جریان کاهش می‌یابد، شار برون‌سو کم می‌شود. جریان القایی میدان برون‌سو می‌سازد، پس جریان در حلقه پادساعتگرد است.

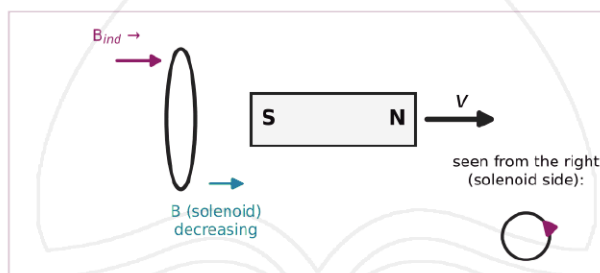
پ) جریان سیم ثابت است؛ شار عبوری از حلقه تغییر نمی‌کند و جریان القایی در حلقه صفر است.



شکل زیر سیمولوله حامل جریانی را نشان می‌دهد که در حال دور شدن از یک حلقهٔ رساناست. جهت جریان القایی را در حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.

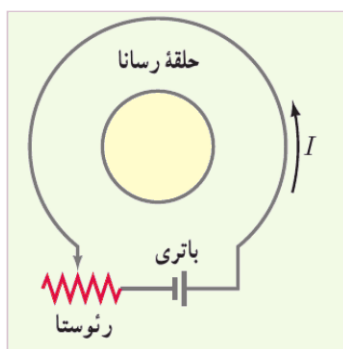


با توجه به جهت پیچش و جریان سیمولوله (قاعدهٔ دست راست)، انتهای سمت راست سیمولوله قطب N و انتهای سمت چپ (نزدیک حلقه) قطب S است؛ پس میدان سیمولوله در محل حلقه به سمت راست (به سوی سیمولوله) است. با دور شدن سیمولوله، شار رو به راست عبوری از حلقه کاهش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریان القایی میدانی هم‌جهت با آن (رو به راست) می‌سازد تا با کاهش شار مخالفت کند. بنابراین جریان القایی از دید ناظری که از سمت سیمولوله (از راست) به حلقه نگاه می‌کند، پادساعتگرد است.

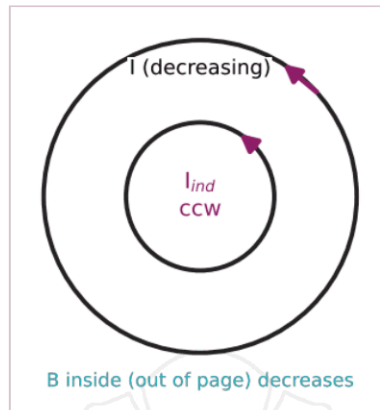


این جواب ممکن است دقیق نباشد.

اگر در مدار شکل زیر مقاومت رنوستا افزایش یابد، جریان القایی در حلقهٔ رسانای داخلی در چه جهتی ایجاد می‌شود؟



جریان مدار بزرگ پادساعتگرد است؛ پس میدان آن درون حلقه برون سو است. با افزایش مقاومت رُوستا، جریان مدار و در نتیجه شار برون سو کاهش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریان القایی میدان برون سو (هم‌جهت با میدان اولیه) می‌سازد تا با کاهش شار مخالفت کند؛ پس جریان القایی در حلقه داخلی پادساعتگرد است.



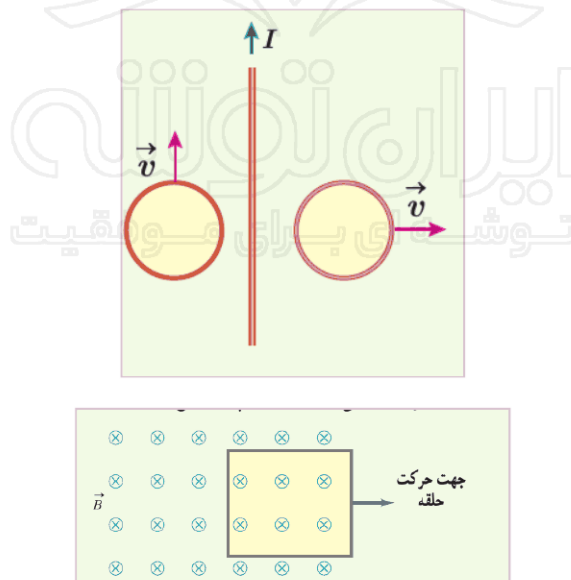
مسئله

صفحه ۱۲۹

۱۸۲

مسئله ۱۱- دو حلقهٔ رسانا در نزدیکی یک سیم دراز حامل جریان ثابت I قرار دارند؛ این دو حلقه با تندی یکسان، ولی در جهت‌های متفاوت مطابق شکل زیر حرکت می‌کنند. جهت جریان القایی را در هر حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.

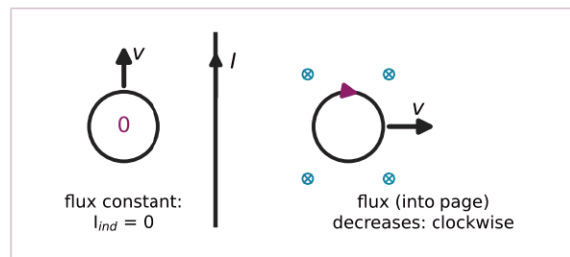
مسئله ۱۲- حلقهٔ رسانای مستطیل شکلی را مطابق شکل زیر به طرف راست می‌کشیم و از میدان مغناطیسی درون‌سویی خارج می‌کنیم. جهت جریان القایی در حلقه در چه جهتی است؟



پاسخ مسئله ۱۱

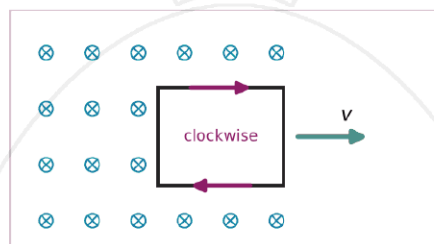
حلقه سمت چپ: حلقه موازی سیم (در راستای میدان‌های هم‌اندازه) حرکت می‌کند و فاصله‌اش از سیم ثابت می‌ماند؛ پس میدان و شار عبوری از آن تغییر نمی‌کند و جریان القایی صفر است.

حلقه سمت راست: میدان جریان رو به بالا در سمت راست سیم درون سو است. حلقه از سیم دور می شود، میدان ضعیف تر می شود و شار درون سو کاهش می یابد. طبق قانون لنز، جریان القایی میدان درون سو می سازد؛ پس جریان در این حلقه ساعتگرد است.



پاسخ مسئله ۱۲

هنگام خروج حلقه از میدان، شار درون سوی عبوری از آن کاهش می یابد. طبق قانون لنز جریان القایی میدانی درون سو (هم جهت با میدان اولیه) ایجاد می کند تا با کاهش شار مخالفت کند؛ بنابراین جهت جریان القایی در حلقه ساعتگرد است.

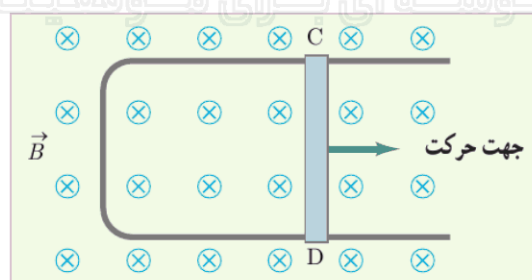


مسئله

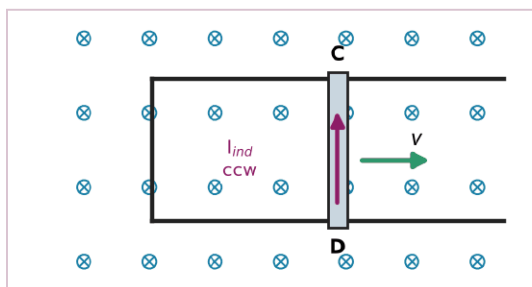
صفحه ۱۲۹

۱۸۳

شکل زیر رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکنواخت B که عمود بر صفحه شکل و رو به داخل صفحه است نشان می دهد. وقتی میله فلزی CD به طرف راست حرکت کند، جهت جریان القایی در مدار در چه جهتی است؟



با حرکت میله به راست، مساحت مدار و در نتیجه شار درون سوی عبوری از آن افزایش می یابد. طبق قانون لنز، جریان القایی میدانی برون سو درون مدار ایجاد می کند تا با افزایش شار مخالفت کند؛ پس جریان در مدار پادساعتگرد است و در میله CD از D به سمت C برقرار می شود (با نیروی $v \times B$ روی بارهای مثبت میله نیز سازگار است).

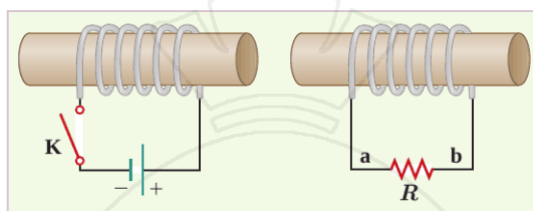


مسئله

صفحه ۱۲۹

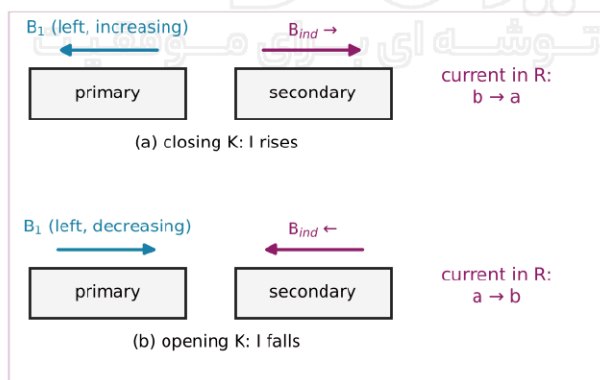
۱۸۴

در مدار نشان داده شده در شکل زیر، جهت جریان القایی را در مقاومت R در هر یک از دو حالت زیر با ذکر دلیل پیدا کنید: الف) در لحظه بستن کلید K ، ب) در لحظه باز کردن کلید K .



با توجه به قطب‌های باتری و جهت پیچش، جریان سیمولوله سمت چپ (اولیه) در جلوی پیچه رو به بالاست و میدان آن در هسته به سمت چپ است. (پیچه‌ها هم جهت پیچیده شده‌اند).
الف) در لحظه بستن کلید جریان از صفر زیاد می‌شود؛ میدان رو به چپ در هسته و شار عبوری از سیمولوله دوم افزایش می‌یابد. طبق قانون لنز در سیمولوله دوم میدان القایی رو به راست پدید می‌آید و جریان القایی در مقاومت R از b به a است.

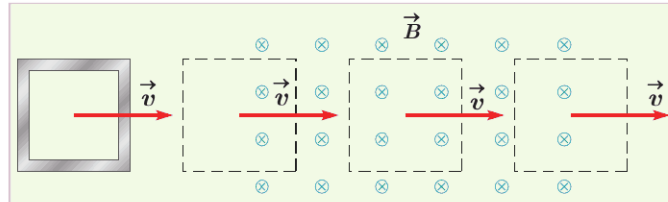
ب) در لحظه باز کردن کلید جریان به صفر می‌رسد؛ شار رو به چپ کم می‌شود و جریان القایی میدانی رو به چپ (هم‌سو با میدان قبلی) می‌سازد؛ پس جهت جریان در R وارونه، یعنی از a به b است.



این جواب ممکن است دقیق نباشد.

حلقهٔ رسانای مربعی شکل، به طول ضلع ۱۰cm وارد میدان مغناطیسی درون‌سویی به اندازهٔ ۲۰mT و سپس از آن خارج می‌شود.

الف) در کدام مرحله شار عبوری از حلقه بیشینه است؟ مقدار شار گذرنده از حلقه در این حالت چقدر است؟
ب) در کدام وضعیت(ها) شار گذرنده از حلقه تغییر می‌کند؟ جهت جریان القایی را در حلقه تعیین کنید.



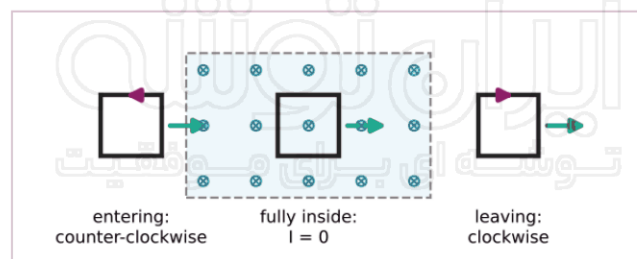
الف) شار وقتی بیشینه است که حلقه کاملاً درون میدان باشد ($\theta = 0^\circ$):

$$A = (0.10\text{ m})^2 = 1.0 \times 10^{-2}\text{ m}^2, \quad B = 20\text{ mT} = 2.0 \times 10^{-3}\text{ T}$$

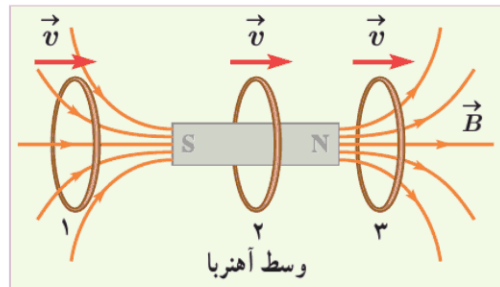
$$\Phi_{\text{max}} = BA = (2.0 \times 10^{-3}\text{ T})(1.0 \times 10^{-2}\text{ m}^2) = 2.0 \times 10^{-4}\text{ Wb}$$

ب) شار فقط هنگام ورود حلقه به میدان (افزایش) و هنگام خروج از آن (کاهش) تغییر می‌کند؛ وقتی حلقه کاملاً داخل میدان (یا بیرون از آن) است، شار ثابت و جریان القایی صفر است.

- هنگام ورود: شار درون سو افزایش می‌یابد؛ جریان القایی میدان برون سو می‌سازد، پس پادساعتگرد است.
- هنگام خروج: شار درون سو کاهش می‌یابد؛ جریان القایی میدان درون سو می‌سازد، پس ساعتگرد است.

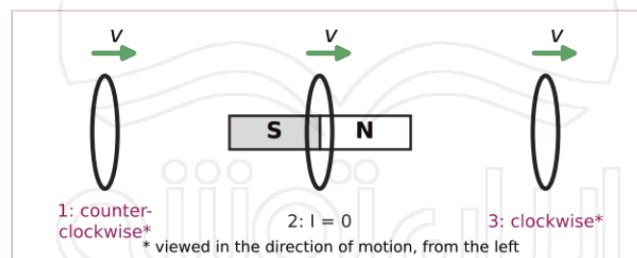


حلقهٔ رسانایی به طرف یک آهنربای میله‌ای حرکت می‌کند. شکل زیر، حلقه را در سه وضعیت نسبت به آهنربا نشان می‌دهد. جهت جریان القایی را در حلقه برای هر وضعیت به طور جداگانه تعیین کنید.



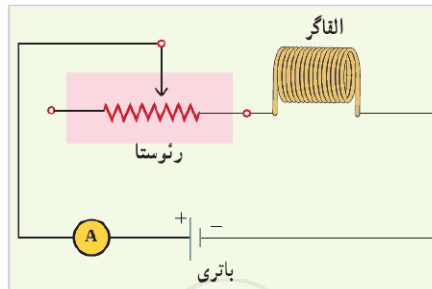
میدان آهنربا در راستای محور (در بیرون آهنربا و درون آن) به سمت راست، از S به N، است.

- وضعیت ۱: حلقه به آهنربا نزدیک می‌شود و شار رو به راست افزایش می‌یابد؛ جریان القایی میدانی رو به چپ می‌سازد. از دید ناظری که در جهت حرکت (از چپ) نگاه می‌کند، جریان پادساعتگرد است.
- وضعیت ۲: حلقه در وسط آهنربا است و شار عبوری از آن در این وضعیت بیشینه است؛ آهنگ تغییر شار در این لحظه صفر است، پس جریان القایی صفر است.
- وضعیت ۳: حلقه از آهنربا دور می‌شود و شار رو به راست کاهش می‌یابد؛ جریان القایی میدانی رو به راست می‌سازد، پس از دید همان ناظر ساعتگرد است.



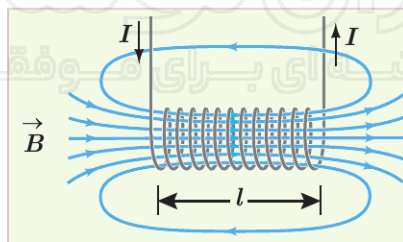
توشه ای برای موفقیت

شکل زیر مداری را نشان می‌دهد؛ شامل یک القاگر (سیمولوله)، باتری، رئوستا و آمپرسنج که به‌طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند. اگر بخواهیم بدون تغییر ولتاژ باتری، انرژی ذخیره شده در القاگر را زیاد کنیم چه راهی پیشنهاد می‌کنید؟



انرژی ذخیره شده $U = \frac{1}{2} L I^2$ است. بدون تغییر ولتاژ باتری می‌توان جریان را افزایش داد؛ با حرکت دادن لغزنده رئوستا مقاومت آن را کم می‌کنیم؛ جریان $I = V/(R+r)$ زیاد می‌شود و انرژی ذخیره شده با مجذور جریان افزایش می‌یابد. راه دیگر افزایش ضریب القاوری L است ($L = \mu_0 A N^2 / \ell$)، مثلاً با افزایش تعداد دور سیمولوله، کم کردن طول آن یا قرار دادن هسته آهنی (فرومغناطیسی) درون سیمولوله.

مساحت هر حلقه و طول سیمولوله شکل زیر به ترتیب 20 cm^2 و 80 cm است. اگر این سیمولوله از ۱۰۰۰ حلقه نزدیک به هم تشکیل شده باشد، الف) ضریب القاوری آن را پیدا کنید. ب) چه جریانی از سیمولوله بگذرد تا در میدان مغناطیسی آن 0.40 mJ انرژی ذخیره شود؟



الف) $A = 20 \text{ cm}^2 = 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ، $\ell = 80 \text{ cm} = 0.80 \text{ m}$ ، $N = 1000$

$$L = \mu_0 A N^2 / \ell = (4\pi \times 10^{-7}) (2.0 \times 10^{-3}) (1000)^2 / 0.80 \approx 3.1 \times 10^{-3} \text{ H} = 3.1 \text{ mH}$$

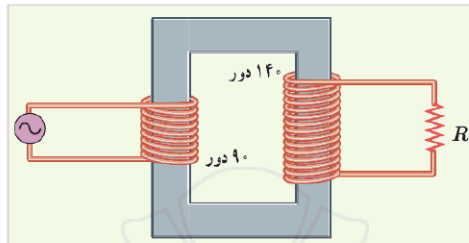
ب) $U = 0.40 \text{ mJ} = 4.0 \times 10^{-4} \text{ J}$

$$U = \frac{1}{2} L I^2 \Rightarrow I = \sqrt{(2U/L)} = \sqrt{(2 \times 4.0 \times 10^{-4} / 3.1 \times 10^{-3})} \approx 0.50 \text{ A}$$

مسئله ۱۹- جریان متناوبی که بیشینه آن $2/0\text{ A}$ و دوره آن $0/020\text{ s}$ است، از یک رسانای $5/0\ \Omega$ می‌گذرد. الف) اولین لحظه‌ای که در آن جریان بیشینه است چه لحظه‌ای است؟ در این لحظه نیروی محرکه القایی چقدر است؟

ب) در لحظه $t = 1/400\text{ s}$ ، جریان چقدر است؟

مسئله ۲۰- در مبدل آرمانی شکل زیر، اگر ولتاژ دوسر مقاومت R برابر $7/0\text{ V}$ باشد، ولتاژ مولد چقدر است؟



پاسخ مسئله ۱۹

الف) جریان متناوب سینوسی $i = I_m \sin(2\pi t/T)$ از صفر شروع می‌شود و برای اولین بار در ربع دوره بیشینه می‌شود:

$$t = T/4 = 0/020 / 4 = 5/0 \times 10^{-3}\text{ s} = 5/0\text{ ms}$$

در این لحظه $\mathcal{E} = IR$

$$\mathcal{E} = (2/0\text{ A})(5/0\ \Omega) = 1/0\text{ V} \quad (\mathcal{E}_m = I_m R = 1/0\text{ V} \text{ بیشینه نیروی محرکه})$$

$$\text{ب) } t = 1/400\text{ s} = 2/5 \times 10^{-3}\text{ s}$$

$$i = I_m \sin(2\pi t/T) = (2/0\text{ A}) \sin(2\pi \times 2/5 \times 10^{-3} / 0/020) = (2/0\text{ A}) \sin(\pi/4) \approx 1/4\text{ A}$$

پاسخ مسئله ۲۰

اولیه (متصل به مولد) $N_1 = 90$ دور و ثانویه (متصل به R) $N_2 = 140$ دور و $V_2 = 7/0\text{ V}$ است. طبق رابطه ۸-۴:

$$V_2/V_1 = N_2/N_1 \Rightarrow V_1 = V_2 N_1/N_2 = (7/0\text{ V})(90/140) = 4/5\text{ V}$$

ولتاژ مولد $4/5$ ولت است.

این فایل توسط سایت ایران توشه تهیه شده است.

irantooshe.ir

