فصل ۱

الکتریسیتهٔ ساکن

۱ بار الکتریکی

با یک شانهٔ پلاستیکی موهایتان را (هنگامی که کاملاً خشک هستند) شانه کنید. حالا این شانه را به خرده‌های کاغذ نزدیک کنید؛ می‌بینید که خرده‌های کاغذ به شانه می‌چسبند. این آزمایش و خیلی از پدیده‌های دیگر (مثل رعدوبرق)، جلوه‌ای از خاصیت الکتریکی (کهربایی[1]) موادند. در مثال زیر سه نمونهٔ دیگر از این پدیده‌ها را نام برده‌ایم.

مثال **کدام‌یک از پدیده‌های زیر بیانگر وجود ماهیت الکتریکی در مواد نیست؟**

۱) جهت‌یابی پرندگان مهاجر ۲) بالارفتن مارمولک از دیوار

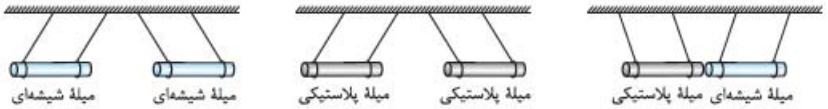
۳) انتقال پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب ۴) تشکیل مولکول‌ها از به هم پیوستن اتم‌ها

پاسخ **گزینهٔ «۱»** جهت‌یابی پرندگان مهاجر، **مغناطیسی** است. در واقع پرندگان مهاجر میدان مغناطیسی زمین را درک می‌کنند و از این توانایی برای جهت‌یابی استفاده می‌کنند. در سه گزینهٔ دیگر، **ماهیت الکتریکی** مواد، بازیگر نقش اصلی است.

انواع بار الکتریکی

آزمایش زیر نشان می‌دهد که دو نوع بار الکتریکی داریم:

آزمایش: دو میلهٔ شیشه‌ای سبک را با پارچهٔ ابریشمی و دو میلهٔ پلاستیکی سبک را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم تا باردار شوند. سپس میله‌ها را مطابق شکل‌های زیر، نزدیک هم آویزان می‌کنیم. جهت‌گیری نخ‌ها، رباییش یا رانش دو میله را نشان می‌دهد. (در شکل‌های زیر به هم‌جنس یا غیرهم‌جنس بودن میله‌ها و نیروی رانش یا رباییش آن‌ها دقت کنید.)



توضیح شکل‌ها: این شکل‌ها نشان می‌دهند که میله‌های با بار غیرهم‌نام یکدیگر را جذب و میله‌های با بار هم‌نام یکدیگر را دفع می‌کنند.

از این آزمایش دو نتیجهٔ مهم می‌گیریم:

۱) دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. چون اگر فقط یک نوع بار وجود داشت، بار همهٔ میله‌ها یکسان می‌شد و میله‌ها بدون توجه به هم‌جنس بودن یا نبودنشان، باید یا فقط همدیگر را جذب می‌کردند یا فقط همدیگر را دفع می‌کردند.

۲) بارهای هم‌نام یکدیگر را می‌رانند و بارهای ناهم‌نام یکدیگر را می‌ربایند.

مثال **دو میلهٔ شیشه‌ای سبک را با پارچهٔ ابریشمی مالش داده، در نزدیکی هم قرار می‌دهیم و نیروهایی را که به هم وارد می‌کنند، بررسی می‌کنیم. از این آزمایش نتیجه می‌گیریم که ..... بار الکتریکی داریم و دو جسم با بارهای هم‌نام یکدیگر را ..... می‌کنند.**

۱) دو نوع ـ جذب ۲) دو نوع ـ دفع ۳) حداقل یک نوع ـ جذب ۴) حداقل یک نوع ـ دفع

پاسخ **گزینهٔ «۴»** در این آزمایش مشاهده می‌کنیم این دو میلهٔ هم‌جنس که به طور مشابه باردار شده‌اند، یکدیگر را دفع می‌کنند. پس نتیجه می‌گیریم **بارهای مشابه (هم‌نام) یکدیگر را دفع می‌کنند** (پس گزینه‌های ۱ و ۳ مرخص‌اند)؛ اما برای این‌که مطمئن شویم دو نوع بار الکتریکی داریم، باید آزمایش دیگری را هم انجام دهیم؛ یعنی باید دو میلهٔ غیرهم‌جنس (مثل میلهٔ شیشه‌ای که با پارچهٔ ابریشمی و میلهٔ پلاستیکی که با پارچهٔ پشمی مالش داده شده) را به هم نزدیک کنیم و از جذب‌شدن آن‌ها بفهمیم که بارهای آن‌ها هم‌نام نیست. بنابراین با آزمایشی که در صورت سؤال آمده فقط می‌توانیم بگوییم که **حداقل یک نوع بار الکتریکی وجود دارد.**

چند نکته

۱) بار الکتریکی، یک کمیت فیزیکی است که آن را با حرف q نشان می‌دهیم و یکای آن در SI، کولن (C) است. البته ۱C بار خیلی بزرگی است[2] و معمولاً در مسائل، بار الکتریکی را برحسب میکروکولن (μC) یا نانوکولن (nC) یا پیکوکولن (pC) می‌دهند؛ به طوری که:

$$1\mu C = 10^{-6}\ C\ ,\ 1nC = 10^{-9}\ C\ ,\ 1pC = 10^{-12}\ C$$

۲) بنیامین فرانکلین دو نوع بار الکتریکی را **بار مثبت** و **بار منفی** نام‌گذاری کرد. مثلاً در آزمایش بالا بار میلهٔ شیشه‌ای مثبت و بار میلهٔ پلاستیکی منفی است. خوبی این نام‌گذاری این است که ما می‌توانیم بارهای الکتریکی مثبت و منفی را با هم جمع جبری کنیم و این یعنی بارهای مثبت و منفی یکدیگر را خنثی می‌کنند.

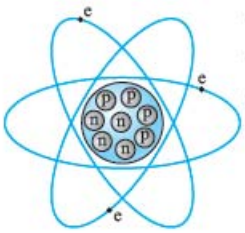
منشأ بارهای الکتریکی و کوانتومی بودن آن‌ها

برای این‌که بفهمیم مواد ویژگی الکتریکی‌شان را از کجا آورده‌اند، باید ببینیم درون اتم چه خبر است و ذرات تشکیل‌دهندهٔ آن چیست.

۱- واژهٔ الکتریسیته از کلمهٔ یونانی الکترون (elektron) به معنی کهربا گرفته شده. کهربا پس از مالش، خرده‌های کاه را می‌رباید، برای همین اسمش را کهربا (کاه‌ربا) گذاشته‌اند.

۲- باری از آذرخش (صاعقه) که به زمین منتقل می‌شود از مرتبهٔ ۱۰ C است.

ساختار اتم‌ها



می‌دانید که ذرات تشکیل‌دهندهٔ اتم، **الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌ها** هستند. پروتون‌ها و نوترون‌ها در فضای کوچکی به نام هسته کنار هم قرار گرفته‌اند و الکترون‌ها در بیرون هسته به دور آن می‌چرخند. از میان این سه ذره، الکترون و پروتون دارای بار الکتریکی هستند. الکترون‌ها (e) **بار منفی** و پروتون‌ها (p) **بار مثبت** دارند و نوترون‌ها (n) هم خنثی (یعنی بدون بار الکتریکی) هستند.

نکته اندازهٔ بار الکتریکی هر پروتون **دقیقاً** برابر اندازهٔ بار الکتریکی هر الکترون است. مقدار بار الکتریکی یک پروتون برابر با $1/6\times10^{-19}\ C$ و مقدار بار الکتریکی یک الکترون برابر با $-1/6\times10^{-19}\ C$ است. مقدار $1/6\times10^{-19}\ C$ را **بار پایه** می‌گوییم[1] و آن را با نماد **e** نشان می‌دهیم.

حواستون باشه! نماد e فقط اندازهٔ بار الکتریکی پروتون و الکترون را نشان می‌دهد و نوع بار (علامت آن) را تعیین نمی‌کند. در جدول زیر بار الکتریکی و جرم ذرات تشکیل‌دهندهٔ اتم را با هم مقایسه کردیم. (نیازی به حفظ‌کردن جرم‌ها نیست.)

ذره	جرم (kg)	بار الکتریکی (C)
الکترون	$m_e = 9/11\times10^{-31}$	$q_e = -e = -1/6\times10^{-19}$
پروتون	$m_p = 1/673\times10^{-27}$	$q_p = +e = +1/6\times10^{-19}$
نوترون	$m_n = 1/675\times10^{-27}$	$q_n = 0$

نکته اگر در یک جسم:

الف) تعداد الکترون‌ها بیشتر از پروتون‌ها باشد، بار جسم منفی است: $n_e > n_p \Rightarrow q < 0$

ب) تعداد پروتون‌ها بیشتر از الکترون‌ها باشد، بار جسم مثبت است: $n_p > n_e \Rightarrow q > 0$

پ) تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها یکسان باشند، بار جسم صفر است و اصطلاحاً می‌گوییم جسم خنثی است: $n_e = n_p \Rightarrow q = 0$

بار الکتریکی کمیتی کوانتومی است

شاید ندانید که کمیت کوانتومی چه جور کمیتی است. پس اول تعریفی از کمیت‌های کوانتومی داشته باشیم.

تعریف کوانتوم و کمیت‌های کوانتومی: بعضی از کمیت‌ها، **مضرب صحیحی** از یک **مقدار ثابت‌اند**. به این مقدار ثابت، **کوانتوم** و به این نوع کمیت‌ها، **کوانتومی** می‌گویند. به زبان ریاضی کمیت‌های کوانتومی را به این صورت بیان می‌کنیم:

کوانتوم × مضرب صحیح = مقدار کمیت کوانتومی

مثلاً در شکل روبه‌رو کپسول‌های آنتی‌بیوتیک درون جعبه، یک کمیت کوانتومی است.

با این تعریف بار الکتریکی، نمونهٔ خوبی برای کمیت‌های کوانتومی است؛ چرا که بار یک جسم همواره مضرب درستی از بار پایه (e) است. هرگاه از یک جسم خنثی nتا الکترون بگیریم، بار جسم برابر $+ne$ و هرگاه به آن جسم nتا الکترون بدهیم، بار جسم برابر $-ne$ می‌شود. بنابراین بار الکتریکی جسم (q) از رابطهٔ روبه‌رو به دست می‌آید:

$$q = \pm ne$$

نکته در رابطهٔ بالا $\pm n$ مضرب صحیح و e مقدار ثابت بار (کوانتوم بار) است.

مثال **بار الکتریکی جسمی $-1\mu C$ است. کدام گزینه دربارهٔ این جسم درست است؟**

۱) این جسم $6/25\times10^{12}$ الکترون دارد.

۲) تعداد الکترون‌های این جسم $6/25\times10^{12}$ تا بیشتر از پروتون‌های آن است.

۳) این جسم $6/25\times10^{18}$ الکترون دارد.

۴) تعداد الکترون‌های جسم $6/25\times10^{18}$ تا بیشتر از پروتون‌های آن است.

پاسخ **گزینهٔ «۲»** هر میکروکولن بار، معادل $10^{-6}\ C$ است؛ پس داریم:

$$q = -ne \Rightarrow n = -\frac{q}{e} = \frac{1\times10^{-6}}{1/6\times10^{-19}} \Rightarrow n = 6/25\times10^{12}$$

علامت منفی q نشان می‌دهد که تعداد الکترون‌های جسم (nتا) بیشتر از پروتون‌ها است.

مثال **با مالش‌دادن یک میلهٔ شیشه‌ای ۸ سانتی‌متری به پارچهٔ ابریشمی، هر سانتی‌متر میله 5×10^{9} الکترون از دست می‌دهد. بار میله چند نانوکولن می‌شود؟ $(e = 1/6\times10^{-19}\ C)$**

۱) $6/4\times10^{-3}$ ۲) $6/4$ ۳) $1/28\times10^{-2}$ ۴) $12/8$

پاسخ **گزینهٔ «۲»** طول میله ۸ cm است؛ پس میله در مجموع $n = 8\times5\times10^{9}$ تا الکترون از دست داده است (بار میله مثبت است). بنابراین بار کل میله برابر است با:

$$q = +ne = +(8\times5\times10^{9})\times(1/6\times10^{-19}) = 6/4\times10^{-9}\ C = 6/4\ nC$$

۱- مقدار دقیق‌تر بار پایه $1/602176530\times10^{-19}\ C$ است.

پایستگی بار الکتریکی

وقتی یک میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم، حدود یک میلیارد (10^9) الکترون از میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ ابریشمی منتقل می‌شود. در اثر این انتقال، بار الکتریکی پارچه $-10^9 e$ و بار الکتریکی میلهٔ شیشه‌ای $+10^9 e$ خواهد شد. همین‌طور که می‌بینید جمع جبری بارهای میلهٔ شیشه‌ای و پارچهٔ ابریشمی هم‌چنان صفر است. این پدیده ما را به این باور می‌رساند که:

«بار خالص در یک دستگاه بسته یا منزوی[1] (مثل سیستم پارچهٔ ابریشمی ـ میلهٔ شیشه‌ای) همواره ثابت است.»

این اصل پرکاربرد را در فیزیک، به عنوان **«قانون پایستگی بار الکتریکی»** می‌شناسیم. این قانون را این‌گونه می‌توان تفسیر کرد که : **«بار الکتریکی نه آفریده می‌شود و نه نابود می‌شود؛ بلکه از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود.»**؛ آن‌چه باعث می‌شود که در یک جسم، بار مثبت و در جسم دیگر بار منفی ظاهر شود، انتقال **الکترون** از یک جسم به جسم دیگر است (مانند انتقال الکترون از میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ ابریشمی).

مثال یک دستگاه بستهٔ الکتریکی به ترتیب شامل سه جسم A، B و C با بارهای الکتریکی $q_A = -12\,\mu C$ ، $q_B = +5\,\mu C$ و $q_C = +4\,\mu C$ است. برای آن‌که در اثر جابه‌جایی بار بین این سه جسم بار هر سه جسم یکسان شود، بار هر جسم چه‌قدر باید تغییر کند؟

۱) $\Delta q_A = 12\,\mu C, \Delta q_B = -5\,\mu C, \Delta q_C = -4\,\mu C$

۲) $\Delta q_A = -12\,\mu C, \Delta q_B = 5\,\mu C, \Delta q_C = 4\,\mu C$

۳) $\Delta q_A = -11\,\mu C, \Delta q_B = +6\,\mu C, \Delta q_C = 5\,\mu C$

۴) $\Delta q_A = 11\,\mu C, \Delta q_B = -6\,\mu C, \Delta q_C = -5\,\mu C$

پاسخ **گزینهٔ «۴»** **گام اول** براساس قانون پایستگی بارهای الکتریکی، مجموع بار سه جسم ثابت می‌ماند؛ پس بار هر جسم بعد از جابه‌جایی برابر با یک سوم مجموع بارها است. یعنی:

$$q'_A = q'_B = q'_C = \frac{q_A + q_B + q_C}{3} = \frac{-12+5+4}{3} = -\frac{3}{3} = -1\,\mu C$$

گام دوم بار هر کدام از جسم‌ها باید به $-1\,\mu C$ برسد. پس تغییرات هر کدام برابر است با:

$$\Delta q_A = q'_A - q_A = -1-(-12) = 11\,\mu C$$
$$\Delta q_B = q'_B - q_B = -1-(+5) = -6\,\mu C$$
$$\Delta q_C = q'_C - q_C = -1-(+4) = -5\,\mu C$$

(همین‌طور که می‌بینید جمع تغییرات بارها برابر صفره، یعنی بار کل ثابت مونده. $\Delta q_A + \Delta q_B + \Delta q_C = 0$ *)*

رسانش الکتریکی

در علوم هشتم خوانده‌اید که اجسام از نظر توانایی عبوردادن بارهای الکتریکی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف) اجسام رسانا: بعضی از اجسام مانند طلا، پلاتین، نقره، مس و سایر فلزات به راحتی بارهای الکتریکی را از خود عبور می‌دهند. به این اجسام **رسانای الکتریکی** می‌گوییم. دلیل رسانابودن این اجسام این است که در ساختار مولکولی‌شان **الکترون آزاد** دارند.

ب) اجسام نارسانا: این اجسام چون الکترون آزاد ندارند، نمی‌توانند بارهای الکتریکی را از خود عبور دهند. اجسامی مثل چوب، لاستیک، تفلون، هوا و خیلی از نافلزات نارسانا هستند و از آن‌ها به عنوان عایق الکتریکی استفاده می‌شود.

پ) اجسام نیم‌رسانا: تعداد الکترون آزاد، در ساختمان سه مادهٔ ژرمانیم، گرافیت و سیلیسیم، به فراوانی اجسام رسانا و نایابی اجسام نارسانا نیست. این اجسام نه رسانای خوبی هستند و نه نارسانای مطمئنی! برای همین به آن‌ها **نیم‌رسانا** می‌گویند.

◀ *وقتش رسیده که اولین تست‌های فیزیک یازدهم رو ببینید، یعنی تستای ۱ تا ۹!*

۲ روش‌های باردارکردن اجسام (مالش)

در کتاب درسی یازدهم فرض بر این گرفته شده که شما روش‌های باردارکردن اجسام رو از علوم هشتم فراموش نکرده‌اید. ولی از اون‌جایی که ما خودمون آدمای فراموشکاری هستیم، تصمیم گرفتیم این مبحث رو یادآوری کنیم و مفاهیم جدید کتاب یازدهم رو هم بازگو کنیم.

اجسام را به سه روش زیر می‌توانیم باردار کنیم:

۱) مالش ۲) القای الکتریکی ۳) تماس

حالا این روش‌ها را یکی‌یکی بررسی می‌کنیم.

۱ـ مالش

هر وقت سطح دو جسم را به هم مالش بدهیم، تعدادی الکترون از سطح یک جسم جدا (کنده) می‌شوند و به سطح جسم دیگر می‌چسبند. با این روش می‌توانیم هم اجسام رسانا و هم اجسام نارسانا را باردار کنیم؛ ولی حواسمان باید به چند نکته باشد:

۱- منظور از دستگاه منزوی در این‌جا دستگاهی است که نه از محیط اطراف خود بار بگیرد و نه به آن بار بدهد.

چند نکته

۱ روش مالش بهترین و راحت‌ترین روش برای باردارکردن اجسام **نارسانا** است؛ ولی برای باردارکردن اجسام رسانا روش‌های بهتری هم وجود دارد.

۲ در اجسام نارسانا، بارهای الکتریکی فقط در محل تماس (مالش) مستقر می‌شوند (چون این اجسام نارسانا هستند و بارها نمی‌توانند در آن‌ها جابه‌جا شوند).

سری الکتریسیتهٔ مالشی (سری تریبوالکتریک): یکی از دغدغه‌های ما این است که بدانیم وقتی یک جسم را به جسم دیگر مالش می‌دهیم، بار کدام‌یک مثبت و بار کدام‌یک منفی می‌شود. در واقع می‌خواهیم بدانیم کدام جسم الکترون از دست می‌دهد و کدام جسم الکترون می‌گیرد. برای همین اجسام را از نظر خاصیت الکترون‌خواهی در جدولی به نام «**سری الکتریسیتهٔ مالشی (سری تریبوالکتریک)**[1]» مرتب می‌کنیم (جدول روبه‌رو). در این جدول هر چه از «انتهای مثبت» سری به «انتهای منفی» آن نزدیک می‌شویم، میزان الکترون‌خواهی زیاد می‌شود. در واقع اگر اجسام بالاتر را به اجسام پایین‌تر جدول مالش دهیم، جسم بالاتر الکترون از دست می‌دهد و مثبت می‌شود و جسم پایین‌تر الکترون می‌گیرد و منفی می‌شود. *(یه خبر خوب! لازم نیست جدول تریبوالکتریک رو حفظ کنید.)*

چند مثال از مالش دو جسم را در جدول زیر آورده‌ایم:

دو جسمی که به هم مالش می‌دهیم	جسمی که بار آن مثبت می‌شود (یعنی الکترون از دست می‌دهد)	جسمی که بار آن منفی می‌شود (یعنی الکترون می‌گیرد)
میلهٔ شیشه‌ای و پارچهٔ ابریشمی	میلهٔ شیشه‌ای	پارچهٔ ابریشمی
میلهٔ پلاستیکی و پارچهٔ پشمی	پارچهٔ پشمی	میلهٔ پلاستیکی
روکش نایلونی و ظرف پلاستیکی	روکش نایلونی	ظرف پلاستیکی
موی انسان و شانهٔ چوبی	موی انسان	شانهٔ چوبی

مثال جسم A را به جسم B و جسم C را به جسم D مالش می‌دهیم. با توجه به جدول سری الکتریسیتهٔ مالشی (سری تریبوالکتریک) روبه‌رو کدام دو جسم یکدیگر را دفع می‌کنند؟

۱) A و B
۲) A و D
۳) B و C
۴) B و D

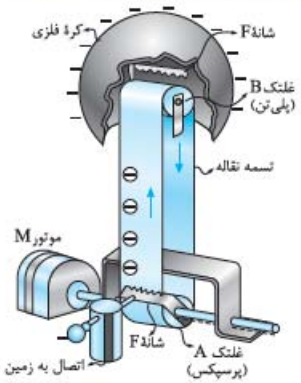
انتهای مثبت سری
A
B
C
D
انتهای منفی سری

پاسخ **گزینهٔ «۴»** براساس سری الکتریسیتهٔ مالشی داده‌شده در صورت سؤال، بار هر کدام از جسم‌ها پس از مالش به صورت جدول زیر خواهد بود:

دو جسمی که به هم مالش می‌دهیم	جسمی که بار آن مثبت می‌شود (یعنی الکترون از دست می‌دهد)	جسمی که بار آن منفی می‌شود (یعنی الکترون می‌گیرد)
A و B	A	B
C و D	C	D

می‌دانید که اجسام با بار هم‌نام یکدیگر را دفع می‌کنند؛ یعنی A و C یا B و D! پس گزینهٔ (۴) درست است.

مولد وان‌دوگراف: شکل روبه‌رو نمونه‌ای از مولد وان‌دوگراف است. مولد وان‌دوگراف دستگاهی است که با باردارکردن کلاهک فلزی‌اش می‌توانیم آزمایش‌های الکتروستاتیکی جذابی را انجام دهیم. آن‌چه شما باید از این دستگاه بدانید در همین حد است که با چرخاندن تسمهٔ لاستیکی آن با روش مالش کلاهک فلزی آن باردار می‌شود. این را هم اضافه‌تر بدانید که بعضی از مولدهای وان‌دوگراف برای ایجاد بار منفی و بعضی دیگر برای ایجاد بار مثبت ساخته شده‌اند.

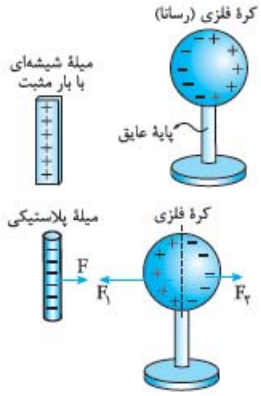


◀ برای این‌که متوجه بشید این درس‌نامه رو خوب یاد گرفتید یا نه تستای ۱۰ تا ۱۵ رو بررسی کنید.

۱- Tribos یک واژهٔ یونانی به معنای مالش است.

۲ روش‌های باردارکردن اجسام (القای الکتریکی و تماس)

۲ـ۲ القای الکتریکی



این‌که بارهای هم‌نام یکدیگر را دفع و بارهای ناهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند، اساس پدیدهٔ القای الکتریکی است. به شکل روبه‌رو نگاه کنید! وقتی یک میلهٔ شیشه‌ای با بار مثبت را به یک کرهٔ فلزی خنثی نزدیک می‌کنیم، الکترون‌های درون کرهٔ فلزی به طرف میلهٔ شیشه‌ای جذب می‌شوند. برای همین، بار یک سمت کرهٔ فلزی منفی و بار در طرف دیگر آن مثبت می‌شود. به این اتفاق **القای الکتریکی** می‌گوییم. در واقع القای الکتریکی جابه‌جاشدن بار الکتریکی درون یک جسم در اثر نیروی جاذبه یا دافعهٔ الکتریکی است.

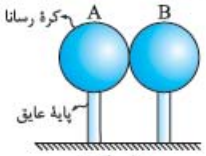
حواستون باشه! در پدیدهٔ القا نیازی به تماس دو جسم (القاکننده و القاشونده) نیست.

نکته در القای الکتریکی همیشه جسم القاکننده و جسم القاشونده همدیگر را جذب می‌کنند. در شکل روبه‌رو می‌بینید که درون کرهٔ فلزی بارهای مثبت به میلهٔ پلاستیکی (که بارش منفی است) نزدیک‌ترند؛ به همین دلیل نیروی جاذبهٔ الکتریکی (F_1) از نیروی دافعه (F_2) قوی‌تر است؛ پس دو جسم همدیگر را جذب می‌کنند.

حالا می‌خواهیم ببینیم که چه‌طور با روش القا می‌توانیم **اجسام رسانا** را باردار کنیم:

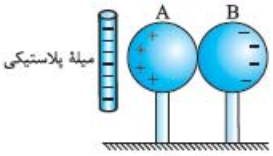
باردارکردن یک جسم رسانا با روش القا: در شکل‌های زیر، باردارکردن با این روش را از دو راه نشان داده‌ایم و توضیحش را هم زیر شکل‌ها آورده‌ایم (شکل‌ها را از راست به چپ ببینید):

راه اول:



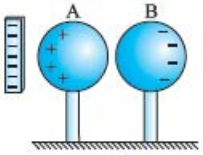
شکل (الف)

دو کرهٔ رسانای A و B خنثی را به هم تماس می‌دهیم.



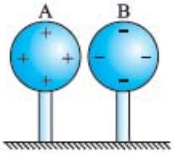
شکل (ب)

یک جسم باردار مثل میلهٔ پلاستیکی با بار منفی را از یک طرف به یکی از کره‌ها نزدیک می‌کنیم. همین‌طور که در شکل نشان داده‌ایم، آرایش بارها روی دو کره تغییر می‌کند.



شکل (پ)

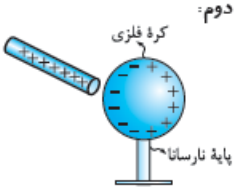
در حالی که میلهٔ پلاستیکی هنوز در نزدیکی کرهٔ A قرار دارد، دو کره را از هم جدا می‌کنیم تا بارهای القاشده در دو کره به دام بیفتند.



شکل (ت)

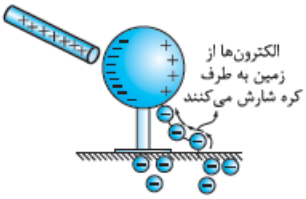
با دورکردن میله، بار کرهٔ A مثبت و بار کرهٔ B منفی می‌ماند.

راه دوم:



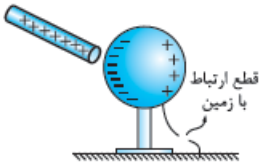
شکل (الف)

یک جسم باردار (مثل میلهٔ شیشه‌ای با بار مثبت) را به یک کرهٔ فلزی نزدیک می‌کنیم. می‌بینید که الکترون‌ها به طرف میلهٔ مثبت کشیده می‌شوند و آرایش بارها روی کره تغییر می‌کند.



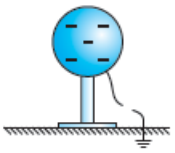
شکل (ب)

در حالی که میلهٔ شیشه‌ای در جای خود قرار دارد، یکی از نقطه‌های کره را به زمین اتصال می‌دهیم. در اثر این اتصال الکترون‌ها از زمین به سطح کره منتقل می‌شوند و بار منفی کره را افزایش می‌دهند.



شکل (پ)

هنوز جسم القاکننده (میلهٔ شیشه‌ای) را دور نکرده‌ایم که ارتباط با زمین را قطع می‌کنیم. به این ترتیب الکترون‌های افزوده‌شده به کره به دام می‌افتند.



شکل (ت)

حالا میلهٔ شیشه‌ای را هم دور می‌کنیم و به این ترتیب بار کره، منفی (مخالف بار میله) می‌شود.

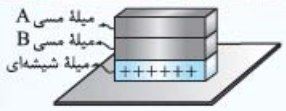
حواستون باشه! *در راه دوم، شکل (ب) فرقی نمی‌کنه که از کدوم طرف کره رو به زمین متصل می‌کنیم. مثلاً اگه طرف منفی (سمت چپ) رو هم به زمین اتصال بدیم، باز هم الکترون از زمین به کره منتقل می‌شه.*

چند نکته

۱ همین‌طور که می‌بینید در هر دو راه که در بالا نشان دادیم، جسم القاکننده (میله) با جسم القاشونده (کره‌ها) تماس نداشتند. برای همین به روش القای الکتریکی، روش باردارکردن **بدون تماس** هم می‌گوییم.

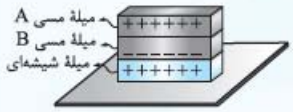
۲ در راه دوم که جسم رسانا را به زمین اتصال می‌دهیم، همیشه بار جسم القاشونده (کرهٔ رسانا) و جسم القاکننده (میلهٔ باردار) مخالف هم می‌شود.

مثال یک میلهٔ شیشه‌ای با بار مثبت روی سطح زمین قرار دارد. مطابق شکل دو میلهٔ مسی خنثی را به آرامی روی آن قرار می‌دهیم. اگر میلهٔ مسی A را برداریم، بار خالص میلهٔ A ..... و بار خالص میلهٔ B ..... خواهد شد. (در هنگام آزمایش دست خود را با دستکش عایق پوشانده‌ایم.)



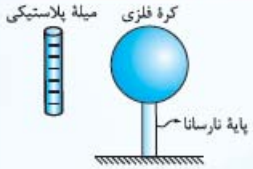
۱) مثبت ـ منفی ۲) منفی ـ مثبت ۳) مثبت ـ مثبت ۴) منفی ـ منفی

پاسخ گزینهٔ «۱» بار مثبت میلهٔ شیشه‌ای، بارهای منفی میله‌های مسی را به سمت خود می‌کشاند. پس میلهٔ B منفی و میلهٔ A مثبت می‌شود (شکل روبه‌رو). حالا اگر میلهٔ A را برداریم، میلهٔ A مثبت و میلهٔ B منفی می‌ماند.



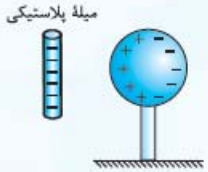
حواستون باشه! چون شیشه نارسانا است، جابه‌جایی بار بین میله‌های مسی و شیشه ناچیز است.

مثال مطابق شکل روبه‌رو یک میلهٔ پلاستیکی با بار منفی را به یک کرهٔ فلزی خنثی نزدیک می‌کنیم. سپس بدون آن‌که میله را دور کنیم برای مدت کوتاهی کره را به زمین اتصال می‌دهیم. در نهایت تجمع بارهای ..... در سطح کره در طرف میله بیشتر بوده و بار کل کره ..... می‌شود.



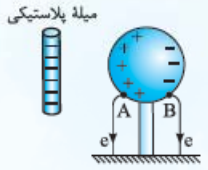
۱) مثبت ـ خنثی ۲) مثبت ـ مثبت
۳) منفی ـ خنثی ۴) منفی ـ منفی

پاسخ گزینهٔ «۲» **گام اول** مطابق شکل (الف) میلهٔ پلاستیکی منفی در اثر القای الکتریکی الکترون‌های سطح کره را دفع می‌کند؛ پس چه قبل از تماس کره با زمین و چه بعد از آن، بارهای مثبت روی سطح کره در طرف نزدیک به میله تجمع می‌کنند.

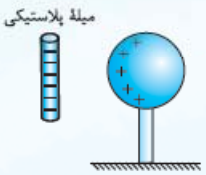


شکل (الف)

گام دوم وقتی کره را به زمین اتصال می‌دهیم، الکترون‌ها از میلهٔ پلاستیکی بیشتر فاصله می‌گیرند؛ یعنی از سطح کره به زمین منتقل می‌شوند (شکل ب). در نتیجه بار کل کره مثبت می‌شود (شکل پ).



شکل (ب)



شکل (پ)

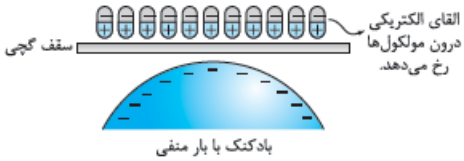
حواستون باشه! فرقی نمی‌کند که کدام نقطهٔ کره را به زمین اتصال بدهیم. در هر صورت الکترون از کره به زمین منتقل می‌شود.

شاید این سؤال‌ها به فکر شما هم رسیده باشد که:

۱) آیا در اجسام نارسانا هم پدیدهٔ القای الکتریکی رخ می‌دهد؟

۲) آیا می‌توانیم اجسام نارسانا را هم با روش القا باردار کنیم؟

پاسخ به سؤال اول: در اجسام نارسانا هم القای الکتریکی دیده می‌شود؛ اما یک تفاوت عمده با القا در اجسام رسانا دارد. اجسام نارسانا برخلاف رساناها الکترون آزاد ندارند؛ در نتیجه الکترون‌ها روی سطح و داخل جسم جابه‌جا نمی‌شوند و القا فقط در درون ذره (مولکول یا اتم) رخ می‌دهد. یعنی در اثر القا، الکترون‌های درون اتم جابه‌جا می‌شوند و یک طرف ذره را مثبت و طرف دیگر آن را منفی می‌کنند و به این ترتیب درون جسم دوقطبی‌های کوچک الکتریکی تشکیل می‌شود (شکل روبه‌رو).



بادکنک باردار در اثر القا، مولکول‌های سطح دیوار یا سقف را دوقطبی می‌کند و به این ترتیب بادکنک به سقف می‌چسبد.

حالا سؤال دوم را یک بار دیگر تکرار می‌کنیم: «آیا می‌توانیم اجسام نارسانا را هم با روش القا باردار کنیم؟» این دفعه پاسخ ما نه! است. می‌دانیم که نارساناها الکترون آزاد ندارند؛ پس نمی‌توانند با یک تماس معمولی به زمین الکترون بگیرند یا از دست بدهند. *(یادتون که نرفته! اجسام نارسانا با روش مالش باردار می‌شن.)*

چند نکته

۱) در شرایط یکسان، اثر القای الکتریکی در جسم رسانا شدیدتر از جسم نارسانا است؛ چون در جسم رسانا الکترون‌ها می‌توانند آزادانه حرکت کنند.

۲) در القای الکتریکی چه در اجسام رسانا و چه در اجسام نارسانا، جسم القاکننده (باردار) و جسم القاشونده (خنثی) یکدیگر را جذب می‌کنند؛ زیرا همیشه جسم القاکننده بار مخالفش را به سمت خودش می‌کشد.

مثال جسم A یک رسانا و جسم B یک نارسانا با مولکول‌های قطبی و جسم C یک نارسانا با مولکول‌های غیرقطبی است. هر سه جسم را نزدیک یک میلهٔ باردار قرار می‌دهیم. میلهٔ باردار ..... (هر سه جسم خنثی هستند.)

۱) هر سه جسم را می‌رباید.
۲) جسم A را می‌رباید و بر جسم B و C بی‌اثر است.
۳) جسم‌های A و B را می‌رباید و بر جسم C بی‌اثر است.
۴) جسم A را می‌راند، جسم B را می‌رباید و بر جسم C، بی‌اثر است.

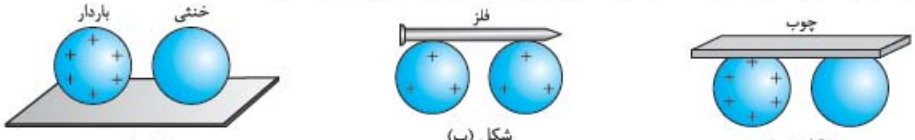
پاسخ **گزینهٔ «۱»** همین‌طور که گفتیم القای الکتریکی در همهٔ اجسام رخ می‌دهد و همیشه جسم القاگر، جسم خنثی را جذب می‌کند.

حواستون باشه! در این تست اگر شکل و اندازهٔ جسم‌ها مشابه و فاصلهٔ هر سه از میلهٔ باردار به یک اندازه باشد، میلهٔ باردار جسم رسانا را با نیروی بزرگ‌تری جذب می‌کند؛ زیرا همان‌طور که گفتیم اثر القای الکتریکی در اجسام رسانا شدیدتر است.

گرده‌افشانی زنبور عسل: گرده‌افشانی زنبور عسل در اثر پدیدهٔ القای الکتریکی است. زنبور عسل در هنگام پرواز معمولاً دارای بار مثبت می‌شود. وقتی زنبور به گردهٔ بدون بار روی بساک گل نزدیک می‌شود، در آن بار الکتریکی القا می‌کند و در نتیجه آن را به سمت خودش می‌کشاند. گرده‌ها بر روی مویژه‌های ریز زنبور قرار می‌گیرند و زنبور آن‌ها را با خود حمل می‌کند. وقتی زنبور به کلالهٔ گل دیگری نزدیک شود، در آن بار منفی القا می‌کند. چون سطح زنبور مثبت و سطح کلاله منفی است، برای جذب گرده با هم رقابت می‌کنند. اگر گرده توسط کلاله جذب شود، گرده‌افشانی با موفقیت رخ داده است. (شکل‌ها را از راست به چپ ببینید.)

۳ تماس

تماس دو جسم **رسانا** به هم، راه را برای انتقال بار بین آن دو جسم باز می‌کند. برای همین اگر مانند شکل‌های زیر یک جسم رسانای باردار را به یک جسم رسانای خنثی تماس دهیم، بلافاصله جسم خنثی باری هم‌نام با جسم باردار پیدا می‌کند.



شکل (الف)
دو کرهٔ رسانای مشابه بر روی سطح نارسانا قرار دارند.

شکل (ب)
تماس از طریق یک جسم رسانا برقرار شده است. بار روی سطح دو کره یکسان خواهد شد.

شکل (پ)
یک جسم نارسانا قادر به برقراری تماس نیست.

چند نکته

۱) براساس قانون پایستگی بارهای الکتریکی، مجموع بار الکتریکی دو جسم قبل و بعد از تماس برابر است:
$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$$

۲) اگر دو کرهٔ فلزی مشابه را به هم تماس دهیم (مثل شکل (ب))، بار الکتریکی به مقدار مساوی بینشان تقسیم می‌شود:
$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

حواستون باشه! برای انتقال بار از روش تماس باید دو جسم و جسم اتصال‌دهنده، رسانا باشند. مثلاً در شکل (پ) بار الکتریکی منتقل نمی‌شود.

مثال دو کرهٔ فلزی مشابه که روی پایه‌های عایقی سوارند، دارای بارهای الکتریکی $q_1 = -2\,\mu C$ و $q_2 = +10\,\mu C$ هستند. اگر این دو کره را با هم تماس دهیم و سپس از هم جدا کنیم، بار الکتریکی هر یک چند میکروکولن می‌شود؟

۱) $+6$ ۲) -6 ۳) $+4$ ۴) -4

پاسخ **گزینهٔ «۳»** مجموع بار دو کرهٔ مشابه، به نسبت مساوی بین آن‌ها تقسیم می‌شود. اگر بار الکتریکی دو کره را پس از تماس، q'_1 و q'_2 بنامیم، خواهیم داشت:
$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{-2+10}{2} \Rightarrow q'_1 = q'_2 = 4\,\mu C$$

مثال کره‌های رسانای A و B به ترتیب حامل بار $+8\,\mu C$ و $-2\,\mu C$ هستند و کرهٔ رسانای C خنثی است. کره‌های A و C را با هم تماس داده، از هم جدا می‌کنیم؛ سپس کرهٔ C را به کرهٔ B تماس داده، جدا می‌کنیم. بار الکتریکی نهایی کره‌های A و B به ترتیب از راست به چپ چند میکروکولن است؟ (کره‌ها مشابه‌اند.)

۱) $+2$ ، $+2$ ۲) $+4$ ، $+2$ ۳) $+4$ ، $+1$ ۴) $+2$ ، $+1$

پاسخ **گزینهٔ «۳»** **گام اول** ابتدا دو کرهٔ A و C را تماس می‌دهیم:
$$q'_A = q'_C = \frac{q_A + q_C}{2} = \frac{+8+0}{2} = +4\,\mu C$$
دیگر با کرهٔ A کاری نداریم و بار آن همین مقدار $+4\,\mu C$ باقی می‌ماند.

گام دوم حالا کرهٔ C را که بارش $+4\,\mu C$ است به کرهٔ B که بارش $-2\,\mu C$ است تماس می‌دهیم:
$$q'_B = q''_C = \frac{q_B + q'_C}{2} = \frac{-2+4}{2} = +1\,\mu C$$
بار نهایی کرهٔ B هم $+1\,\mu C$ می‌شود.

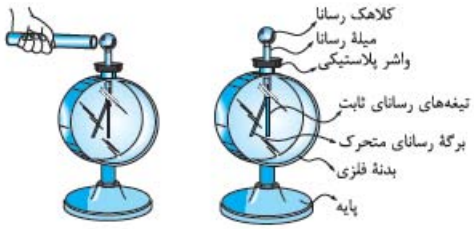
تست‌های ۱۶ تا ۲۸ بی‌صبرانه منتظر شما هستن!

۴ الکتروسکوپ (برق‌نما)

یکی از دستگاه‌های آزمایشگاهی ساده در الکتریسیتهٔ ساکن، الکتروسکوپ (یا همان برق‌نما) است. این وسیله برای بررسی ماهیت الکتریکی مواد به کار می‌رود.

ساختمان الکتروسکوپ

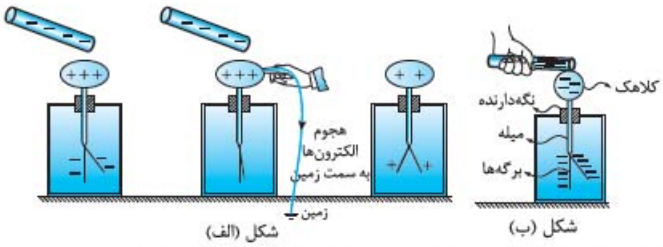
در شکل (الف) تصویر یک الکتروسکوپ و در شکل (ب) اجزای تشکیل‌دهندهٔ این الکتروسکوپ را می‌بینید.



شکل (ب) شکل (الف)

پرسش **چگونه می‌توانیم یک الکتروسکوپ را باردار کنیم؟**

پاسخ الکتروسکوپ را مثل یک جسم رسانا می‌توانیم با روش القا یا روش تماس باردار کنیم. شکل‌های (الف) (از چپ به راست) باردارشدن یک الکتروسکوپ از روش القا و شکل (ب) باردارشدن یک الکتروسکوپ از روش تماس را نشان می‌دهد.



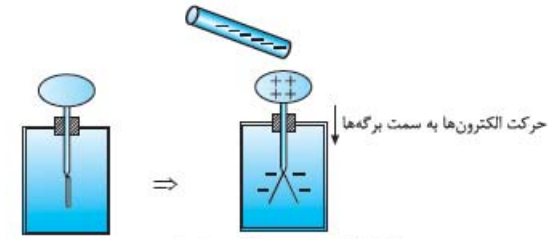
شکل (الف) شکل (ب)

حواسمون باشه! در روش القا، بار الکتروسکوپ مخالف بار جسم القاکننده و در روش تماس، بار الکتروسکوپ هم‌نام بار جسم رسانا می‌شود.

کاربردهای الکتروسکوپ

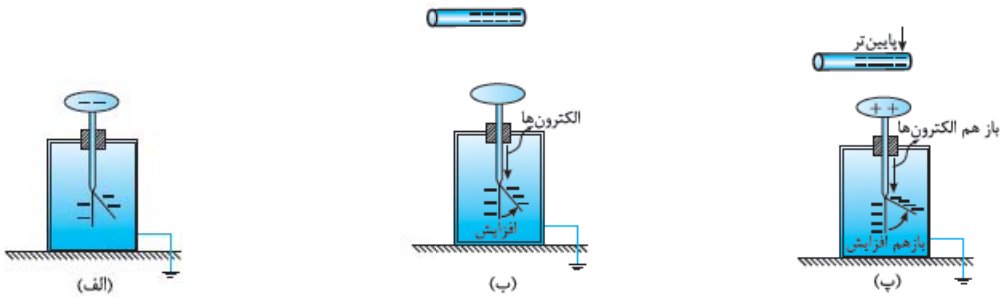
با چند آزمایش ساده کاربردهای الکتروسکوپ را بیان می‌کنیم.

۱- تشخیص وجود بار الکتریکی در یک جسم: برای این کار جسم موردنظر را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم؛ اگر با نزدیک‌کردن جسم، برگه‌ها از هم فاصله گرفتند، یعنی جسم باردار است (شکل روبه‌رو). علت این امر مهاجرت بارهای هم‌نام با جسم از کلاهک به برگه‌ها است. از آن‌جایی که بار برگه‌ها هم‌نام می‌شوند، این دو یکدیگر را می‌رانند.



الکتروسکوپ خنثی — با نزدیک‌شدن جسم باردار، برگه‌ها از هم فاصله می‌گیرند.

۲- تشخیص نوع بار جسم: جسمی با بار نامعلوم را از فاصلهٔ نسبتاً دور، به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ که بار آن معلوم است نزدیک می‌کنیم. اگر مثل شکل‌های (۱) از همان ابتدا برگه شروع به دورترشدن از تیغه کرد، یعنی بار جسم هم‌نام بار الکتروسکوپ است؛ اما اگر مثل شکل‌های (۲) در ابتدا برگه به تیغه نزدیک شد و سپس دور شد، یعنی که بار جسم و الکتروسکوپ مخالف یکدیگر است.

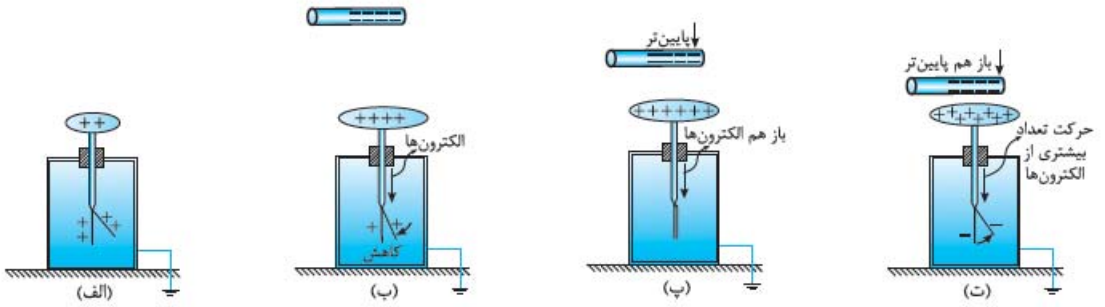


اگر میله را به کلاهک نزدیک کنیم، باز هم الکترون بیشتری از کلاهک به تیغه‌ها منتقل می‌شود (یعنی کلاهک مثبت می‌شود).

با نزدیک‌کردن میله با بار منفی، الکترون‌ها از کلاهک به تیغه‌ها مهاجرت می‌کنند.

بار الکتروسکوپ ابتدا منفی است.

شکل‌های (۱)



و اگر باز هم میله را بیشتر نزدیک کنیم، تیغه‌ها منفی شده و دوباره از هم دور می‌شوند.

اگر میله را نزدیک‌تر کنیم، تیغه‌ها کاملاً خنثی می‌شوند و به هم می‌چسبند.

با نزدیک‌کردن میلهٔ منفی، الکترون‌ها از کلاهک به تیغه‌ها می‌روند و بار مثبت تیغه‌ها را خنثی می‌کنند.

بار الکتروسکوپ ابتدا مثبت است.

شکل‌های (۲)

نکته در شکل‌های (۲) اگر جسم باردار را با سرعت به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنیم، ممکن است بسته‌شدن ابتدایی برگه‌ها را نبینیم و تنها با مشاهدهٔ بازشدن نهایی ورقه‌ها، بار جسم را به اشتباه مانند شکل‌های (۱) هم‌نام با بار الکتروسکوپ تشخیص دهیم.

مثال **یک میلهٔ پلاستیکی با بار منفی را به طور ناگهانی به کلاهک یک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. زاویهٔ بین برگهٔ متحرک و تیغهٔ الکتروسکوپ افزایش می‌یابد. بار الکتروسکوپ کدام است؟**

۱) منفی ۲) خنثی ۳) مثبت ۴) نمی‌توان تعیین کرد

پاسخ **گزینهٔ «۴»** *این مثال رو آوردیم تا اگه نکتهٔ بالا رو نخوندین حتماً بخونین!*

۳- تشخیص رسانا یا نارسانا بودن یک جسم: برای این‌که بفهمیم یک جسم رسانا هست یا نه، کافی است که یک سر جسم موردنظر را در دستمان (بدون دستکش) بگیریم و سر دیگر آن را به کلاهک الکتروسکوپ باردار تماس بدهیم. اگر جسم موردنظر رسانا باشد، تیغه‌های الکتروسکوپ به هم می‌چسبند؛ چون بار الکتریکی از طریق جسم و بدن ما به زمین منتقل می‌شود و الکتروسکوپ خنثی می‌شود.

◀ *بخش اول این فصل تموم شد. تستای مربوط به این درس‌نامه شماره‌های ۲۹ تا ۳۷ هستن.*

پرسش‌های بخش ۱: مفاهیم اولیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن

بار الکتریکی

وقتشه که اولین تست‌های فیزیک یازدهم رو بررسی کنید. اگه درس‌نامهٔ این بخش رو نخوندید، دست به قلم نشید! اول درس‌نامه رو بخونید و بعد بیاید سراغ تست‌ها

۱- بار الکتریکی پروتون، نوترون و الکترون به ترتیب از راست به چپ چند کولن است؟

۱) $1/6\times10^{-19}$ ، $-1/6\times10^{-19}$ و صفر
۲) $-1/6\times10^{-19}$ ، $1/6\times10^{-19}$ و صفر
۳) $1/6\times10^{-19}$، صفر و $-1/6\times10^{-19}$
۴) $-1/6\times10^{-19}$ ، صفر و $1/6\times10^{-19}$

۲- هنگامی که یک صفحهٔ فلزی دارای بار مثبت می‌شود، کدام‌یک از اتفاقات زیر رخ می‌دهد؟

۱) پروتون‌ها از یک جسم دیگر به صفحهٔ فلزی منتقل می‌شوند.
۲) الکترون‌ها از صفحهٔ فلزی به یک جسم دیگر منتقل می‌شوند.
۳) الکترون‌ها از صفحهٔ فلزی به یک جسم دیگر منتقل می‌شوند و پروتون‌ها از یک جسم دیگر به صفحهٔ فلزی منتقل می‌شوند.
۴) بستگی به این دارد که جسمی که بار را به صفحهٔ فلزی انتقال می‌دهد، رسانا است یا عایق!

۳- بار الکتریکی در ماده همواره: (ق.م)

۱) مضرب درستی از بار الکتریکی پایه است.
۲) کمیت پیوسته‌ای است که بی‌نهایت بار قابل تقسیم‌شدن است.
۳) مضربی از یک کولن است.
۴) کمیت پیوسته‌ای است که نمی‌تواند کم‌تر از بار الکتریکی پایه باشد.

۴- چند الکترون باید از یک سکهٔ خنثی خارج شود تا بار الکتریکی آن $+1\mu C$ شود؟ $(e=1/6\times10^{-19}\ C)$ (سراسری ریاضی ۹۵)

۱) $1/6\times10^{6}$ ۲) $1/6\times10^{12}$ ۳) $6/25\times10^{6}$ ۴) $6/25\times10^{12}$

۵- به هر سانتی‌متر از یک میلهٔ عایق ۸ سانتی‌متری، 10^{10} الکترون می‌دهیم. بار این میله چند کولن می‌شود؟ (بار هر الکترون $-1/6\times10^{-19}\ C$ است.)

۱) 2×10^{-8} ۲) -2×10^{8} ۳) $12/8\times10^{-9}$ ۴) $-12/8\times10^{-9}$ (ق.م)

۶- جسمی را به وسیلهٔ مالش باردار کرده‌ایم. کدام گزینه، نمی‌تواند گزارش درستی از مقدار بار این جسم باشد؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19}\ C$)

۱) $3/2 \times 10^{-19}\ C$ ۲) $6/4 \times 10^{-20}\ C$ ۳) $8 \times 10^{-19}\ C$ ۴) $16 \times 10^{-20}\ C$

۷- بار الکتریکی یک کرهٔ فلزی $-8\ \mu C$ است. اگر این کرهٔ فلزی ..... الکترون ..... بار آن خنثی می‌شود.

۱) 2×10^{13}، بگیرد ۲) 2×10^{13}، از دست بدهد ۳) 5×10^{13}، بگیرد ۴) 5×10^{13}، از دست بدهد

۸- عدد اتمی آهن برابر ۲۶ است. بار الکتریکی هستهٔ اتم آهن و اتم آهن به ترتیب از راست به چپ چند کولن است؟

۱) صفر ـ صفر ۲) $41/6 \times 10^{-19}$ ـ $41/6 \times 10^{-19}$

۳) $41/6 \times 10^{-19}$ ـ صفر ۴) $83/2 \times 10^{-19}$ ـ $41/6 \times 10^{-19}$

۹- تعداد پروتون‌های یک جسم خنثی برابر a است. این جسم باید چند الکترون از دست بدهد تا بار آن $32\ \mu C$ شود؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19}\ C$)

۱) 2×10^{12} ۲) 2×10^{13} ۳) 2×10^{14} ۴) باید تعداد پروتون‌ها معلوم باشد.

روش‌های باردارکردن اجسام (مالش)

تو تستای این قسمت با عدد و رقم سروکار نداریم. اما دقت زیادی لازم دارن.

۱۰- وقتی دو جسم جامد در اثر مالش به یکدیگر دارای بار الکتریکی می‌شوند، در این عمل: (ق.۹۰)

۱) پروتون‌ها و الکترون‌ها در دو جسم با هم مبادله می‌شوند.
۲) پروتون‌های یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شوند.
۳) الکترون‌های یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شوند.
۴) یون‌های مثبت و منفی در دو جسم با هم مبادله می‌شوند.

۱۱- اگر یک میلهٔ شیشه‌ای خنثی را با یک پارچهٔ پشمی مالش دهیم، میله دارای بار ..... می‌شود؛ چرا که در اثر مالش، ..... میله ..... می‌یابد.

۱) منفی ـ الکترون‌های ـ افزایش ۲) مثبت ـ الکترون‌های ـ کاهش
۳) منفی ـ پروتون‌های ـ کاهش ۴) مثبت ـ پروتون‌های ـ افزایش

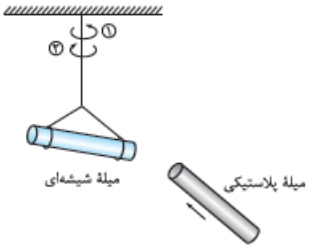
۱۲- اگر یک خط‌کش چوبی را با پارچهٔ ابریشمی و یک میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ کتان مالش دهیم، بار کدام اجسام مثبت می‌شود؟

سری الکتریسیتهٔ مالشی

انتهای مثبت سری
شیشه
ابریشم
چوب
پارچهٔ کتان
انتهای منفی سری

۱) خط‌کش چوبی ـ میلهٔ شیشه‌ای
۲) پارچهٔ ابریشمی ـ پارچهٔ کتان
۳) خط‌کش چوبی ـ پارچهٔ کتان
۴) پارچهٔ ابریشمی ـ میلهٔ شیشه‌ای

۱۳- یک میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ ابریشمی و یک میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. سپس مطابق شکل، میلهٔ پلاستیکی را به میلهٔ شیشه‌ای آویزان از سقف نزدیک می‌کنیم. در این آزمایش، میلهٔ پلاستیکی دارای بار ..... است و میلهٔ شیشه‌ای در جهت ..... می‌چرخد.



انتهای مثبت سری
شیشه
پشم
ابریشم
پلاستیک
انتهای منفی سری

۱) مثبت ـ (۱) ۲) منفی ـ (۱)
۳) مثبت ـ (۲) ۴) منفی ـ (۲)

۱۴- چند مورد از عبارت‌های زیر نادرست است؟

الف) در روش مالش بین دو جسم، همواره بار یک جسم مثبت و بار جسم دیگر منفی می‌شود.
ب) اگر دستمان را با موهای سرمان مالش دهیم، الکترون‌ها از پوست دست به موی سر منتقل می‌شوند.
پ) وقتی دو میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ کتان مالش می‌دهیم، دو میله همدیگر را جذب می‌کنند.
ت) اگر یک بادکنک پلاستیکی را با بدن گربه‌ای مالش دهیم، موهای گربه به دلیل گرفتن بار منفی برافراشته می‌شوند.

سری الکتریسیتهٔ مالشی

انتهای مثبت سری
موی انسان
موی گربه
پوست انسان
پارچهٔ کتان
پلاستیک
انتهای منفی سری

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

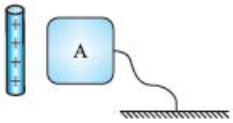
۱۵- در یک جسم ..... بار الکتریکی در محل ایجادشده باقی می‌ماند.

۱) مایع ۲) جامد ۳) نارسانا ۴) رسانا

روش‌های باردارکردن اجسام (القای الکتریکی و تماس)

کلی تست جالب و قشنگ دربارهٔ القای بار الکتریکی طرح کردیم براتون. لذت ببرید ازشون

۱۶- **مطابق شکل، یک میلهٔ پلاستیکی با بار الکتریکی مثبت را به جسم رسانای A نزدیک می‌کنیم. سپس بدون دورکردن میله، جسم A را به وسیلهٔ سیمی، برای چند لحظه به زمین وصل می‌کنیم. در این حالت جسم A:**

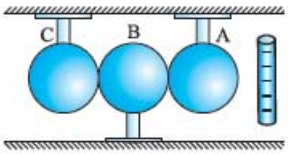


۱) بار الکتریکی منفی پیدا می‌کند.
۲) بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند.
۳) بستگی به بار اولیهٔ جسم A دارد.
۴) خنثی می‌ماند.

۱۷- **یک میلهٔ پلاستیکی را به یک پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم و آن را به یک کرهٔ فلزی خنثی که روی پایهٔ عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم. در این وضعیت، اگر دست خود را روی کره بگذاریم و برداریم و سپس میله را از کره دور کنیم، کره از نظر بار الکتریکی چه وضعیتی خواهد داشت؟**

۱) بار مثبت در سطح خارجی کره پخش می‌شود.
۲) بار منفی در سطح خارجی کره پخش می‌شود.
۳) بار مثبت یا منفی در یک طرف کره جمع می‌شود.
۴) کره خنثی می‌ماند.

۱۸- **مطابق شکل سه گلولهٔ فلزی A، B و C در تماس با هم قرار دارند. اگر میلهٔ باردار را به گلولهٔ A نزدیک کنیم و سپس گلولهٔ A و گلولهٔ C را از گلولهٔ B دور کنیم، بار گلوله‌های B و C چه خواهد بود؟**



۱) خنثی ـ منفی
۲) خنثی ـ مثبت
۳) مثبت ـ منفی
۴) منفی ـ مثبت

۱۹- **در شکل روبه‌رو گلولهٔ فلزی باردار از نخ آویزان است. کرهٔ فلزی خنثی را که دارای دستهٔ نارسانا است به گلوله نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که گلوله ..... می‌شود. وقتی تماس حاصل شد، کره را جدا می‌کنیم و دوباره به آرامی آن را به گلوله نزدیک می‌کنیم و ملاحظه می‌شود که گلوله ..... می‌شود.** *(سراسری تجربی ۸۶)*

۱) جذب ـ دفع
۲) دفع ـ جذب
۳) دفع ـ دفع
۴) جذب ـ جذب

تست‌های بعدی خیلی خوبن! باید خواستون به همهٔ جزئیات باشه.

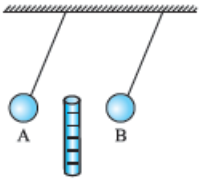
۲۰- **سه جسم A، B و C را دوبه‌دو به یکدیگر نزدیک می‌کنیم. وقتی A و B به یکدیگر نزدیک می‌شوند، همدیگر را با نیروی الکتریکی جذب می‌کنند و اگر B و C را به یکدیگر نزدیک کنیم، یکدیگر را با نیروی الکتریکی دفع می‌کنند. کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند درست باشد؟** *(سراسری تجربی خارج ۹۰)*

۱) A و C بار هم‌نام و هم‌اندازه دارند.
۲) B و C بار غیرهم‌نام دارند.
۳) B بدون بار و C باردار است.
۴) A بدون بار و B باردار است.

۲۱- **سه گلولهٔ A، B و C را در اختیار داریم. اگر گلولهٔ A، گلولهٔ B را جذب و گلولهٔ C را دفع کند، کدام نتیجه حاصل می‌شود؟**

۱) گلولهٔ A و B بار غیرهم‌نام دارند.
۲) گلولهٔ B و C ممکن است همدیگر را جذب کنند.
۳) گلولهٔ A ممکن است بدون بار (خنثی) باشد.
۴) یکی از گلوله‌های B و C الزاماً خنثی است.

۲۲- **مطابق شکل، میلهٔ پلاستیکی باردار را در فاصلهٔ بین دو گلولهٔ آویزان A و B قرار می‌دهیم. مشاهده می‌کنیم که گلوله‌ها به شکل مقابل درمی‌آیند. کدام گزینه درست است؟**



۱) گلوله‌های A و B الزاماً دارای بار غیرهم‌نام هستند.
۲) گلولهٔ B دارای بار مثبت است.
۳) گلولهٔ A می‌تواند خنثی باشد.
۴) گلولهٔ B می‌تواند خنثی باشد.

۲۳- **کدام‌یک از جسم‌های زیر را می‌توان با روش القا باردار کرد؟**

۱) رسانا
۲) نارسانا با مولکول‌های قطبی
۳) نارسانای غیرقطبی
۴) هر سه مورد

۲۴- **هنگام گرده‌افشانی گل‌ها توسط زنبور عسل، چون سطح زنبور دارای بار الکتریکی است، در اثر ..... گردهٔ بدون بار را به سمت خود می‌کشد. هم‌چنین در هنگام انتقال گرده از زنبور به کلاله، بار الکتریکی سطح زنبور و کلاله ..... است.**

۱) القای الکتریکی ـ هم‌نام
۲) القای الکتریکی ـ ناهم‌نام
۳) مالش ـ هم‌نام
۴) مالش ـ ناهم‌نام

۲۵- **اگر بادکنک بارداری را به باریکهٔ آب نزدیک کنیم، آب در اثر پدیدهٔ ..... .**

۱) القای الکتریکی از بادکنک دور می‌شود.
۲) القای الکتریکی به طرف بادکنک خمیده می‌شود.
۳) رسانش الکتریکی از بادکنک دور می‌شود.
۴) رسانش الکتریکی به طرف بادکنک خمیده می‌شود.

۲۶- **یک میلهٔ باردار را به تکه‌های ریز از یک فویل آلومینیمی وخرده‌های کاغذ نزدیک می‌کنیم. میلهٔ باردار به هر تکهٔ آلومینیم نیروی F_1 و به هر تکهٔ کاغذ، نیروی F_2 را وارد می‌کند. کدام گزینه درست است؟ (مساحت تکهٔ آلومینیم و تکهٔ کاغذ با هم برابر و هر دو خنثی هستند.)**

۱) $F_1 > F_2$ ـ هر دو نیرو جاذبه‌اند.
۲) $F_1 < F_2$ ـ هر دو نیرو جاذبه‌اند.
۳) $F_1 > F_2$ دافعه و F_2 جاذبه است.
۴) $F_1 < F_2$ دافعه و F_2 جاذبه است.

یه کم جمع و تفریق هم بد نیست!

۲۷- دو کرهٔ فلزی یکسان دارای بارهای الکتریکی $q_1 = +۶\ \mu C$ و $q_2 = -۲\ \mu C$ روی دو پایهٔ عایق نصب شده‌اند. هرگاه این دو کره را با یکدیگر تماس داده و سپس از هم جدا سازیم، بار الکتریکی هر کره چند میکروکولن می‌شود؟

۱) ۴ ۲) ۲ ۳) ۸ ۴) ۶

۲۸- دو کرهٔ فلزی مشابه A و B روی پایه‌های عایقی قرار دارند. بار الکتریکی کرهٔ فلزی A، ۱۲ μC و بار الکتریکی کرهٔ فلزی B، ۴μC- است. اگر این دو کره را با هم تماس دهیم، ..... الکترون از کرهٔ ..... می‌رود. ($e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C$)

۱) B به A ـ $۲/۵ \times ۱۰^{۱۳}$ ۲) B به A ـ $۲/۵ \times ۱۰^{۱۳}$ ۳) A به B ـ ۵×۱۰^{۱۳} ۴) B به A ـ ۵×۱۰^{۱۳}

الکتروسکوپ(برق‌نما)

با الکتروسکوپ خیلی کارا می‌شه کرد. اگه نمی‌دونید، حتماً حتماً درس‌نامه‌رو بخونید.

۲۹- جسمی با بار مثبت را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی نزدیک کرده و بدون تماس با آن در کنارش نگه می‌داریم. ملاحظه می‌شود ورقه‌های الکتروسکوپ باز شده است. در این حالت بار کلاهک و بار ورقه به ترتیب عبارت‌اند از: (ق.م)

۱) مثبت ـ مثبت ۲) مثبت ـ منفی ۳) منفی ـ مثبت ۴) منفی ـ منفی

۳۰- یک میلهٔ باردار منفی را آهسته به کلاهک یک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک می‌کنیم. هنگامی که این میله در نزدیکی کلاهک الکتروسکوپ قرار می‌گیرد، بار الکتریکی القاشده در کلاهک و ورقه‌ها به ترتیب از راست به چپ کدام‌اند؟

۱) منفی ـ منفی ۲) منفی ـ مثبت ۳) مثبت ـ منفی ۴) مثبت ـ مثبت

۳۱- یک میله را به کلاهک یک الکتروسکوپ بدون بار تماس می‌دهیم و مشاهده می‌کنیم که ورقه‌های الکتروسکوپ باز می‌شوند. در مورد بار این میله چه می‌توان گفت؟

۱) بار میله مثبت است. ۲) بار میله منفی است. ۳) میله بدون بار است. ۴) میله حتماً باردار است.

۳۲- یک میلهٔ آلومینیمی بدون بار را به تدریج به کلاهک یک الکتروسکوپ باردار نزدیک می‌کنیم و مشاهده می‌کنیم که ورقه‌های الکتروسکوپ .....

۱) به آرامی باز می‌شوند. ۲) به آرامی بسته می‌شوند.
۳) تغییری نمی‌کنند. ۴) با توجه به نوع بار ممکن است باز یا بسته شوند.

۳۳- میله‌ای با بار الکتریکی مثبت را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. ورقه‌های الکتروسکوپ نخست بسته و سپس از هم باز می‌شوند. بار الکتریکی قبلی الکتروسکوپ از چه نوع بوده است؟ (ق.م)

۱) مثبت ۲) منفی ۳) خنثی یا مثبت ۴) منفی یا خنثی

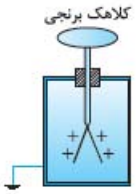
۳۴- یک میلهٔ رسانای بدون بار را به کلاهک یک الکتروسکوپ که بارش مثبت است، تماس می‌دهیم؛ سپس این میله را به کلاهک یک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک می‌کنیم. در این حالت، بار الکتریکی القاشده در کلاهک و ورقه‌های این الکتروسکوپ به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

۱) مثبت ـ منفی ۲) منفی ـ مثبت ۳) مثبت ـ مثبت ۴) منفی ـ منفی

۳۵- یک تکه چوب با بار الکتریکی منفی را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم. در همین حالت، یک میلهٔ فلزی بدون بار را با کلاهک الکتروسکوپ تماس می‌دهیم و جدا می‌کنیم. با دورکردن تکه چوب، ورقه‌ها دارای بار الکتریکی ..... و ..... می‌شوند.

۱) مثبت ـ از هم دور ۲) مثبت ـ به هم نزدیک ۳) منفی ـ از هم دور ۴) منفی ـ به هم نزدیک

۳۶- اگر یک میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش دهیم و آن را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ شکل روبه‌رو که بار مثبت دارد نزدیک کنیم، چه تغییری در انحراف ورقه‌های آن ایجاد می‌شود؟ (ق.م)



۱) بسته می‌شود و به همان حال می‌ماند. ۲) قبل از تماس با کلاهک تغییری حاصل نمی‌شود.
۳) انحراف آن زیادتر می‌شود. ۴) ابتدا به هم نزدیک و سپس دور می‌شود.

۳۷- ظرف استوانه‌ای‌شکل فلزی را روی کلاهک یک الکتروسکوپ بدون بار قرار داده و گلولهٔ کوچک فلزی بارداری را که از نخی ابریشمی آویزان است، داخل ظرف کرده و آن را به نوسان درمی‌آوریم. ورقهٔ الکتروسکوپ: (ق.م)

۱) اصلاً باز نخواهد شد. ۲) باز شده و به همین حالت باقی می‌ماند.
۳) فقط یک بار باز شده و سپس بسته خواهد شد. ۴) مرتب باز و بسته می‌گردد.

حالا وقتشه تستای عمیق‌تر و مفهومی‌تر و سخت‌تری رو ببینید!

سری Z

۳۸- بار الکتریکی دو جسم A و B یکسان است. اگر به کمک مالش $۶/۲۵ \times ۱۰^{۱۲}$ الکترون از جسم A به جسم B منتقل شود، بار جسم A دو برابر بار جسم B می‌شود. پس از انتقال این بار، بار جسم B چند میکروکولن می‌شود؟ ($e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C$)

۱) ۲- ۲) ۳- ۳) ۳ ۴) ۲

۳۹- اگر سر یک قاشق چوبی را با یک قابلمهٔ تفلونی و انتهای آن را با در شیشه‌ای قابلمه مالش دهیم، چه اتفاقی رخ می‌دهد؟

سری الکتریسیتهٔ مالشی

انتهای مثبت سری
شیشه
چوب
تفلون
انتهای منفی سری

۱) سر قاشق بار مثبت و انتهای آن بار منفی می‌گیرد.

۲) سر قاشق بار منفی و انتهای آن بار مثبت می‌گیرد.

۳) بسته به مقدار بار قابلمه و در شیشه‌ای کل قاشق می‌تواند بار مثبت یا منفی بگیرد.

۴) با توجه به این‌که در سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک)، چوب بین شیشه و تفلون قرار دارد، در نهایت تمام سطح قاشق خنثی می‌ماند.

۴۰- چهار جسم A، B، C و D را در اختیار داریم. اگر جسم A و C را با جسم B مالش دهیم، پس از مالش، جسم A و C یکدیگر را جذب می‌کنند. اما اگر همین دو جسم را با جسم D مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند. با توجه به این اتفاق، سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک) این اجسام کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند باشد؟

۱)

انتهای مثبت سری
A
B
D
C
انتهای منفی سری

۲)

انتهای مثبت سری
B
A
D
C
انتهای منفی سری

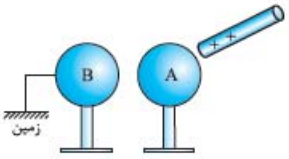
۳)

انتهای مثبت سری
C
B
D
A
انتهای منفی سری

۴)

انتهای مثبت سری
D
A
B
C
انتهای منفی سری

۴۱- در شکل مقابل دو کرهٔ رسانای A و B بر روی پایه‌های عایقی سوارند و B با سیمی به زمین اتصال دارد. در شرایط زیر، بار کرهٔ B به ترتیب در (الف) و (ب) چگونه خواهد بود؟

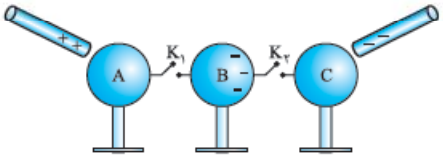


الف) میلهٔ باردار را دور می‌کنیم، سپس اتصال زمین را قطع می‌کنیم.

ب) اتصال زمین را قطع می‌کنیم، سپس میلهٔ باردار را دور می‌کنیم.

۱) خنثی ـ مثبت ۲) مثبت ـ منفی ۳) مثبت ـ خنثی ۴) خنثی ـ منفی

۴۲- سه کرهٔ رسانای مشابه A، B و C بر روی پایه‌های عایقی به شکل روبه‌رو قرار گرفته‌اند. اگر کلید K_1 بسته شود، به اندازهٔ $10\ \mu C$ بار الکتریکی و اگر کلید K_2 بسته شود، به اندازهٔ $12\ \mu C$ بار الکتریکی در کرهٔ B القا می‌شود. اگر هر دو کلید را ببندیم، بار الکتریکی القاشده در کرهٔ B چند میکروکولن خواهد بود؟



۱) ۱- ۲) ۲ ۳) ۲- ۴) صفر

۴۳- در شکل روبه‌رو، در یک لحظه تیغه‌ها به هم چسبیده‌اند. به ترتیب از راست به چپ، بار میله چیست و اگر میله را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک‌تر کنیم، تیغه‌ها دارای چه نوع باری می‌شوند؟

۱) منفی ـ منفی

۲) منفی ـ مثبت

۳) مثبت ـ منفی

۴) مثبت ـ مثبت

پاسخ‌نامهٔ تشریحی

۱- گزینهٔ «۴» از جملهٔ اول تست نتیجه می‌گیریم که شار مغناطیسی گذرنده از حلقهٔ A، ۲ برابر شار مغناطیسی گذرنده از حلقهٔ B است.

یعنی $\frac{\Phi_A}{\Phi_B}=۲$. شعاع حلقهٔ A هم ۲ برابر حلقهٔ B است، پس طبق رابطهٔ $A=\pi r^۲$ برای مساحت حلقه، می‌توانیم بگوییم مساحت حلقهٔ A، ۴ برابر مساحت حلقهٔ B است. پس:

$$\frac{A_A}{A_B}=۴$$

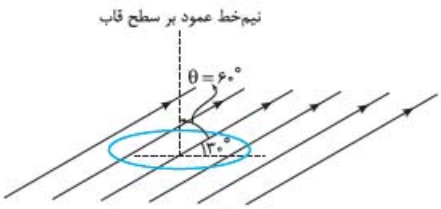
در هر دو حلقه هم خطوط میدان بر سطح حلقه‌ها عمودند، یعنی:

$$\theta=۰ \Rightarrow \cos\theta=۱$$

حالا از رابطهٔ $\Phi=BA\cos\theta$ به شکل مقایسه‌ای استفاده می‌کنیم:

$$\frac{\Phi_A}{\Phi_B}=\frac{B_A}{B_B}\times\frac{A_A}{A_B} \Rightarrow ۲=\frac{B_A}{B_B}\times۴ \Rightarrow \frac{B_A}{B_B}=\frac{۱}{۲}$$

۲- گزینهٔ «۴» حتماً با خواندن درس‌نامه یاد گرفتید که شار عبوری از قابی به مساحت A در میدان مغناطیسی B از رابطهٔ $\Phi=BA\cos\theta$ به دست می‌آید که θ زاویهٔ بین خطوط میدان مغناطیسی با نیم‌خط عمود بر سطح قاب است. در حل تست‌ها هم به بیشترین چیزی که باید دقت کنید θ است. در این تست خطوط میدان مغناطیسی با سطح قاب زاویهٔ ۳۰° می‌سازند، پس زاویهٔ بین خطوط میدان مغناطیسی با نیم‌خط عمود بر سطح قاب باید ۶۰° باشد. بنابراین:



$$A=۵۰\ cm^۲=۵۰\times۱۰^{-۴}\ m^۲$$

$$B=۴۰۰\ mT=۴۰۰\times۱۰^{-۳}\ T$$

$$\theta=۹۰-۳۰=۶۰^\circ$$

$$\Phi=BA\cos\theta=(۵۰\times۱۰^{-۴})\times(۴۰۰\times۱۰^{-۳})\times(\frac{۱}{۲})=۱۰^{-۳}\ Wb$$

۳- گزینهٔ «۲» **گام اول** به کمک رابطهٔ $\Phi=BA\cos\theta$ زاویه‌ای را که نیم‌خط عمود بر سطح با خط‌های میدان می‌سازد، پیدا می‌کنیم: (تبدیل یکای مساحت از سانتی‌متر مربع به متر مربع فراموش نشود.)

$$۸\times۱۰^{-۵}=۰/۲\times۵\times۱۰^{-۴}\times\cos\theta \Rightarrow \cos\theta=\frac{۸\times۱۰^{-۵}}{۱\times۱۰^{-۴}}=۰/۸ \Rightarrow \theta=۳۷^\circ$$

گام دوم *عجله نکن بره!* چون سؤال، زاویهٔ بین سطح با خط‌های میدان (یعنی α) را خواسته:

$$\alpha=۹۰^\circ-\theta=۹۰^\circ-۳۷^\circ=۵۳^\circ$$

۴- گزینهٔ «۲» با سؤال ساده‌ای طرف هستیم. ترجمهٔ جملهٔ «شار مغناطیسی عبوری از حلقه نصف بیشینهٔ شاری است که می‌تواند در این میدان از حلقه عبور کند»، به زبان ریاضی می‌شود $\Phi=\frac{۱}{۲}\Phi_{max}$، پس:

$$\Phi=\frac{۱}{۲}\Phi_{max} \xrightarrow{\frac{\Phi=BA\cos\theta}{\Phi_{max}=BA}} BA\cos\theta=\frac{۱}{۲}BA \Rightarrow \cos\theta=\frac{۱}{۲} \Rightarrow \theta=۶۰^\circ$$

حالا ممکن است با خودتان فکر کنید که کار تمام شده و جواب تست گزینهٔ (۳) است، ولی باید بدانید سخت در اشتباهید! θ زاویهٔ بین نیم‌خط عمود بر سطح حلقه با خطوط میدان است، ولی سؤال چیز دیگری می‌خواهد. زاویه‌ای که خطوط میدان مغناطیسی با سطح حلقه می‌سازند برابر است با $۹۰-۶۰=۳۰^\circ$! یعنی گزینهٔ (۲) درست است.

۵- گزینهٔ «۴» حتماً می‌دانید که شار مغناطیسی عبوری از یک قاب وقتی بیشینه است که قاب بر خطوط میدان مغناطیسی عمود (یعنی $\theta=۰$) باشد و اندازهٔ این شارِ بیشینه برابر است با BA:

$$\Phi=BA\cos\theta \xrightarrow{\theta=۰ \Rightarrow \cos\theta=۱} \Phi_{max}=BA$$

حالا:

$$۴\times۱۰^{-۳}=۰/۲\times A \Rightarrow A=۲۰\times۱۰^{-۳}\ m^۲=۲۰۰\ cm^۲$$

۶- گزینهٔ «۲» **گام اول** ابتدا اندازهٔ میدان مغناطیسی درون سیم‌لوله را به دست می‌آوریم. این کار را در فصل قبل یاد گرفتیم:

$$B=\mu_۰\frac{N}{\ell}I=۴\pi\times۱۰^{-۷}\times\frac{۱۰۰}{۲۰\times۱۰^{-۲}}\times۰/۵=\pi\times۱۰^{-۴}\ T$$

گام دوم حالا می‌توانیم خیلی ساده شار عبوری از سیم‌لوله را به دست آوریم. دقت کنید بچه‌ها! میدان مغناطیسی ناشی از سیم‌لوله، موازی محور سیم‌لوله است؛ پس خطوط میدان مغناطیسی بر سطح مقطع سیم‌لوله عمود است یعنی $\theta=۰^\circ$!

$$A=\pi r^۲=\pi\times۲^۲=۴\pi\ cm^۲=۴\pi\times۱۰^{-۴}\ m^۲$$

$$\theta=۰ \Rightarrow \cos\theta=۱$$

$$\Phi=BA\cos\theta=(\pi\times۱۰^{-۴})\times(۴\pi\times۱۰^{-۴})\times۱=۴\pi^۲\times۱۰^{-۸}\ Wb=۴\times۱۰^{-۷}\ Wb$$

۷- گزینهٔ «۳» تنها دردسر ما در حل این تست، تشخیص زاویهٔ θ است. میدان مغناطیسی در جهت محور x است، یعنی با سطح قاب زاویهٔ ۳۷° می‌سازد، بنابراین با نیم‌خط عمود بر سطح قاب زاویهٔ $\theta=۹۰-۳۷=۵۳^\circ$ می‌سازد. حالا:

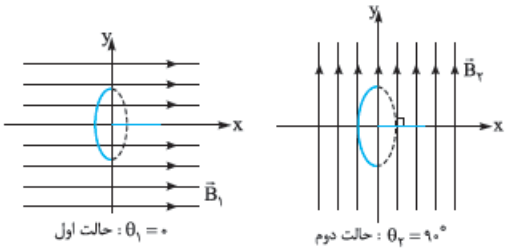
$$A=۳۰\times۳۰=۹۰۰\ cm^۲=۹۰۰\times۱۰^{-۴}\ m^۲$$

$$\theta=۵۳^\circ \Rightarrow \cos\theta=۰/۶$$

$$B=۵۰۰\ G=۵۰۰\times۱۰^{-۴}\ T$$

$$\Phi=BA\cos\theta=(۵۰۰\times۱۰^{-۴})\times(۹۰۰\times۱۰^{-۴})\times(۰/۶)=۲/۷\times۱۰^{-۳}\ Wb=۲/۷\ mWb$$

۸- گزینهٔ «۳» قبل از هر کاری یک شکل مناسب برای هر حالت می‌کشیم.



بد نیست یک بار با هم این موضوع را مرور کنیم که منظور از محور حلقه، خطی است که از مرکز حلقه می‌گذرد و بر آن عمود است.

در شکل‌های رسم‌شده، مشخص است که $\theta_1 = 0$ و $\theta_2 = 90^\circ$ بنابراین:

$$A = \pi r^2 = \pi \times (10)^2 = 100\pi \text{ cm}^2 = 100\pi \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Phi = BA\cos\theta \begin{cases} \theta_1 = 0 : & \Phi_1 = (5\times10^{-2})\times(100\pi\times10^{-4})\times 1 = 5\pi\times10^{-4} \text{ Wb} \\ \theta_2 = 90^\circ : & \Phi_2 = (5\times10^{-2})\times(100\pi\times10^{-4})\times 0 = 0 \end{cases}$$

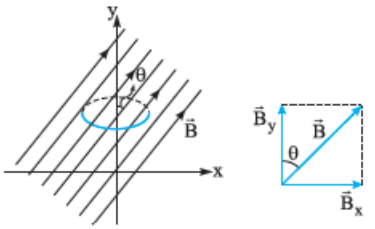
نیزباش! بعد از این‌که شکل‌ها را رسم کردید متوجه می‌شوید که در حالت اول، خطوط میدان از داخل حلقه می‌گذرد، ولی در حالت دوم خیر. بنابراین شار عبوری از حلقه در حالت اول غیرصفر و در حالت دوم صفر است، پس چاره‌ای جز انتخاب گزینهٔ (۳) نداریم.

۹- گزینهٔ «۴» **گام اول** حساب‌کردن بزرگی میدان مغناطیسی که خیلی ساده است.

$$\vec{B} = B_x\vec{i} + B_y\vec{j} \Rightarrow B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} = \sqrt{0/3^2 + 0/4^2} = 0/5 \text{ T}$$

پس یا گزینهٔ (۲) درست است یا گزینهٔ (۴).

گام دوم برای محاسبهٔ شار مغناطیسی عبوری از حلقه، شکل مقابل را رسم می‌کنیم.



در این شکل θ زاویهٔ بین خطوط میدان مغناطیسی با نیم‌خط عمود بر سطح قاب، یعنی محور y است. واضح است که:

$$\cos\theta = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{B_y}{B} = \frac{0/4}{0/5} = \frac{4}{5}$$

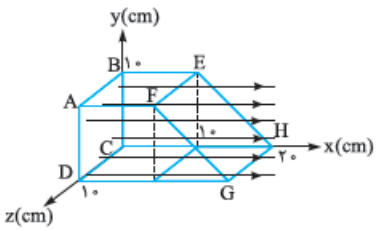
حالا:

$$\Phi = BA\cos\theta = (0/5)\times(200\times10^{-4})\times\frac{4}{5} = 8\times10^{-3} \text{ Wb}$$

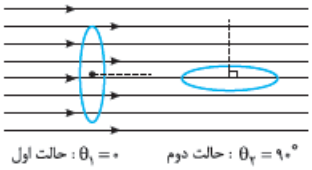
نیزباش! گام دوم را با دردسر کم‌تری می‌توانستیم برداریم. ببینید بچه‌ها شما می‌دانید اگر خطوط میدان مغناطیسی موازی سطح قاب باشد، شاری از قاب عبور نمی‌کند. در این تست هم چون مؤلفهٔ افقی میدان (B_x) موازی سطح حلقه است، بر شار عبوری از حلقه تأثیری ندارد و تنها مؤلفهٔ عمودی میدان (B_y) اثرگذار است. چون B_y بر سطح حلقه عمود است، داریم $\theta = 0$. به عبارت دیگر:

$$\Phi = \overbrace{AB\cos\theta}^{B_y} = AB_y = (200\times10^{-4})\times(0/4) = 8\times10^{-3} \text{ Wb}$$

۱۰- گزینهٔ «۳» شار مغناطیسی عبوری از یک سطح، نشان‌دهندهٔ تعداد خطوط میدان مغناطیسی است که از یک سطح عبور می‌کند. در شکل روبه‌رو حتماً قبول دارید که، هر خط میدانی که از سطح ABCD می‌گذرد، از سطح FEHG هم عبور می‌کند، یعنی تعداد خطوط عبوری از این دو سطح برابر است، پس شار عبوری از دو سطح هم باید یکسان باشد، بنابراین گزینهٔ (۳) درست است. شما می‌توانستید از رابطهٔ $\Phi = BA\cos\theta$ برای هر دو سطح ABCD و FEHG استفاده کنید و خودتان با حساب‌کتاب مشخص کنید که شار عبوری از این دو سطح برابر است.



۱۱- گزینهٔ «۱» **گام اول** ابتدا قاب، عمود بر خطوط میدان مغناطیسی است. پس زاویهٔ بین نیم‌خط عمود، بر سطح قاب با خطوط میدان مغناطیسی یعنی θ_1 برابر صفر درجه است. در حالت دوم قاب در امتداد خطوط میدان مغناطیسی است؛ بنابراین نیم‌خط عمود بر سطح قاب با خطوط میدان زاویهٔ $\theta_2 = 90^\circ$ را می‌سازد.



گام دوم با داشتن زاویه‌ها محاسبهٔ شار مغناطیسی عبوری از قاب خیلی کار ساده‌ای است:

$$A = 20\times20 = 400 \text{ cm}^2 \text{ , } B = 250 \text{ G} = 250\times10^{-4} \text{ T}$$

$$\Phi_1 = BA\cos\theta_1 = 250\times10^{-4}\times400\times10^{-4}\times1 = 10^{-3} \text{ Wb}$$

($\theta_1 = 0$)

$$\Phi_2 = BA\cos\theta_2 = 250\times10^{-4}\times400\times10^{-4}\times0 = 0$$

($\theta_2 = 90^\circ$)

پس شار عبوری از قاب از 10^{-3} Wb به صفر می‌رسد.

۱۲- گزینهٔ «۴» خیلی باید به زاویه‌ها دقت کنید! زاویهٔ خطوط میدان مغناطیسی با سطح قاب 53° است، اما زاویه‌ای که برای ما مهم است، یعنی زاویهٔ بین نیم‌خط عمود بر سطح قاب و خطوط میدان مغناطیسی، برابر $90-53=37^\circ$ است، پس می‌نویسیم: $\theta_1=37^\circ$. این زاویه قرار است تغییر کند، زاویهٔ θ را در حالت دوم با θ_2 نشان می‌دهیم. می‌خواهیم با تغییر زاویه، شار ٪۲۵ کم شود یعنی $\frac{\Phi_2}{\Phi_1}=\frac{75}{100}$؛ پس:

$$\frac{\Phi_2}{\Phi_1}=\frac{75}{100}\Rightarrow\frac{BA\cos\theta_2}{BA\cos\theta_1}=\frac{75}{100}\xrightarrow{\theta_1=37^\circ}\frac{\cos\theta_2}{0/8}=\frac{3}{4}\Rightarrow\cos\theta_2=0/6\Rightarrow\theta_2=53^\circ$$

از این‌جا به بعد هم باید حواستان حسابی جمع باشد. ما θ_2 را 53° به دست آوردیم، پس زاویهٔ خطوط میدان مغناطیسی با سطح قاب در حالت دوم 37° است. بنابراین این زاویه از 53° به 37° رسیده است، یعنی 16° کاهش یافته!

۱۳- گزینهٔ «۳» با تغییر مساحت، میدان مغناطیسی و زاویهٔ بین قاب و خطوط میدان، شار عبوری از قاب تغییر می‌کند. در این تست فقط میدان مغناطیسی عوض شده است، پس:

$$\Phi=BA\cos\theta\xrightarrow{\text{عامل تغییر شار: B}}\Delta\Phi=\Delta B\times A\times\cos\theta$$

اول ΔB را حساب می‌کنیم:

$$\Delta B=B_2-B_1=(-250)-(450)=-700\,G=-700\times10^{-4}\,T$$

و بعد سراغ $\Delta\Phi$ می‌رویم:

$$A=20\times30=600\,cm^2=600\times10^{-4}\,m^2$$

$$\theta=0\Rightarrow\cos\theta=1$$

$$\Delta\Phi=\Delta B\times A\times\cos\theta=(-700\times10^{-4})\times(600\times10^{-4})\times1=-42\times10^{-4}\,Wb$$

یعنی شار عبوری از قاب $42\times10^{-4}\,Wb$ تغییر می‌کند.

حواستون باشه! *تو حساب‌کردن $\Delta B=B_2-B_1$ علامت‌های B_1 و B_2 رو باید تو رابطه قرار بدیم، یعنی اگر بنویسیم $\Delta B=(250)-(450)=-200$ اشتباه کردیم. میدان مغناطیسی اول بوده $450\,G$ در یه جهت، حالا شده $250\,G$ در خلاف جهت اولیه، پس میدان به اندازهٔ $700\,G$ تغییر کرده! (اگه بخوایم کمی شیک‌تر بگیم، باید بگیم که، «میدان یک کمیت برداری است و جهت آن در محاسبات تأثیرگذار!»*

۱۴- گزینهٔ «۱»

$$\text{آهنگ متوسط تغییر چیز}=\frac{\Delta(\text{چیز})}{\Delta t}$$

بنابراین در این تست هم آهنگ متوسط تغییرات شار مغناطیسی را در ۵ ثانیه به دست می‌آوریم. ۵ ثانیهٔ اول یعنی از $t_1=0$ تا $t_2=5\,s$، بنابراین:

$$\left.\begin{matrix}t_1=0\Rightarrow\Phi_1=3\,Wb\\t_2=5\Rightarrow\Phi_2=8\,Wb\end{matrix}\right\}\Rightarrow\text{آهنگ متوسط تغییر شار}=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Phi_2-\Phi_1}{t_2-t_1}=\frac{8-3}{5-0}=1\,Wb/s$$

۱۵- گزینهٔ «۱» **گام اول** ابتدای کار، میدان مغناطیسی بر سطح قاب عمود است، بنابراین در رابطهٔ $\Phi=BA\cos\theta$، $\theta_1=0$ است. در حالت دوم این زاویه به 180° رسیده است، یعنی $\theta_2=180^\circ$.

گام دوم عامل تغییر شار مغناطیسی، تغییر زاویه است. پس:

$$\Delta\Phi=BA(\cos\theta_2-\cos\theta_1)=(50\times10^{-4})\times(100\times10^{-4})\times\big((-1)-(1)\big)=-10^{-4}\,Wb$$

گام سوم حالا آهنگ متوسط تغییرات شار را به دست می‌آوریم. (آهنگ متوسط تغییر یک کمیت یعنی تغییرات آن کمیت نسبت به زمان.)

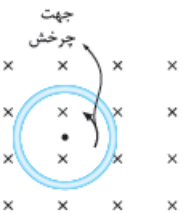
$$\text{آهنگ متوسط تغییر شار}=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{-10^{-4}}{0/5}=-2\times10^{-4}\,Wb/s\Rightarrow\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=2\times10^{-4}\,Wb/s$$

۱۶- گزینهٔ «۲» تنها شرط لازم برای این‌که در قابی فلزی جریان القا شود، این است که شار عبوری از آن در حال تغییر باشد! همین! دقت کنید زیاد یا کم بودن شار مغناطیسی عبوری از حلقه، هیچ تأثیری در القاشدن یا نشدن جریان الکتریکی ندارد.

۱۷- گزینهٔ «۲» در گزینه‌های (۱) و (۲) سیم حامل جریان در داخل حلقه میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. در گزینهٔ (۱) با دورشدن حلقه از سیم، میدان مغناطیسی عبوری از حلقه تغییر کرده و به دلیل تغییر شار مغناطیسی عبوری از آن، در حلقه جریان القا می‌شود. اما در گزینهٔ (۲) با حرکت حلقه به طرف چپ هیچ‌کدام از کمیت‌های A (مساحت حلقه)، B (میدان مغناطیسی عبوری از حلقه)، زاویهٔ بین میدان مغناطیسی و قاب تغییری نمی‌کند. بنابراین چون شار عبوری از حلقه ثابت است، جریانی در حلقه القا نمی‌شود.

در گزینه‌های (۳) و (۴) مساحت حلقه‌ها در حال تغییر است و در حلقه‌ها جریان الکتریکی القا می‌شود.

۱۸- گزینهٔ «۴» بررسی گزینه‌های (۱) و (۲): وقتی قاب با سرعت ثابت یا متغیری به سمت راست حرکت می‌کند، مساحت قاب، اندازهٔ میدان مغناطیسی و زاویهٔ میدان مغناطیسی با قاب عوض نمی‌شوند؛ بنابراین شار عبوری از قاب هم تغییر نمی‌کند و جریانی در آن القا نمی‌شود.



گزینهٔ (۳): همان‌طور که در شکل روبه‌رو می‌بینید وقتی قاب حول محور عمود بر مرکزش می‌چرخد، شار عبوری از آن تغییری نمی‌کند و جریانی در آن القا نمی‌شود.

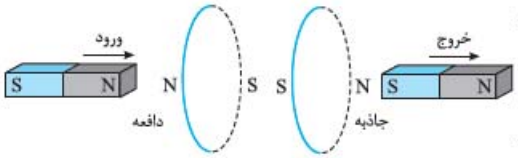
گزینهٔ (۴): اما اگر قاب حول یکی از قطرهایش بچرخد، به دلیل تغییر زاویه، شار عبوری از آن در آن جریان الکتریکی القا می‌شود.

نهزباش! بچه‌ها در هر حالت از خودتان بپرسید که آیا تعداد خطوط میدان مغناطیسی که از داخل قاب عبور می‌کند، در حال تغییر است؟ اگر جواب مثبت بود در آن قاب، جریان الکتریکی القا می‌شود.

۱۹- گزینهٔ «۴» برای این‌که در این حلقه جریان الکتریکی القا شود، باید شار مغناطیسی عبوری از آن در حال تغییر باشد. شار مغناطیسی هم وقتی در حال تغییر است که میدان مغناطیسی، مساحت حلقه یا زاویهٔ میدان مغناطیسی با حلقه در حال تغییر باشد. وقتی حلقه در جهت محور x، y یا z حرکت می‌کند، هیچ‌کدام از این ۳ کمیت تغییری نمی‌کنند پس جریانی در حلقه القا نمی‌شود. اما اگر حلقه حول یکی از قطرهایش بچرخد، زاویهٔ میدان مغناطیسی با حلقه و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از آن تغییر کرده و در حلقه جریان الکتریکی القا می‌شود.

۲۰- گزینهٔ «۳» *حرف خاصی برای گفتن نداریم!* جریان القایی در جهتی است که به نحوی از تغییر شار جلوگیری کند. این تغییر ممکن است به شکل کاهش یا افزایش باشد.

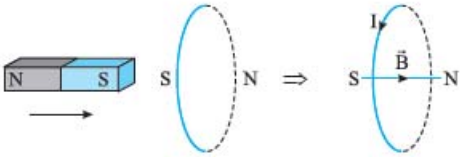
۲۱- گزینهٔ «۳» طبق قانون لنز، جهت جریان القایی در این حلقه طوری است که با عامل تغییر شار مخالفت کند. با القای جریان در حلقه، حلقه به یک آهن‌ربا تبدیل می‌شود. هنگام ورود آهن‌ربا، حلقه طوری به آهن‌ربا تبدیل می‌شود که از ورود آهن‌ربا جلوگیری کند، بنابراین آن را دفع می‌کند. هنگام خروج آهن‌ربا نیز، حلقه از دورشدن آهن‌ربا جلوگیری می‌کند، پس آن را جذب می‌کند.



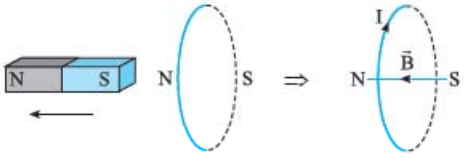
حواسشون باشه! *در مورد جهت جریان القایی، اگه با یه موضوعی کنار بیایید به سؤالاش خیلی راحت می‌تونید جواب بدید و اون یه موضوع اینه که جهت جریان القایی همیشه براساس «اصل لجبازیه»!!! یعنی چی؟ یعنی این‌که جریان القایی همیشه ساز مخالف داره! همیشه مخالف! شما بخواید شارش رو زیاد کنید خودش سعی می‌کنه کم کنه، شما بخواید کمش کنید، خودش سعی می‌کنه زیاد کنه! همین.*

۲۲- گزینهٔ «۴» در شکل هر گزینه، جهت جریان القایی را تعیین می‌کنیم.

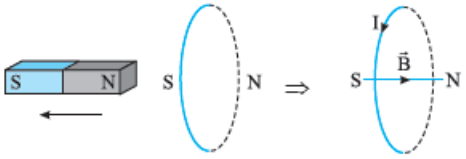
گزینهٔ (۱): حلقه باید از نزدیک‌شدن آهن‌ربا جلوگیری کند:



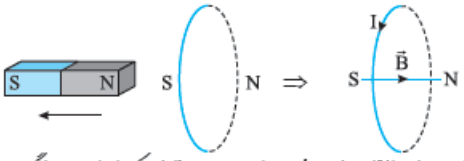
گزینهٔ (۲): حلقه باید از دورشدن آهن‌ربا جلوگیری کند:



گزینهٔ (۳): حلقه باید از دورشدن آهن‌ربا جلوگیری کند:



گزینهٔ (۴): حلقه باید از دورشدن آهن‌ربا جلوگیری کند:

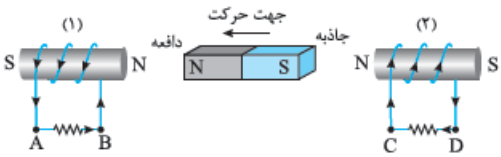


تکنیک *به گزینه‌های (۳) و (۴) نگاه کنید. قطب‌های آهن‌ربا و جهت حرکت آهن‌ربا عین همن و جهت‌های جریان القایی با هم فرق داره، پس به تاچار یکی از این دوتا گزینه جواب تسته! یعنی از همون اول کافیه فقط این دو گزینه رو بررسی کنیم.*

بنابراین گزینهٔ (۴) درست است.

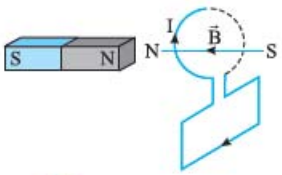
۲۳- گزینهٔ «۳» آهن‌ربای (الف) در مسیر سقوط خود قرار است از درون حلقه‌ای عبور کند. هم هنگام ورود آهن‌ربا به حلقه و هم هنگام خروجش حلقه از حرکت آهن‌ربا جلوگیری می‌کند، یعنی سعی می‌کند سرعت آهن‌ربا را کم کند؛ بنابراین حلقهٔ (الف) با سرعت کم‌تری به زمین برخورد می‌کند. این نتیجه‌گیری‌ها براساس قانون لنز است.

۲۴- گزینهٔ «۱» وقتی آهن‌ربا به سمت چپ حرکت می‌کند، سیم‌لولهٔ (۱) از نزدیک‌شدن و سیم‌لولهٔ (۲) از دورشدن آهن‌ربا جلوگیری می‌کند (به عبارتی هر دو از حرکت آهن‌ربا جلوگیری می‌کنند). بنابراین قطب‌های دو سیم‌لولهٔ (۱) و (۲) باید به شکل روبه‌رو باشند. با استفاده از قاعدهٔ دست راست که در فصل قبل یاد گرفتید، جهت جریان هر سیم‌لوله را مشخص می‌کنیم. همان‌طور که می‌بینید جریان القایی در مقاومت متصل به سیم‌لولهٔ (۱) از A به B و در مقاومت متصل به سیم‌لولهٔ (۲) از D به C است.

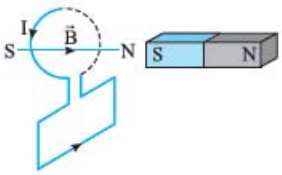


حواسشون باشه! *یه سؤال! جریان در سیم‌لولهٔ (۱) از B به A است یا A به B؟ قُب مشخصه، از B به A. در مقاومت متصل به سیم‌لولهٔ (۱) چی؟ از A به B. این چیز واضحیه ولی شما باید خیلی دقت کنید که تست جهت جریان در چی رو از شما می‌خواد. اگه بگه جهت جریان در مقاومت جواب یه چیزه، اگه بگه جهت جریان در سیم‌لوله جهت چیز دیگه‌ایه! پس بچه‌ها خیلی باید تو خوندن صورت این تستا دقت کنید.*

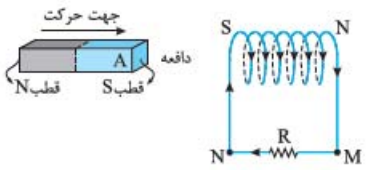
۲۵- گزینهٔ «۳» **گام اول** هنگام ورود آهن‌ربا به حلقه، حلقه باید از نزدیک‌شدن آهن‌ربا جلوگیری کند، بنابراین باید قطب‌های این حلقهٔ حامل جریان به شکل روبه‌رو باشد. با توجه به قاعدهٔ دست راست، جهت جریانی که چنین قطب‌هایی را می‌تواند تولید کند، مشخص می‌کنیم. در شکل می‌بینید که هنگام ورود آهن‌ربا جهت (۲)، جهت جریان را نشان می‌دهد.



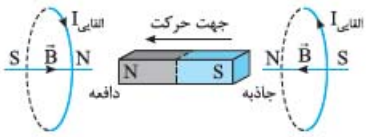
گام دوم هنگام خروج آهن‌ربا، حلقه باید از دورشدن قطب S آهن‌ربا جلوگیری کند، بنابراین قطب‌ها و جهت جریان در حلقه به شکل روبه‌رو می‌شود. در این حالت جریان در جهت (۱) است.



۲۶- گزینهٔ «۲» **گام اول** در شکل (الف) با توجه به جهت جریان مقاومت R، قطب‌های سیم‌لوله را مشخص می‌کنیم. همان‌طور که در شکل روبه‌رو می‌بینید، چون آهن‌ربا به سیم‌لوله نزدیک می‌شود طبق قانون لنز، سیم‌لوله باید آهن‌ربا را دفع کند، پس ناحیهٔ A باید قطب S باشد.

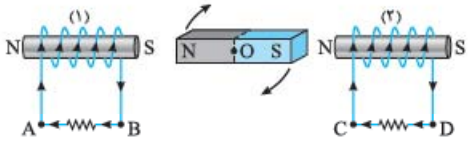


گام دوم حالا که قطب‌های آهن‌ربا را می‌دانیم، تحلیل شکل (ب) کار ساده‌ای است. در این شکل با حرکت آهن‌ربا به طرف چپ، حلقه‌ها باید از حرکت آن جلوگیری کنند. بنابراین قطب‌های مغناطیسی این حلقه‌های حامل جریان و جهت جریان باید به شکل روبه‌رو باشند.



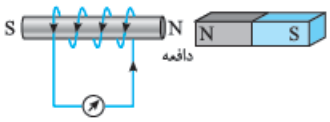
۲۷- گزینهٔ «۳» *شک نداریم که الان تو حل تست‌های قانون لنز فیلی حرفه‌ای شدید و فیلی راحت می‌تونید جهت جریان القایی رو تشخیص بدید. این تست هم شبیه قبلیا حل می‌شه، یعنی اول قطب‌های سیم‌لوله رو مشخص می‌کنیم و بعد جهت جریان هر سیم‌لوله رو.*

گام اول قطب N آهن‌ربا در حال دور شدن از سیم‌لولهٔ (۱) است. طبق قانون لنز سیم‌لولهٔ (۱) باید از این کار جلوگیری کند، بنابراین سمت راست سیم‌لولهٔ (۱) به قطب S تبدیل می‌شود. با تشخیص جهت جریان در سیم‌لولهٔ (۱) با استفاده از قاعدهٔ دست راست، نتیجه می‌گیریم که جریان در مقاومت متصل به این سیم‌لوله از B به A است.



گام دوم قطب S آهن‌ربا در حال دورشدن از سیم‌لولهٔ (۲) است، پس سمت چپ این سیم‌لوله باید به قطب N تبدیل شود تا از این کار جلوگیری کند. مشابه روندی که در گام اول طی کردیم، به این نتیجه می‌رسیم که جریان در مقاومت متصل به سیم‌لولهٔ (۲) هم باید از D به C باشد.

۲۸- گزینهٔ «۱» ابتدا با توجه به جهت جریان، قطب‌های دو سر سیم‌لوله را مشخص می‌کنیم. با توجه به این قطب‌ها نتیجه می‌گیریم که آهن‌ربا و سیم‌لوله همدیگر را دفع می‌کنند. حالا یک سؤال؟! چه اتفاقی افتاده که حالا سیم‌لوله و آهن‌ربا همدیگر را دفع می‌کنند؟ پاسخ مشخص است، این دو باید به هم نزدیک شده باشند. حالا باید تک‌تک گزینه‌ها را بررسی کنیم و ببینیم که در کدام گزینه سیم‌لوله و آهن‌ربا به هم نزدیک می‌شوند.



گزینهٔ (۱): در این حالت سیم‌لوله و آهن‌ربا به هم نزدیک می‌شوند و همین گزینه درست است.

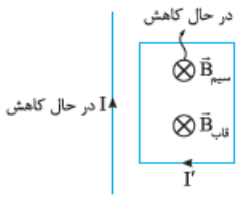
گزینهٔ (۲): در این حالت سیم‌لوله و آهن‌ربا از هم دور می‌شوند.

گزینهٔ (۳): هر دو به سمت راست حرکت می‌کنند، ولی چون سرعت آهن‌ربا بیشتر است از هم دور می‌شوند.

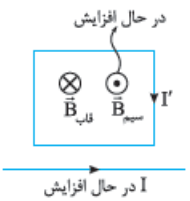
گزینهٔ (۴): هر دو به سمت چپ حرکت می‌کنند، ولی چون سرعت سیم‌لوله بیشتر است از هم دور می‌شوند.

۲۹- گزینهٔ «۴» تک‌تک گزینه‌ها را بررسی می‌کنیم.

گزینهٔ (۱): میدان مغناطیسی ناشی از جریان سیم بلند درون قاب، درون‌سو است. چون جریان در حال کاهش است، اندازهٔ میدان مغناطیسی هم در حال کم‌شدن است. بنابراین جریان القایی در سیم باید در جهتی باشد که از کم‌شدن شار جلوگیری کند. پس جریان القایی را طوری در نظر می‌گیریم که میدان مغناطیسی ناشی از آن هم درون‌سو باشد، یعنی جریان در قاب به شکل روبه‌رو و گزینهٔ (۱) نادرست است.

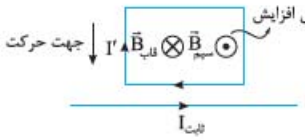


گزینهٔ (۲): میدان ناشی از سیم درون قاب برون‌سو است و در حال افزایش، پس میدان مغناطیسی ناشی از قاب باید درون‌سو باشد. برای این کار باید جهت جریان قاب به شکل روبه‌رو باشد، یعنی گزینهٔ (۲) هم غلط است.

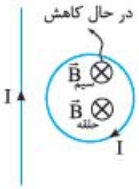


گزینهٔ (۳): در این شکل، چون فاصلهٔ قاب تا سیم ثابت می‌ماند، شار عبوری از قاب تغییری نمی‌کند، بنابراین اصلاً جریانی القا نمی‌شود.

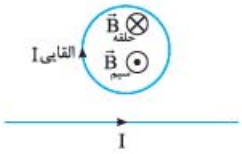
گزینهٔ (۴): این گزینه چاره‌ای جز درست‌بودن ندارد، اما ما بررسی‌اش می‌کنیم: میدان ناشی از سیم درون قاب برون‌سو است. به خاطر کم‌شدن فاصلهٔ قاب تا سیم، این میدان در حال افزایش است، پس میدان مغناطیسی ناشی از قاب باید درون‌سو و جهت جریان آن به شکل روبه‌رو باشد که در گزینهٔ (۴) همین‌طور است.



۳۰- گزینهٔ «۱» هم میدان ناشی از سیم بلند و هم میدان ناشی از جریان القایی حلقه، داخل حلقه درون‌سو است، یعنی میدان مغناطیسی حلقه به افزایش شار کمک می‌کند؛ پس شار از ابتدا در حال کاهش بوده است. یعنی در گزینه‌ها باید دنبال وضعیتی باشیم که شار عبوری از حلقه در آن وضعیت در حال کم‌شدن باشد. با دورکردن حلقه از سیم یا کاهش جریان I، شار عبوری از حلقه به دلیل کاهش میدان مغناطیسی سیم، کم می‌شود.



۳۱- گزینهٔ «۳» میدان مغناطیسی ناشی از سیم بلند درون حلقه برون‌سو و میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی حلقه درون‌سو است. این دو میدان در خلاف جهت همدیگر هستند. این اتفاق وقتی می‌افتد که شار عبوری از حلقه در حال افزایش باشد، بنابراین باید ببینیم در کدام گزینه تغییر شار عبوری از حلقه، در حال زیادشدن است.



جریان سیم کاهش یابد. ← میدان مغناطیسی سیم، درون حلقه زیاد می‌شود. ← شار زیاد می‌شود. ☑

حلقه به سیم نزدیک شود. ← میدان مغناطیسی سیم، درون حلقه زیاد می‌شود. ← شار زیاد می‌شود. ☑

حلقه از سیم دور شود. ← میدان مغناطیسی سیم، درون حلقه کم می‌شود. ← شار کم می‌شود. ☒

حلقه به سمت راست حرکت کند. ← میدان مغناطیسی سیم درون حلقه تغییر نمی‌کند. ← شار تغییر نمی‌کند. ☒

بنابراین تغییر اول و دوم قابل‌قبول هستند.

۳۲- گزینهٔ «۴» در هر دو شکل مساحت حلقه کم می‌شود، بنابراین شار مغناطیسی عبوری از آن هم کم می‌شود. برای جلوگیری از کاهش شار باید میدان حلقه هم درون‌سو باشد. بنابراین طبق قانون دست راست جریان در جهت (۲) است.

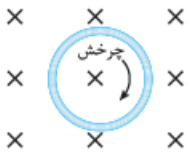
دقت کنید پیچه‌ها اصلاً شکلای (پ) و (ب) هیچ فرقی با هم ندارن!

۳۳- گزینهٔ «۳» بررسی تغییر (۱): با کاهش میدان مغناطیسی، شار عبوری از حلقه هم کم می‌شود، بنابراین میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی حلقه هم باید درون‌سو باشد تا از کاهش شار جلوگیری کند، پس جریان در این حالت باید در جهت (۲) باشد.

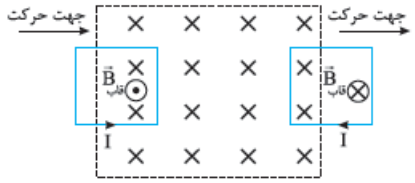
بررسی تغییر (۲): با افزایش مساحت، شار عبوری از حلقه هم زیاد می‌شود. برای جلوگیری از افزایش شار، میدان مغناطیسی ناشی از جریان حلقه باید برون‌سو باشد. برای این‌که میدان ناشی از جریان حلقه برون‌سو شود، جریان باید در جهت (۱) القا شود.

۳۴- گزینهٔ «۲» **گام‌اول** در شکل رسم‌شده، خطوط میدان مغناطیسی بر سطح حلقه عمود است؛ یعنی شار عبوری از حلقه بیشینه است. وقتی حلقه حول یکی از قطرهایش می‌چرخد، شار عبوری از آن کم می‌شود، بنابراین جریان القاشده در حلقه باید در جهتی باشد که شار عبوری از حلقه را زیاد کند. طبق قاعدهٔ دست راست جریان باید در جهت (۱) باشد.

گام‌دوم در شکل مقابل وقتی حلقه حول محور عبوری از مرکزش می‌چرخد، شار عبوری از آن تغییر نمی‌کند، بنابراین در این حالت جریانی در حلقه القا نمی‌شود.



۳۵- گزینهٔ «۲» **گام‌اول** هنگام ورود قاب به میدان مغناطیسی، شار عبوری از آن در حال زیادشدن است، پس میدان مغناطیسی ناشی از خود قاب باید در خلاف جهت جریان میدان اصلی باشد، یعنی باید برون‌سو باشد. بنابراین طبق قاعدهٔ دست راست، جهت (۱) برای جریان حلقه قابل‌قبول است.



گام‌دوم هنگام خروج قاب از میدان مغناطیسی، عکس همهٔ اتفاقات گام اول می‌افتد، بنابراین جریان در جهت (۲) القا می‌شود.

۳۶- گزینهٔ «۱» وقتی حلقه وارد میدان مغناطیسی می‌شود (موقعیت (۱))، میدان مغناطیسی حلقه در حال افزایش است. پس باید جریان القایی در جهتی باشد که با افزایش میدان مغناطیسی مخالفت کند. اگر جریان I_1 پادساعت‌گرد باشد، میدانی در خلاف جهت میدان مغناطیسی موجود ایجاد می‌کند.

در موقعیت (۲) میدان مغناطیسی حلقه افزایش یا کاهش نمی‌یابد، بنابراین جریان القایی نخواهیم داشت $(I_2 = 0)$.

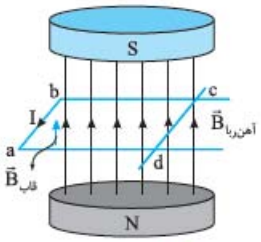
در موقعیت (۳) حلقه دارد از میدان مغناطیسی خارج می‌شود؛ پس میدان و شار در حال کاهش هستند. در نتیجه جریان القایی باید در جهتی باشد که باعث تقویت میدان شود. اگر جریان I_3 ساعت‌گرد باشد، میدانی هم‌جهت با میدان مغناطیسی موجود ایجاد می‌کند.

۳۷- گزینهٔ «۱» در این تست اندازهٔ میدان مغناطیسی و زاویهٔ آن با سطح قاب همیشه ثابت است و ما باید تغییر مساحت قاب را بررسی کنیم.

وقتی میله‌ها در خلاف جهت هم حرکت می‌کنند، یعنی یا به هم نزدیک می‌شوند یا از هم دور! مساحت قابی که می‌سازند حتماً تغییر می‌کند و به دلیل تغییر شار مغناطیسی در قاب، جریان الکتریکی القا می‌شود.

در حالتی که میله‌ها در یک جهت حرکت می‌کنند، یکسان‌بودن یا نبودن سرعت‌هایشان مهم است. اگر با سرعت یکسانی در یک جهت حرکت کنند، فاصلهٔ بین دو میله تغییری نمی‌کند، بنابراین مساحت قابی که می‌سازند ثابت می‌ماند و جریانی در قاب القا نمی‌شود؛ اما اگر سرعت حرکت میله‌ها متفاوت باشد، فاصلهٔ بینشان کم یا زیاد شده و در قاب به دلیل تغییر مساحت و در نتیجه تغییر شار، جریان الکتریکی القا می‌شود.

۳۸- گزینهٔ «۲»

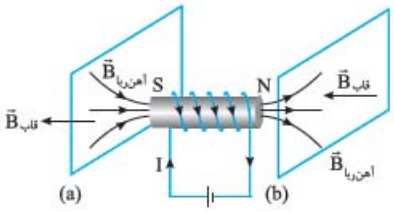


گام اول در فصل قبل یاد گرفتیم که میدان مغناطیسی (خارج از یک آهن‌ربا) از قطب N به S است، پس میدان مغناطیسی ناشی از این آهن‌ربا به سمت بالاست.

گام دوم جریان القاشده در قاب از b به a است، پس میدان ناشی از این جریان القایی هم داخل قاب به سمت بالاست.

گام سوم چون میدان ناشی از جریان القایی با میدان اصلی (یعنی میدان آهن‌ربا) هم‌جهت است، پس شار در حال کاهش است. شار وقتی کم می‌شود که میلهٔ cd به طرف چپ کشیده شود.

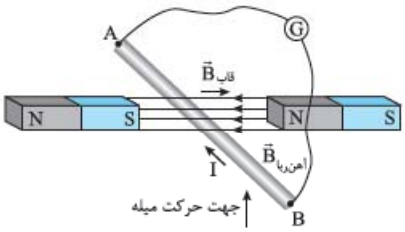
۳۹- گزینهٔ «۱»



گام اول در مدار سیم‌لوله، جریان از پایانهٔ مثبت مولد خارج می‌شود، بنابراین قطب‌های مغناطیسی سیم‌لوله و جهت میدان مغناطیسی عبوری از دو قاب به شکل روبه‌رو است.

گام دوم با حرکت حلقه‌های a و b در هر دو قاب شار زیاد می‌شود، برای جلوگیری از این اتفاق، جریان باید در قاب‌ها طوری القا شود تا میدان مغناطیسی ناشی از آن‌ها به طرف چپ باشد. با استفاده از قاعدهٔ دست راست نتیجه می‌گیریم جریان در هر دو میله باید به طرف بالا باشد.

۴۰- گزینهٔ «۱»

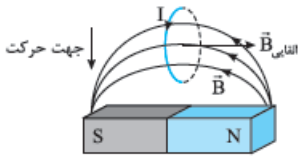


گام اول میدان مغناطیسی آهن‌ربا از قطب N به قطب S است، یعنی میدان مغناطیسی عبوری از درون مدار به طرف چپ است.

گام دوم میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی هم طبق قاعدهٔ دست راست به طرف راست است.

گام سوم چون این دو میدان در خلاف جهت یکدیگرند، پس شار عبوری از مدار باید به نحوی در حال زیادشدن باشد. میان گزینه‌ها تنها گزینهٔ (۲) باعث زیادشدن شار عبوری از مدار می‌شود.

۴۱- گزینهٔ «۲»

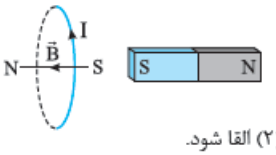


گام اول جهت میدان مغناطیسی خارج از آهن‌ربا از قطب N به قطب S است و خطوط این میدان به شکل روبه‌رو است.

گام دوم با نزدیک‌شدن حلقه به آهن‌ربا، شار مغناطیسی عبوری از حلقه بیشتر می‌شود، چون تراکم خطوط میدان مغناطیسی زیادتر شده است.

گام سوم جریان القایی در حلقه باید در جهتی باشد که از افزایش شار عبوری از حلقه جلوگیری کند، بنابراین جریان باید در جهت (۲) باشد تا میدان مغناطیسی ناشی از آن در خلاف جهت میدان مغناطیسی ناشی از آهن‌ربای میله‌ای باشد.

۴۲- گزینهٔ «۳»



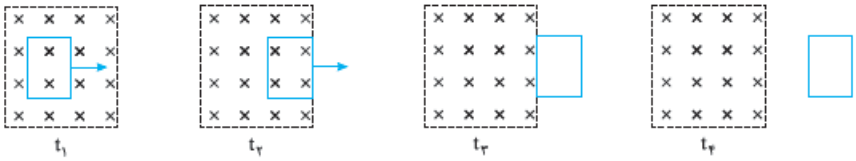
گام اول ابتدا وضعیت (الف) را بررسی می‌کنیم. در این حالت برای جلوگیری از نزدیک‌شدن حلقه به آهن‌ربا، جریان در حلقه در جهتی ایجاد می‌شود که قسمت نزدیک‌تر حلقه به آهن‌ربا، قطب S شود. بنابراین جریان در حلقه در این حالت در وضعیت (۱) است.

گام دوم همین کار را برای وضعیت (پ) انجام می‌دهیم. به این نتیجه می‌رسیم که جریان در این حالت باید در جهت (۲) القا شود.

تذکر! با توجه به گزینه‌ها این موضوع از قبل هم مشخص بود، چون گزینه‌های (۲) و (۴) تو گام اول رد شده بودن.

گام سوم حالا نوبت وضعیت (ب) است. قبل و بعد از این وضعیت جریان القاشده در حلقه در دو جهت متفاوت است، بنابراین در جایی میان ابتدا و انتهای ماجرا باید جریان القاشده در حلقه صفر باشد. با توجه به تقارن موجود در شکل، نقطه‌ای که جریان الکتریکی القایی در آن صفر است، چاره‌ای ندارد جز این‌که در وسط آهن‌ربا باشد. یعنی همین وضعیت (ب).

۴۳- گزینهٔ «۴» موقعیت قاب در چند لحظهٔ مختلف را در شکل‌های زیر می‌بینید:



بین لحظات t_1 تا t_2 ← قاب به طور کامل در میدان مغناطیسی قرار دارد. ← شار عبوری از قاب ثابت است. ← نیروی محرکه‌ای در قاب القا نمی‌شود.

بین لحظات t_2 تا t_3 ← قاب در حال خروج از میدان مغناطیسی است. ← شار عبوری از قاب در حال کاهش است. ← نیروی محرکه در قاب القا می‌شود.

بین لحظات t_3 تا t_4 ← قاب به طور کامل خارج از میدان مغناطیسی قرار دارد. ← شار عبوری از قاب صفر است. ← نیروی محرکه‌ای در قاب القا نمی‌شود.

با این توضیحات گزینهٔ (۴) درست است.