مقدمهٔ ناشر

بعضی از آدم‌ها خیلی مغزشان کار می‌کند. همه‌اش با عدد و رقم صحبت می‌کنند و چیزهای کلی و کیفی برایشان خیلی معنی ندارد و تندتند یک راه پیدا می‌کنند برای کمّی‌کردن چیزهایی که توی مغزشان است. خب حتمن این‌طوری خیلی بهتره و می‌شود حرفت را هم راحت‌تر به آدم‌های دیگر بگویی و بفهمانی.

من ولی از بچگی تا آن‌جایی که فکر می‌کنم! عاشق کمیت‌های غیرکوانتیده بودم.

مثلن این‌که ایستادن در مسیر باد چه‌قدر باحال است؛ صدای این آدم که می‌خواند چه‌قدر حس خوب می‌دهد؛ الانم که با یک خودکار نصفه و نیمه می‌نویسم، چه‌قدر حس خوبی ندارد این چه‌قدرها خیلی کمی نشده‌اند دیگر!

به نظرم یک آسیبی (!) که علم امروز به زندگی ما زده این است دیگر!

آن‌قدر که سراغ کمیت‌ها رفته، خیلی سراغ کیفیت‌ها نرفته (چی گفتم؟!) البته بنده‌خدا تقصیری ندارد، از بچگی همین‌طوری بزرگش کرده‌اند.

تقریبن سراغ چیزهایی رفته که برایشان توضیح عددی می‌توانسته بدهد

خیلی برایش مهم نبوده که مثلن حال الکترون‌هایی که پشت یک صفحهٔ خازن گیر کرده‌اند خوب است یا نه؟ شاید اصلن بنده‌های خدا راضی نباشن اونجا باشن!

یا اصلن این‌همه تکنولوژی و ... که برای آدم‌ها ساخته، الان حال آدم‌ها کلن بهتر شده یا نه! یک کلیپی بود که چندوقت پیش پخش شده بود و یک نفر، از آدمی که بچه بود، ولی فکر کنم خیلی بیشتر از همه می‌فهمید پرسیده بود: برای خوشحال‌شدن باید چی‌کار کنیم؟

آن بچهٔ رِند و دانا هم گفت: باید خوشحالی بخریم؛ از مغازهٔ خوشحال‌فروشی!

نمی‌دانم سرفصل خوشحالی در کدام علم، کدام کتاب رفرانس و کدام دانشگاه دنیاست؛ ولی هر چی که هست، جایش واقعن خالی است!

ممنون از مؤلفان و همهٔ همکاران عزیزم در تولید این کتاب، خصوصن رضای عزیز که با جد و جهد زیاد برای تألیف یک کتاب فاخر دیگر در سبد فیزیک خیلی‌سبز کوشید.

مرسی که هستین!

مقدمهٔ مؤلفان

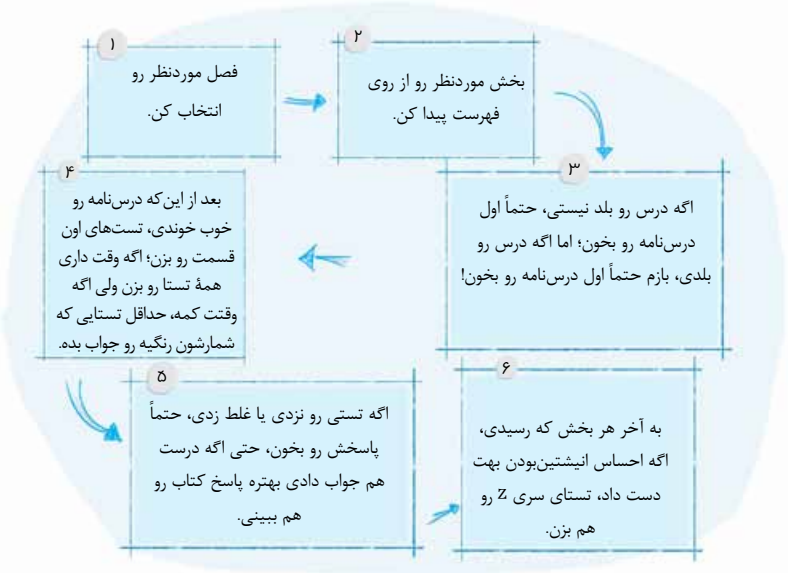
۱ دانشمندان دو دسته‌اند. دانشمندان تأثیرگذار در پیشرفت بشر و دانشمندان تأثیرنگذار در پیشرفت بشر! در ۱۲ مارس ۱۸۲۴ در کونیگزبرگ آلمان (کالنین‌گراد روسیهٔ فعلی) یکی از همین دانشمندان تأثیرگذار در پیشرفت بشر چشم به جهان گشود و در ۱۷ اکتبر ۱۸۸۷ در برلین چشم از جهان فروبست. او در حد فاصل اولین چشم‌گشودن و آخرین چشم‌بستنش دوتا قانون مهم دربارهٔ مدارهای الکتریکی، سه‌تا قانون دربارهٔ اسپکتروسکوپی و یک قانون در مورد ترموشیمی ارائه کرد و چندتا کشف مهم و کلی تحقیق و مقاله و زحمت و تلاش علمی هم داشت. رسم است در همه‌جای دنیا به احترام هر دانشمندی اسمش را کنار قانونش می‌آورند. تا همین دو سه سال قبل، در کتاب درسی فیزیک سوم دبیرستانِ ما هم همین‌طوری بود، اما امسال در کتاب یازدهم قانون‌های او هست ولی اسمش نیست! ما طبق سنت بشری با احترام و افتخار نام او را در مقدمهٔ کتابمان می‌آوریم و کتابمان را به او تقدیم می‌کنیم: گوستاو روبرت کیرشهف (Gustav Robert Kirchhoff)

۲ می‌دونیم که خیلی از شما (دختر و پسر) عشق فوتبالید. نسل ما و شما از این لحاظ خوش‌شانسیم، چون در زمانی زندگی می‌کنیم که بازی شگفت‌انگیزان فوتبال رو به صورت زنده تماشا می‌کنیم و کیف می‌کنیم. درست زمانی که می‌گفتن «دیگه دورهٔ سوپرمن‌های فوتبال گذشته»، دوتا اعجوبه چهره شدن: لیونل مسی و کریستیانو رونالدو، دو فوتبالیستی که دوازده سال پیاپی (تا ۲۰۱۹) بهترین فوتبالیست جهان شدن. طرفدار هر کدومشون که باشی نمی‌تونی توانایی‌ها و قابلیت‌های اون یکی رو انکار کنی. روی جلد این کتاب به دلیلی که خودت باید کشف کنی و یه ربطی به مباحث این کتاب داره، تصویر لیونل مسی رو گذاشتیم. ولی نمی‌شه از اسم کریستیانو هم گذشت، چون او اسطورهٔ انگیزه، مبارزه و تلاشه؛ سه ویژگی مهم که هر آدمی برای موفقیت لازم داره. به همین دلیل و برای این‌که عدالت رو رعایت کرده باشیم، به عنوان دومین نفر کتابمون رو تقدیم می‌کنیم به: کریستیانو رونالدو دوس سانتوس آویرو (Cristiano Ronaldo dos Santos Aveiro)

۳ اما چندتا چیز مهم هست که باید راجع به این کتاب بدونید.

اول: دستورالعمل خوندن این کتابه که مثل کتاب دهمِ تست خیلی سبزه!

یعنی این‌طوری:



دوم: داخل درس‌نامه‌ها مثال‌های خیلی خوبی هست که حتماً بخونیدشون. بعضی وقتا اثر آموزشی این مثالا از خود درس‌نامه‌ها بیشتره.

سوم: جلوی بعضی از تستا نوشتیم «ق.م»! «ق.م» یعنی «قبل از میلاد» که منظورمون تستای قدیمی کنکور سراسریه (قبل از میلاد خود شما!)

ممنونیم از:

چهارم: شمارهٔ بعضی تستا رو رنگی کردیم. اگر یه وقت نتونستین همهٔ تستارو بزنین، اقل‌کم اونارو بزنید! اینا از واجباتن.

پنجم: آخر هر فصل، آزمون گذاشتیم که در واقع برای مرور سریع فصل خیلی مفید و پرخاصیته.

ششم: تستای سخت یا کم کاربرد رو هم بردیم آخر فصل و اسمشون رو گذاشتیم سری Z.

دکتر ابوذر نصری ـ دکتر کمیل نصری ـ مهندس مهدی بقایی ـ آقای سهیل سمایی و بروبچه‌های تولید ـ خانم ملیکا مهری و خانم میترا حسامی ـ خانم پگاه اسدی، آقای امین امینی و ... هر کدوم به دلیلی که خودشون می‌دونن.

از عزیزانی که با تماس‌های خود در رفع اشکالات این کتاب در چاپ جدید ما را یاری کردند، تشکر می‌کنیم:

امین امینی، محمد ترکاشوند، مهدی محمدیاری، عماد رحیمی، تینا داوودزاده، غزل پوراسفندیار، علی رضایی، حسن حاجی‌آبادی، فرحان ارشاد و جناب آقای مهدی فردوسی و چمران معینی.

دست همه‌تون مریزاد

فهرست

فصل اول: الکتریسیتهٔ ساکن ۷
درس‌نامه‌های بخش ۱: مفاهیم اولیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن ۸
پرسش‌های بخش ۱ ..... ۱۷
درس‌نامه‌های بخش ۲: قانون کولن و میدان‌های الکتریکی ۲۲
پرسش‌های بخش ۲ ..... ۳۹
درس‌نامه‌های بخش ۳: الکتریسیتهٔ ساکن با طعم کار و انرژی! ۵۹
پرسش‌های بخش ۳ ..... ۷۳
درس‌نامه‌های بخش ۴: خازن ۸۳
پرسش‌های بخش ۴ ..... ۹۱
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ۱۰۶
فصل دوم: جریان الکتریکی ۱۷۹
درس‌نامه‌های بخش ۱: جریان الکتریکی و مقاومت الکتریکی ۱۸۰
پرسش‌های بخش ۱ ..... ۱۹۲
درس‌نامه‌های بخش ۲: مدارهای تک‌حلقهٔ جریان الکتریکی ۲۰۴
پرسش‌های بخش ۲ ..... ۲۱۴
درس‌نامه‌های بخش ۳: انرژی و توان الکتریکی ۲۲۴
پرسش‌های بخش ۳ ..... ۲۳۱
درس‌نامه‌های بخش ۴: مدارهای تک‌حلقهٔ چند مقاومتی ۲۳۸
پرسش‌های بخش ۴ ..... ۲۵۴
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ۲۸۹
فصل سوم: مغناطیس ۳۹۷
درس‌نامه‌های بخش ۱: مفاهیم اولیهٔ مغناطیس ۳۹۸
پرسش‌های بخش ۱ ..... ۴۰۱
درس‌نامه‌های بخش ۲: اثر میدان مغناطیسی بر بارهای الکتریکی متحرک ۴۰۴
پرسش‌های بخش ۲ ..... ۴۱۰
درس‌نامه‌های بخش ۳: جریان الکتریکی میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند ۴۲۰
پرسش‌های بخش ۳ ..... ۴۲۷
درس‌نامه‌های بخش ۴: ساختمان مواد مغناطیسی ۴۳۹
پرسش‌های بخش ۴ ..... ۴۴۱
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ۴۵۰
فصل چهارم: القای الکترومغناطیسی ۴۹۶
درس‌نامه‌های بخش ۱: پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی (قانون لنز ـ فاراده) ۴۹۷
پرسش‌های بخش ۱ ..... ۵۱۲
درس‌نامه‌های بخش ۲: پدیدهٔ خود ـ القاوری ۵۳۲
پرسش‌های بخش ۲ ..... ۵۳۷
درس‌نامه‌های بخش ۳: کاربردهایی از القای الکترومغناطیسی (جریان متناوب ـ مبدل) ۵۴۳
پرسش‌های بخش ۳ ..... ۵۴۷
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ۵۶۱
ضمائم ۶۰۹
پاسخ‌نامهٔ کلیدی ۶۱۰
کتاب‌نامه ۶۱۵

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 که در کتاب درسی‌تان آمده نام برده‌ایم.

مثال **کدام‌یک از پدیده‌های زیر بیانگر وجود ماهیت الکتریکی در مواد نیست؟** *(برگرفته از کتاب درسی)*

۱) جهت‌یابی پرندگان مهاجر ۲) بالارفتن مارمولک از دیوار

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

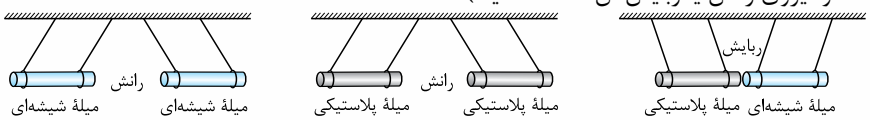
پاسخ **گزینهٔ «۱»** جهت‌یابی پرندگان مهاجر، **مغناطیسی** است. در واقع پرندگان مهاجر میدان مغناطیسی زمین را درک می‌کنند و از این توانایی برای جهت‌یابی استفاده می‌کنند. در سه گزینهٔ دیگر، **ماهیت الکتریکی** مواد، بازیگر نقش اصلی است.

انواع بار الکتریکی

منشأ خاصیت الکتریکی مواد، بارهای الکتریکی هستند.

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، رباش یا رانش دو میله را نشان می‌دهد. (در شکل‌های زیر به هم‌جنس یا غیرهم‌جنس بودن میله‌ها و نیروی رانش یا رباش آن‌ها دقت کنید.)



توضیح شکل‌ها: در این شکل‌ها می‌بینیم که میله‌های غیرهم‌جنس (یعنی میلهٔ شیشه‌ای و میلهٔ پلاستیکی) یکدیگر را **جذب** و میله‌های هم‌جنس مثلاً دو میلهٔ شیشه‌ای یکدیگر را **دفع** می‌کنند.

از این آزمایش دو نتیجهٔ مهم می‌گیریم:

۱ از این‌که میله‌ها دو رفتار متفاوت (رانش و رباش) نشان دادند، می‌فهمیم که **دو نوع بار الکتریکی وجود دارد**. چون اگر فقط یک نوع بار وجود داشت و بار همهٔ میله‌ها یکسان می‌شد، میله‌ها (بدون توجه به جنسشان)، یک رفتار از خودشان نشان می‌دادند؛ یعنی یا فقط همدیگر را جذب می‌کردند یا فقط همدیگر را دفع می‌کردند.

۲ از این‌که میله‌های هم‌جنس یکدیگر را دفع و میله‌های غیرهم‌جنس یکدیگر را جذب کردند می‌فهمیم که **بارهای همنام یکدیگر را می‌رانند** و **بارهای ناهمنام یکدیگر را می‌ربایند.**

حواسمون باشه! *اگه آزمایش بالا رو فقط با یک نوع میله انجام می‌دادیم، نتیجهٔ آزمایش ناقص می‌شد. مثال زیر رو ببینید.*

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 از این طریق نشان دهیم که بارهای مثبت و منفی یکدیگر را خنثی می‌کنند.

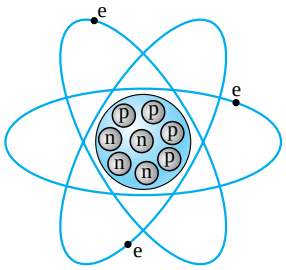
۱- واژهٔ الکتریسیته از کلمهٔ یونانی الکترون (elektron) به معنی کهربا گرفته شده. کهربا پس از مالش، خرده‌های کاه را می‌رباید، برای همین اسمش را کهربا (کاه‌ربا) گذاشته‌اند.

۲- برای این‌که بفهمید بار ۱C چه‌قدر بزرگ است همین بس که بدانید، باری که از آذرخش (صاعقه) به زمین منتقل می‌شود از مرتبهٔ ۱۰C است.

منشأ بارهای الکتریکی

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

ساختار اتم‌ها



می‌دانید که ذرات تشکیل‌دهندهٔ اتم، **الکترون‌ها**، **پروتون‌ها** و **نوترون‌ها** هستند. مانند شکل روبه‌رو 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. بار الکتریکی یک پروتون برابر با $1/6\times10^{-19}\ C$ و بار الکتریکی یک الکترون برابر با $-1/6\times10^{-19}\ C$ است. به مقدار $1/6\times10^{-19}\ C$ **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، *فقط همین قدر بدونید که جرم پروتون و نوترون تقریباً یکسان و جرم الکترون خیلی‌خیلی کم‌تر از نوترون و پروتون است.*)

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 خالص جسم صفر است و اصطلاحاً می‌گوییم جسم خنثی (یا بدون بار خالص الکتریکی) است:

$$n_e = n_p \Rightarrow q = 0$$

حواستون باشه! فرق نوترون و اجسام خنثی این است که نوترون ذاتاً یک ذرهٔ خنثی است ولی اجسام خنثی با وجود داشتن الکترون و پروتون، خنثی هستند.

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:

مقدار کمیت کوانتومی = مضرب صحیح × کوانتوم کمیت

مثلاً در شکل روبه‌رو تعداد 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؟ ($e = 1/6\times10^{-19}\ C$)**

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.

۱- مقدار دقیق‌تر بار پایه $1/602176533\times10^{-19}\ C$ است.

مثال **فرض کنید با مالش‌دادن یک میلهٔ شیشه‌ای ۸ سانتی‌متری به پارچهٔ ابریشمی، هر سانتی‌متر میله ۵×۱۰^{۹} الکترون از دست بدهد. بار میله چند نانوکولن می‌شود؟ $(e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C)$**

۱) $۶/۴\times۱۰^{-۳}$ ۲) $۶/۴$ ۳) $۱/۲۸\times۱۰^{-۲}$ ۴) $۱۲/۸$

پاسخ **گزینهٔ «۲»** طول میله ۸ cm است؛ پس میله در مجموع $n=۸\times۵\times۱۰^{۹}$ تا الکترون از دست داده است (بار میله مثبت است). بنابراین بار کل میله برابر است با: $q=+ne=+(۸\times۵\times۱۰^{۹})\times(۱/۶\times۱۰^{-۱۹})=۶/۴\times۱۰^{-۹}\ C=۶/۴\ nC$

پایستگی بار الکتریکی

وقتی یک میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم، حدود یک میلیارد ($۱۰^{۹}$) الکترون از میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ ابریشمی منتقل می‌شود. در اثر این انتقال، بار الکتریکی پارچه $-۱۰^{۹}e$ و بار الکتریکی میلهٔ شیشه‌ای $+۱۰^{۹}e$ 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[۱] (مثل مجموعهٔ پارچهٔ ابریشمی ـ میلهٔ شیشه‌ای) **همواره ثابت است.»**

این قانون 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.»**

نکته 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 $q_A=-۱۲\ \mu C$، $q_B=+۵\ \mu C$ و $q_C=+۴\ \mu C$ 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) $\Delta q_A=۱۱\ \mu C, \Delta q_B=+۶\ \mu C, \Delta q_C=-۵\ \mu C$

۲) $\Delta q_A=-۱۱\ \mu C, \Delta q_B=-۶\ \mu C, \Delta q_C=۵\ \mu C$

۳) $\Delta q_A=-۱۱\ \mu C, \Delta q_B=+۶\ \mu C, \Delta q_C=۵\ \mu C$

۴) $\Delta q_A=۱۱\ \mu C, \Delta q_B=-۶\ \mu C, \Delta q_C=-۵\ \mu C$

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:

$$q'_A=q'_B=q'_C=\frac{q_A+q_B+q_C}{۳}=\frac{-۱۲+۵+۴}{۳}=-\frac{۳}{۳}=-۱\ \mu C$$

گام دوم بار هر کدام از جسم‌ها باید به $-۱\ \mu C$ برسد. پس تغییرات هر کدام برابر است با:

$$\Delta q_A=q'_A-q_A=-۱-(-۱۲)=۱۱\ \mu C$$

$$\Delta q_B=q'_B-q_B=-۱-(+۵)=-۶\ \mu C$$

$$\Delta q_C=q'_C-q_C=-۱-(+۴)=-۵\ \mu C$$

(همین‌طور که می‌بینید جمع تغییرات بارها برابر صفره؛ یعنی بار کل ثابت مونده. $\Delta q_A+\Delta q_B+\Delta q_C=۰$ *)*

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 ۱۲!

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

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 فودمون 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:

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)**[۱]» مرتب می‌کنیم (جدول روبه‌رو). در این جدول هر چه از «انتهای مثبتِ» سری به «انتهای منفیِ» 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.)*

با توجه به سری تریبوالکتریک 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 **میلهٔ شیشه‌ای A را به موی سر خودمان و میلهٔ شیشه‌ای B را به پارچهٔ کتانی مالش می‌دهیم و دو میله را به هم نزدیک می‌کنیم. بار میلهٔ شیشه‌ای A ..... و دو میله یکدیگر را ..... می‌کنند.**

۱) مثبت، دفع

۲) مثبت، جذب

۳) منفی، دفع

۴) منفی، جذب

انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
کتان
انتهای منفی سری

پاسخ **گزینهٔ «۴»** در جدول سری تریبوالکتریک موی انسان نسبت به شیشه به انتهای مثبت نزدیک‌تر است. پس در مالش میلهٔ شیشه‌ای A به موی انسان، **بار میلهٔ A منفی** و بار مو مثبت می‌شود. اما کتان نسبت به شیشه به انتهای منفی جدول نزدیک‌تر است، پس در مالش میلهٔ شیشه‌ای B به پارچهٔ کتانی، بار میلهٔ B مثبت و بار پارچه منفی می‌شود. با توجه به این‌که بار دو میلهٔ شیشه‌ای A و B ناهمنام است، این دو یکدیگر را جذب می‌کنند.

۱- Tribos یک واژهٔ یونانی به معنای مالش است.

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

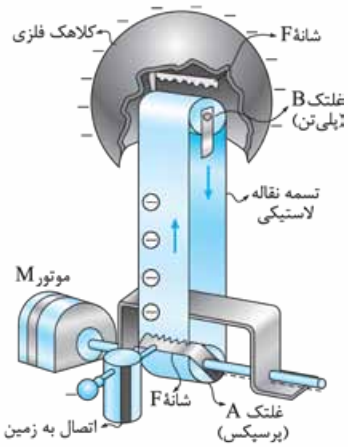
انتهای مثبت سری
A
B
C
D
انتهای منفی سری

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 تسمه نقالهٔ لاستیکی 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 بر روی کلاهک ساخته شده‌اند.

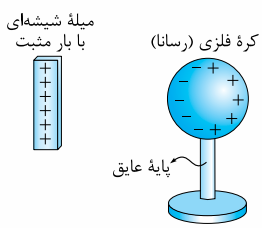


برای این‌که متوجه بشید این درس‌نامه رو خوب یاد گرفتید یا نه تستای ۱۳ تا ۱۹ رو بررسی کنید.

۲ ادامه روش‌های باردارکردن اجسام (القای الکتریکی و تماس)

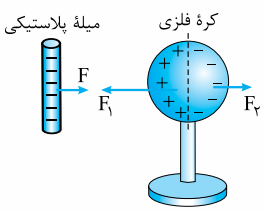
۲ـ۲ـ القای الکتریکی

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.

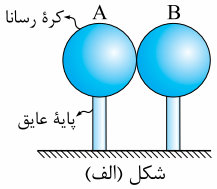
نکته در القای الکتریکی همیشه جسم القاکننده و جسم القاشونده همدیگر را جذب می‌کنند. در شکل روبه‌رو می‌بینید که درون کرهٔ فلزی بارهای مثبت به میلهٔ پلاستیکی (که بارش منفی است) نزدیک‌ترند؛ به همین دلیل نیروی جاذبهٔ الکتریکی (F_1) از نیروی دافعه (F_2) قوی‌تر است؛ پس دو جسم همدیگر را جذب می‌کنند.



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

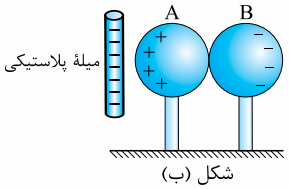
باردارکردن یک جسم رسانا با روش القا: در شکل‌های زیر، باردارکردن با این روش را از دو راه نشان داده‌ایم و توضیحش را هم زیر شکل‌ها آورده‌ایم (شکل‌ها را از راست به چپ ببینید):

راه اول:



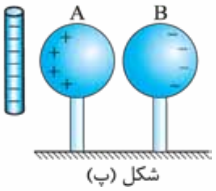
شکل (الف)

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



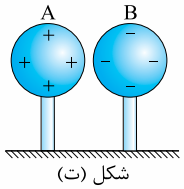
شکل (ب)

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)

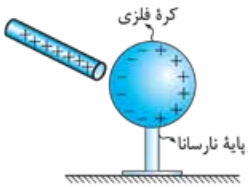
در حالی که میلهٔ پلاستیکی هنوز در نزدیکی کرهٔ A قرار دارد، دو کره را از هم جدا می‌کنیم تا بارهای القاشده در دو کره به دام بیفتند.



شکل (ت)

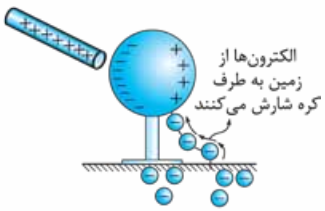
با دورکردن میله، بار کرهٔ A مثبت و بار کرهٔ B منفی می‌ماند.

راه دوم:



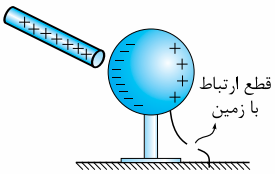
شکل (الف)

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.



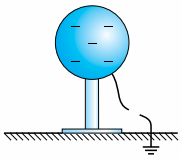
شکل (ب)

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.

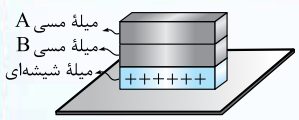
حواستون باشه! *در شکل (ب) راه دوم، فرقی نمی‌کنه که از کدوم طرف کره رو به زمین متصل می‌کنیم. مثلاً اگه طرف منفی (سمت چپ) رو هم به زمین اتصال بدیم، باز هم الکترون از زمین به کره منتقل می‌شه.*

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.

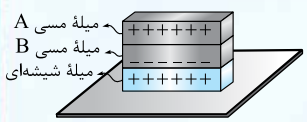
۲ در راه دوم که جسم رسانا را به زمین اتصال می‌دهیم، همیشه بار جسم القاشونده (کرهٔ رسانا) و جسم القاکننده (میلهٔ باردار) مخالف هم می‌شود.

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.)**



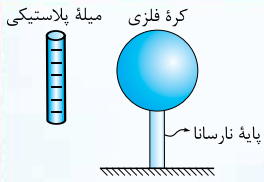
۱) مثبت ـ منفی
۲) منفی ـ مثبت
۳) مثبت ـ مثبت
۴) منفی ـ منفی

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.

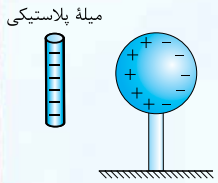
مثال **مطابق شکل روبه‌رو یک میلهٔ پلاستیکی با بار منفی را به یک کرهٔ فلزی خنثی نزدیک می‌کنیم. سپس بدون آن‌که میله را دور کنیم برای مدت کوتاهی کره را به زمین اتصال می‌دهیم. در نهایت تجمع بارهای ..... در سطح کره در طرف میله بیشتر بوده و بار کل کره ..... می‌شود.**



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

پاسخ **گزینهٔ «۲»**

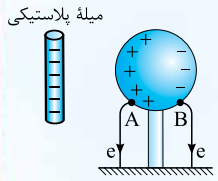
گام اول مطابق شکل (الف) میلهٔ پلاستیکی منفی در اثر القای الکتریکی الکترون‌های سطح کره را دفع می‌کند؛ پس چه قبل از تماس کره با زمین و چه بعد از آن، بارهای مثبت روی سطح کره در طرف نزدیک به میله تجمع می‌کنند.



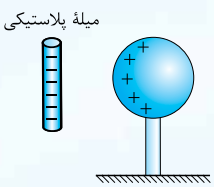
شکل (الف)

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).

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



شکل (ب)



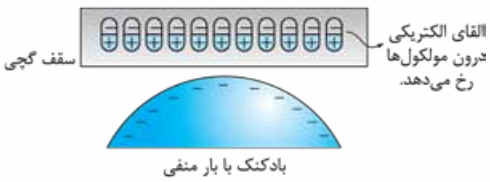
شکل (پ)

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. مثلاً در شکل روبه‌رو بادکنک باردار در اثر القا، مولکول‌های سطح سقف را دوقطبی کرده است.



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.)**

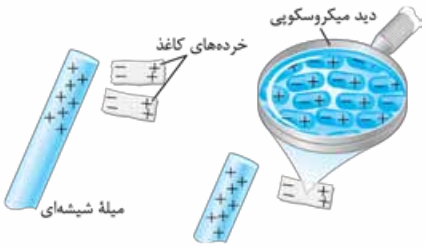
۱) هر سه جسم را می‌رباید.
۲) جسم A را می‌رباید و بر جسم B و C بی‌اثر است.
۳) جسم‌های A و B را می‌رباید و بر جسم C بی‌اثر است.
۴) جسم A را می‌راند، جسم B را می‌رباید و بر جسم C، بی‌اثر است.

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

حواسمون 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.

نمونه‌هایی از پدیدهٔ القای الکتریکی:

الف) جذب خرده‌های کاغذ توسط میلهٔ باردار:



یک میلهٔ باردار خرده‌های کاغذ را در اثر القای الکتریکی، جذب می‌کند. در شکل روبه‌رو می‌بینید که با نزدیک‌کردن میلهٔ شیشه‌ای باردار به خرده‌های کاغذ، مولکول‌های کاغذ به صورت دوقطبی‌های منظم در کنار هم قرار می‌گیرند. (در دید میکروسکوپی می‌بینید که چه‌طور میلهٔ شیشه‌ای در اثر القا، مولکول‌های کاغذ را به صورت دوقطبی‌های الکتریکی کنار هم منظم می‌کند).

با توجه به جهت دوقطبی‌های الکتریکی درون خرده‌های کاغذ، آن سمت کاغذ که به میلهٔ شیشه‌ای با بار مثبت نزدیک‌تر است، منفی می‌شود و در نتیجه میلهٔ شیشه‌ای خرده‌های کاغذ را جذب می‌کند.

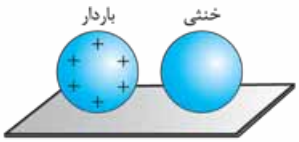
ب) انحراف باریکهٔ آب توسط بادکنک باردار:

همین‌طور که در شکل می‌بینید با نزدیک‌کردن بادکنک باردار به باریکهٔ آب، مسیر باریکه به سمت بادکنک خم می‌شود. دلیل این پدیده هم القای الکتریکی است. مولکول‌های آب خودشان ذاتاً دوقطبی هستند و القای الکتریکی فقط باعث می‌شود طرف مثبت مولکول‌ها به سمت بادکنک منفی قرار بگیرند و در نتیجه باریکهٔ آب به طرف بادکنک تغییر مسیر دهد.

۳ـ تماس

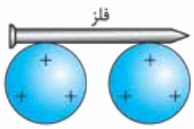
تماس دو جسم **رسانا** به هم، راه را برای انتقال بار بین آن دو جسم باز می‌کند مثلاً اگر کره‌های رسانای شکل (الف) را مانند شکل (ب) به کمک یک جسم رسانا به هم تماس دهیم. بلافاصله کره خنثی باری همنام با جسم باردار پیدا می‌کند.

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



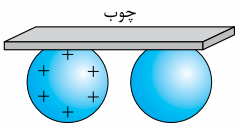
شکل (الف)

دو کرهٔ رسانای مشابه یکی باردار و دیگری خنثی قبل از تماس با یکدیگر



شکل (ب)

تماس از طریق یک جسم رسانا برقرار شده است. بار روی سطح دو کره یکسان خواهد شد.[1]



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:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

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 ۲۰ تا ۳۳ بی‌صبرانه منتظر شما هستن!

۱- در این شکل از باری که روی میخ باقی می‌ماند چشم‌پوشی کردیم.

۴ الکتروسکوپ (برق‌نما)

یکی از دستگاه‌های آزمایشگاهی ساده در الکتریسیتهٔ ساکن، الکتروسکوپ (یا همان برق‌نما) است.

ساختمان الکتروسکوپ

در شکل روبه‌رو تصویر یک الکتروسکوپ و اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن را می‌بینید.

نکته در حالتی که جسم بارداری نزدیک کلاهک الکتروسکوپ نباشد:

الف) اگر الکتروسکوپ خنثی باشد تیغه‌ها (یا تیغه و برگه) به هم می‌چسبند.

ب) اگر الکتروسکوپ باردار باشد، تیغه‌ها (یا تیغه و برگه) از هم فاصله می‌گیرند.

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

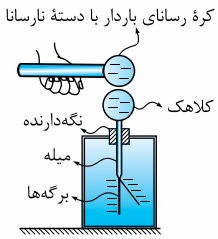
پاسخ الکتروسکوپ را مثل یک جسم رسانا می‌توانیم با روش القا یا روش تماس باردار کنیم. شکل‌های (الف) (از چپ به راست) باردارشدن یک الکتروسکوپ از روش القا و شکل (ب) باردارشدن یک الکتروسکوپ از روش تماس را نشان می‌دهد.

شکل (الف)

ابتدا تماس با زمین را قطع و سپس میله را دور می‌کنیم.

در حالی که میلهٔ باردار را هنوز دور نکرده‌ایم کلاهک را به زمین تماس می‌دهیم تا الکتروسکوپ باردار شود.

میلهٔ باردار را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم تا در اثر القا، بارها در الکتروسکوپ جابه‌جا شوند.



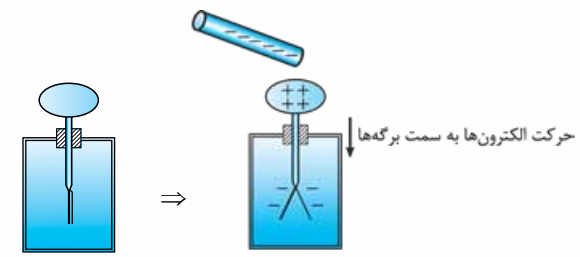
شکل (ب)

حواستون 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.

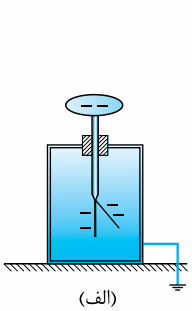
۱- تشخیص وجود بار الکتریکی در یک جسم: برای این کار جسم موردنظر را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم؛ اگر با نزدیک‌کردن جسم، برگه‌ها از هم فاصله گرفتند، یعنی جسم باردار است (شکل روبه‌رو). علت این امر مهاجرت بارهای همنام با جسم از کلاهک به برگه‌ها است. از آن‌جایی که بار برگه‌ها همنام می‌شوند، این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



الکتروسکوپ خنثی

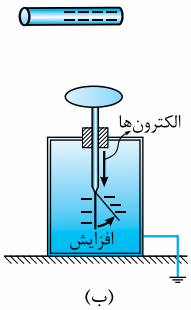
با نزدیک‌شدن جسم باردار، برگه‌ها از هم فاصله می‌گیرند.

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.



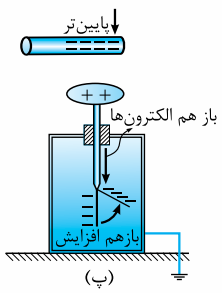
(الف)

بار الکتروسکوپ ابتدا منفی است.



(ب)

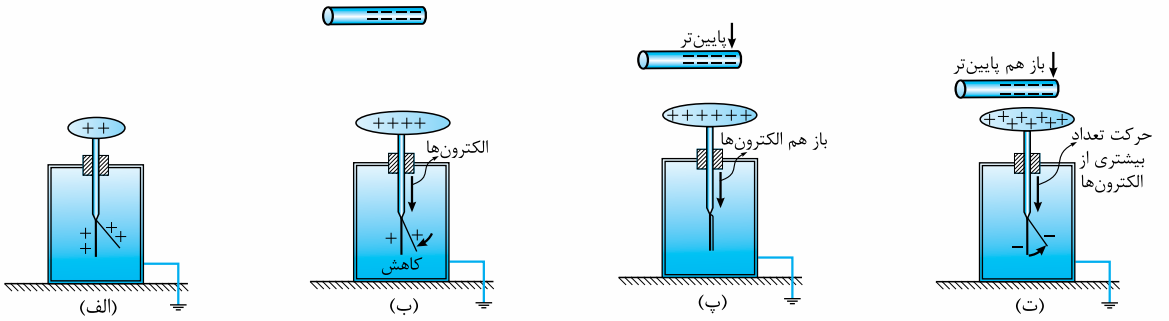
با نزدیک‌کردن میله با بار منفی، الکترون‌ها از کلاهک به تیغه‌ها مهاجرت می‌کنند.



(پ)

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

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 خیلی سریع 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 خالص 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 ۳۴ تا ۴۲ 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- در یک آزمایش، یک صفحهٔ فلزی دارای بار مثبت می‌شود. دلیل مثبت‌شدن بار صفحهٔ فلزی کدام است؟

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 و پروتون‌ها از یک جسم دیگر به صفحهٔ فلزی منتقل می‌شوند.
۴) پروتون‌ها از صفحهٔ فلزی به یک جسم دیگر و الکترون‌ها از یک جسم دیگر به صفحهٔ فلزی منتقل می‌شوند.

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؟ $(e=1/6\times10^{-19}\ C)$ (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.) (ق.م)

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

۶- جسمی را به وسیلهٔ مالش باردار کرده‌ایم. کدام گزینه، نمی‌تواند گزارش درستی از 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- یک میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میلهٔ پلاستیکی $-12/8\ nC$ می‌شود. به ترتیب بار الکتریکی ایجادشده در پارچهٔ پشمی چند نانوکولن و تعداد الکترون‌های منتقل‌شده از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی چندتا است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19}\ C$)

(برگرفته از کتاب درسی)

۱) $-12/8$ ، $1/25 \times 10^{9}$ ۲) $12/8$ ، $1/25 \times 10^{9}$ ۳) $-12/8$ ، 8×10^{10} ۴) $12/8$ ، 8×10^{10}

۸- 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

۹- دو جسم خنثای A و B در اثر مالش جداگانه با جسم خنثای C به ترتیب بار الکتریکی $2\ nC$ و $-8\ nC$ پیدا می‌کنند. کدام مورد درست است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$)

۱) $1/25 \times 10^{9}$ الکترون از A به C و 5×10^{2} پروتون از B به C منتقل شده است.

۲) $1/25 \times 10^{9}$ الکترون از A به C و 5×10^{2} الکترون از C به B منتقل شده است.

۳) $1/25 \times 10^{10}$ الکترون از A به C و 5×10^{10} پروتون از B به C منتقل شده است.

۴) $1/25 \times 10^{10}$ الکترون از A به C و 5×10^{10} الکترون از C به B منتقل شده است.

۱۰- عدد اتمی آهن برابر ۲۶ است. بار الکتریکی هستهٔ اتم آهن و اتم آهن به ترتیب از راست به چپ چند کولن است؟ *(برگرفته از کتاب درسی)*

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

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

۱۱- 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.

۱۲- اگر از جسم رسانایی که بار آن برابر $-q$ است، 8×10^{13} الکترون بگیریم، بار آن $\frac{1}{3}q$ خواهد شد. q چند میکروکولن است؟ ($q > 0$, $e = 1/6 \times 10^{-19}\ C$)

۱) $3/75$ ۲) $7/5$ ۳) $9/6$ ۴) $19/2$

روش‌های باردارکردن اجسام (مالش)

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

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

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.

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

۱۵- اگر دو جسم خنثی که یکی رسانا و دیگری نارسانا است را به هم مالش دهیم، ..... و در جسم ..... بار الکتریکی در محل مالش داده‌شده باقی می‌ماند.

۱) هر دو جسم باردار می‌شوند، نارسانا ۲) هر دو جسم باردار می‌شوند، رسانا

۳) فقط جسم نارسانا باردار می‌شود، نارسانا ۴) فقط جسم رسانا باردار می‌شود، رسانا

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

۱) خط‌کش چوبی ـ میلهٔ شیشه‌ای

۲) پارچهٔ ابریشمی ـ پارچهٔ کتان

۳) خط‌کش چوبی ـ پارچهٔ کتان

۴) پارچهٔ ابریشمی ـ میلهٔ شیشه‌ای

سری الکتریسیتهٔ مالشی

انتهای مثبت سری
شیشه
ابریشم
چوب
پارچهٔ کتان
انتهای منفی سری

۱۷- در اثر مالش دو جسم خنثای A و B، ۴×۱۰^{۸} الکترون بین دو جسم منتقل می‌شود. با توجه به سری الکتریسیتهٔ مالشی شکل روبه‌رو، بار جسم A پس از مالش برابر چند نانوکولن می‌شود؟ $(e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C)$

انتهای مثبت سری
B
C
A
انتهای منفی سری

۱) $۶/۴\times۱۰^{-۲}$

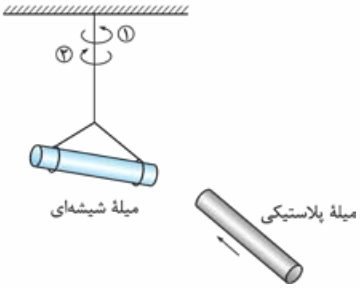
۲) $-۶/۴\times۱۰^{-۲}$

۳) $۶/۴\times۱۰^{-۳}$

۴) $-۶/۴\times۱۰^{-۳}$

۱۸- 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. *(برگرفته از کتاب درسی)*

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)

۱۹- 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

روش‌های باردارکردن اجسام (القای الکتریکی و تماس)

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

۲۰- در شکل روبه‌رو میلهٔ A را به جسم B نزدیک کرده‌ایم. با توجه به آرایش ذرات تشکیل‌دهندهٔ جسم B، این جسم ..... و بار میلهٔ A ..... است. *(برگرفته از کتاب درسی)*

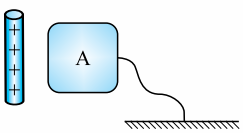
۱) رسانا، مثبت

۲) رسانا، منفی

۳) نارسانا، مثبت

۴) نارسانا، منفی

۲۱- مطابق شکل، یک میلهٔ شیشه‌ای 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.

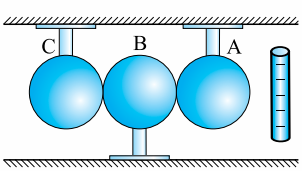
۳) بستگی به بار اولیهٔ جسم A دارد.　　۴) خنثی می‌ماند.

۲۲- 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 کره پخش می‌شود.　　۲) بار منفی در سطح کره پخش می‌شود.

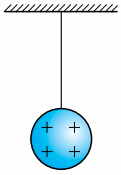
۳) بار مثبت یا منفی در یک طرف کره جمع می‌شود.　　۴) کره خنثی می‌ماند.

۲۳- 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 B را از گلوله‌های A و C 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



۲۴- در شکل روبه‌رو گلولهٔ فلزی بارداری 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. *(تجربی ۸۶)*

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

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

۲۵- 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؟ *(تجربی خارج ۹۰)*

۱) A و C بار همنام و هم‌اندازه دارند. ۲) B و C بار غیرهمنام دارند.

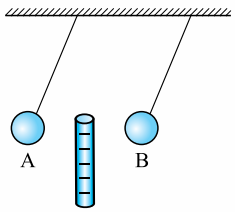
۳) B بدون بار و C باردار است. ۴) A بدون بار و B باردار است.

۲۶- 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 همواره درست است؟

۱) گلوله‌های A و B بار غیرهمنام دارند. ۲) گلوله‌های B و C حتماً همدیگر را جذب می‌کنند.

۳) گلولهٔ A ممکن است بدون بار (خنثی) باشد. ۴) یکی از گلوله‌های B و C الزاماً خنثی است.

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



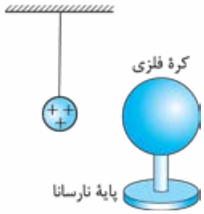
۱) گلوله‌های A و B الزاماً دارای بار غیرهمنام هستند.

۲) گلولهٔ B الزاماً دارای بار مثبت است.

۳) گلولهٔ A می‌تواند خنثی باشد.

۴) گلولهٔ B می‌تواند خنثی باشد.

۲۸- مطابق شکل زیر یک کرهٔ فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایهٔ نارسانایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم تا با آن تماس پیدا کند. در این آزمایش آونگ در چه جهتی منحرف می‌شود؟ *(برگرفته از کتاب درسی)*



۱) به سمت راست منحرف شده و در همان حالت باقی می‌ماند.

۲) به سمت چپ منحرف شده و در همان حالت باقی می‌ماند.

۳) ابتدا به سمت راست، سپس به سمت چپ منحرف می‌شود.

۴) ابتدا به سمت چپ، سپس به سمت راست منحرف می‌شود.

۲۹- 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

۳۰- اگر بادکنک بارداری را به باریکهٔ آب نزدیک کنیم، آب در اثر پدیدهٔ ..... . *(برگرفته از کتاب درسی)*

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.

۳۱- 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) $F_1 > F_2$، هر دو نیرو جاذبه‌اند. ۲) $F_1 < F_2$، هر دو نیرو جاذبه‌اند.

۳) $F_1 > F_2$، F_1 دافعه و F_2 جاذبه است. ۴) $F_1 < F_2$، F_1 دافعه و F_2 جاذبه است.

یه کم جمع و تفریق هم بد نیست!

۳۲- دو کرهٔ فلزی یکسان دارای بارهای الکتریکی $q_1 = +6\ \mu C$ و $q_2 = -2\ \mu C$ 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

۳۳- 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، ۴ μC− است. اگر این دو کره را با هم تماس دهیم، ..... الکترون از کرهٔ ..... می‌رود. ($e = 1/6\times10^{-19}\ C$)

۱) $2/5\times10^{13}$ ـ A به B ۲) $2/5\times10^{13}$ ـ B به A ۳) 5×10^{13} ـ B به A ۴) 5×10^{13} ـ A به B

الکتروسکوپ(برق‌نما)

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

۳۴- 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

۳۵- 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

۳۶- 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.

۳۷- 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.

۳۸- 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

۳۹- 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؟

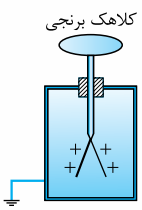
۱) مثبت ـ منفی ۲) منفی ـ مثبت ۳) مثبت ـ مثبت ۴) منفی ـ منفی

۴۰- 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

۴۱- 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.

انتهای مثبت سری
سرب
ابریشم
چوب
نقره
پلاستیک
انتهای منفی سری

۴۲- میله‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش داده و آن را از فاصلهٔ دور و به تدریج به کلاهک الکتروسکوپ بارداری نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که زاویهٔ بین ورقه‌های الکتروسکوپ کاهش می‌یابد. با توجه به سری تریبوالکتریک مقابل، به ترتیب جنس میله و بار اولیهٔ الکتروسکوپ کدام می‌تواند باشد؟

۱) چوب ـ منفی

۲) سرب ـ مثبت

۳) پلاستیک ـ منفی

۴) نقره ـ مثبت

پاسخ‌نامهٔ تشریحی

۱- گزینهٔ «۳» اول این‌که می‌دانیم بار الکتریکی پروتون، **مثبت**، بار الکتریکی الکترون **منفی** و نوترون **بدون بار** است. دوم هم این‌که اندازهٔ بار پروتون و الکترون برابر بار بنیادی (e) یعنی $1/6\times10^{-19}\ C$ است.

۲- گزینهٔ «۲» برای آن‌که صفحهٔ فلزی دارای بار مثبت شود، باید تعداد پروتون‌ها بیشتر از الکترون‌ها باشد؛ پس باید الکترون‌ها به یک جسم دیگر کوچ کنند.

تذکر پروتون‌ها داخل هسته هستند و نمی‌توانند به جسم دیگری بروند!

۳- گزینهٔ «۱» همان‌طور که گفتیم، بار الکتریکی یک کمیت **گسسته** یا کوانتومی است؛ یعنی **مضرب درستی از بار الکتریکی پایه** که برابر $1/6\times10^{-19}\ C$ است.

۴- گزینهٔ «۴» برای محاسبهٔ تعداد الکترون‌ها، باید از رابطهٔ $q=ne$، n را به دست آوریم:

$$q=ne \Rightarrow 1\times10^{-6}\ C=n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n=\frac{10^{-6}}{1/6\times10^{-19}}=6/25\times10^{12}$$

۵- گزینهٔ «۴» واضح است که اگر به هر سانتی‌متر میله 10^{10} الکترون بدهیم، به میلهٔ ۸ سانتی‌متری 8×10^{10} الکترون منتقل می‌شود. با این حساب بار میله برابر است با:

$$q=-ne=-8\times10^{10}\times1/6\times10^{-19}=-12/8\times10^{-9}\ C$$

۶- گزینهٔ «۲» بار الکتریکی باید مضرب درستی از بار بنیادی باشد؛ پس به دنبال گزینه‌ای می‌گردیم که مضرب درستی از $e=1/6\times10^{-19}\ C$ نباشد!

$$n=\frac{q}{e}$$

گزینهٔ (۱): $n=\frac{3/2\times10^{-19}}{1/6\times10^{-19}}=2$

گزینهٔ (۲): $n=\frac{6/4\times10^{-20}}{1/6\times10^{-19}}=0/4$

گزینهٔ (۳): $n=\frac{8\times10^{-19}}{1/6\times10^{-19}}=5$

گزینهٔ (۴): $n=\frac{16\times10^{-20}}{1/6\times10^{-19}}=1$

همان‌طور که می‌بینید، **در گزینهٔ (۲)** به مضرب درستی نرسیدیم!

۷- گزینهٔ «۴» **گام اول** طبق اصل پایستگی بار الکتریکی، بار الکتریکی ایجادشده در پارچهٔ پشمی با بار الکتریکی ایجادشده در میلهٔ پلاستیکی هم‌اندازه و مختلف‌العلامت است. یعنی:

$$q_{پارچه}+q_{میله}=0 \Rightarrow q_{پارچه}=-q_{میله}=-(-12/8\ nC)=12/8\ nC$$

گام دوم تعداد الکترون‌های منتقل‌شده به میلهٔ پلاستیکی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$q_{میله}=-ne \Rightarrow -12/8\times10^{-9}=-n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n=\frac{12/8\times10^{-9}}{1/6\times10^{-19}}=8\times10^{10}$$

۸- گزینهٔ «۴» **اول این‌که** بار کره منفی است؛ پس کره برای خنثی‌شدن باید **الکترون از دست بدهد! دوم این‌که** تعداد الکترون‌های لازم برای خنثی‌شدن از رابطهٔ $q=ne$ به دست می‌آید:

$$q=ne \Rightarrow n=\frac{q}{e}=\frac{8\times10^{-6}}{1/6\times10^{-19}}=5\times10^{13}$$

۹- گزینهٔ «۴» هنگام مالش دو جسم، پروتونی بین آن‌ها منتقل نمی‌شود. پس گزینه‌های (۱) و (۳) کنار می‌روند. بعد از مالش، بار جسم A مثبت و بار جسم B منفی شده است. پس A الکترون از دست داده و B الکترون دریافت کرده است. تعداد الکترون‌های مبادله‌شده در هر کدام را به دست می‌آوریم:

$$q_A=n_Ae \Rightarrow n_A=\frac{q_A}{e}=\frac{2\times10^{-9}}{1/6\times10^{-19}}=1/25\times10^{10}$$

$$q_B=-n_Be \Rightarrow n_B=\frac{-q_B}{e}=\frac{8\times10^{-9}}{1/6\times10^{-19}}=5\times10^{10}$$

۱۰- گزینهٔ «۳» **یادآوری** عدد اتمی نشان‌دهندهٔ تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها در یک اتم خنثی است.

اول این‌که هستهٔ اتم شامل پروتون با بار مثبت و نوترون بدون بار است؛ پس بار الکتریکی هستهٔ اتم آهن برابر است با مجموع بار پروتون‌هایش؛ یعنی:

$$q=ne=26\times1/6\times10^{-19}=41/6\times10^{-19}\ C$$

دوم این‌که اتم آهن در حالت عادی خنثی است؛ یعنی تعداد پروتون‌ها و الکترون‌هایش با هم برابر است؛ پس بار الکتریکی اتم آهن **صفر** خواهد بود.

۱۱- گزینهٔ «۳» جسم خنثی است؛ پس تعداد الکترون‌ها و پروتون‌هایش با هم برابر است. برای آن‌که بار جسم $+32\ \mu C$ شود، باید n را حساب کنیم:

$$q=+ne \Rightarrow 32\times10^{-6}=n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n=2\times10^{14}$$

۱۲- گزینهٔ «۳» **گام اول** تغییرات بار الکتریکی جسم رسانا را به دست می‌آوریم:

$$\Delta q = q_2 - q_1 = \frac{1}{3}q - (-q) = \frac{4}{3}q$$

گام دوم بار جسم رسانا با از دست دادن 8×10^{13} الکترون، $\frac{4}{3}q$ تغییر می‌کند. بنابراین:

$$ne = \frac{4}{3}q \Rightarrow 8\times10^{13}\times1/6\times10^{-19} = \frac{4}{3}q \Rightarrow 12/8\times10^{-6} = \frac{4}{3}q \Rightarrow q = 9/6\times10^{-6}\ C = 9/6\ \mu C$$

۱۳- گزینهٔ «۳» عامل باردارشدن اجسام در مالش، انتقال الکترون بین دو جسم است.

۱۴- گزینهٔ «۲» در مالش میلهٔ شیشه‌ای با پارچهٔ پشمی، میله به خاطر الکترون‌خواهی کم‌تر در مقایسه با پارچهٔ پشمی، دارای بار **مثبت** می‌شود؛ چرا که در اثر مالش، **الکترون‌های** میله **کاهش** می‌یابد.

۱۵- گزینهٔ «۱» در اثر مالش دو جسم خنثی به یکدیگر الکترون از یک جسم به دیگری منتقل می‌شود. در نتیجه هر دو جسم باردار می‌شوند. هم‌چنین در یک جسم نارسانا بار الکتریکی در محل مالش داده‌شده باقی می‌ماند، اما در یک جسم رسانا به همهٔ قسمت‌های سطح خارجی جسم منتقل می‌شود.

۱۶- گزینهٔ «۴» با توجه به جدول سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک)، بار اجسام پس از مالش به صورت زیر خواهد بود:

مالش اجسام	جسمی که بار آن مثبت می‌شود	جسمی که بار آن منفی می‌شود
خط‌کش چوبی با پارچهٔ ابریشمی	پارچهٔ ابریشمی	خط‌کش چوبی
میلهٔ شیشه‌ای با پارچهٔ کتان	میلهٔ شیشه‌ای	پارچهٔ کتان

۱۷- گزینهٔ «۲» از آن‌جایی که در سری تریبوالکتریک جسم A به انتهای منفی سری نزدیک‌تر است، هنگام مالش دو جسم A و B، الکترون از جسم B به جسم A منتقل می‌شود. پس جسم A بار الکتریکی منفی پیدا می‌کند. در نتیجه بار جسم A برابر است با:

$$q_A = -ne = -(4\times10^{8})\times(1/6\times10^{-19}) = -6/4\times10^{-11}C = -6/4\times10^{-2}\ nC$$

۱۸- گزینهٔ «۴» با مالش میلهٔ پلاستیکی با پارچهٔ ابریشمی، میلهٔ پلاستیکی به خاطر الکترون‌خواهی بیشتر دارای **بار منفی** می‌شود. میلهٔ شیشه‌ای هم در اثر مالش با پارچهٔ پشمی به خاطر الکترون‌خواهی کم‌تر دارای بار مثبت می‌شود. پس بار میلهٔ پلاستیکی و شیشه‌ای مخالف هم می‌شود و با نزدیک‌کردن میلهٔ پلاستیکی، میلهٔ شیشه‌ای تمایل به جذب دارد؛ برای همین در جهت (۲) می‌چرخد.

۱۹- گزینهٔ «۴» عبارت‌ها را به ترتیب بررسی می‌کنیم:

الف) نه لزوماً! مثلاً اگر جنس دو جسم یکسان باشد، دیگر این اتفاق رخ نمی‌دهد. (نادرست)

ب) الکترون‌خواهی پوست بیشتر از مو است؛ پس باید الکترون‌ها از موی سر به پوست دست بروند! (نادرست)

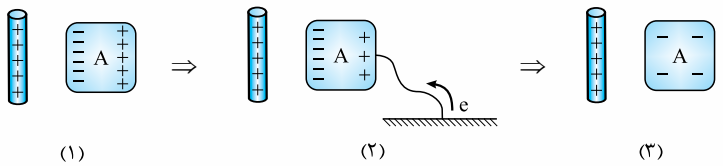
پ) با مالش دو میلهٔ پلاستیکی با پارچهٔ کتان بار هر دو میله همنام می‌شود؛ بنابراین باید همدیگر را دفع کنند. (نادرست)

ت) با توجه به سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک) در مالش بادکنک (پلاستیک) با بدن گربه، بدن گربه دارای بار مثبت می‌شود. (نادرست)

۲۰- گزینهٔ «۴» **اول این‌که** در جسم B الکترون‌ها فقط در درون ذرات (مولکول‌ها) جابه‌جا شده‌اند و دوقطبی الکتریکی ایجاد کرده‌اند (یعنی الکترون در جسم آزادانه حرکت نمی‌کند). پس جسم B **نارسانا** است.

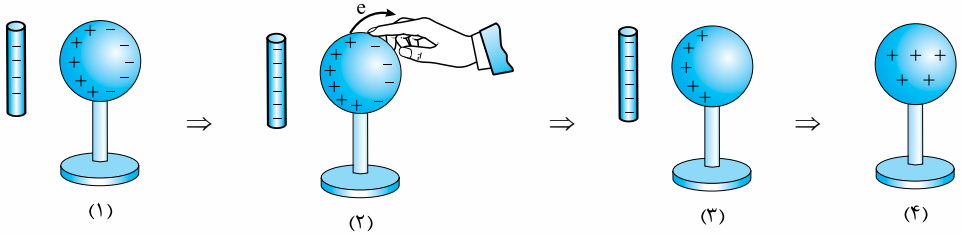
دوم این‌که میلهٔ A طرف مثبت دوقطبی‌های الکتریکی در جسم B را جذب و طرف منفی را دفع کرده است، پس بار میلهٔ A **منفی** است.

۲۱- گزینهٔ «۱» مطابق شکل زیر، به خاطر نزدیک‌شدن میله با بار مثبت به جسم A، الکترون‌ها به سمت میله حرکت می‌کنند و در سمت چپ جسم A تجمع می‌کنند. با وصل‌کردن جسم A به زمین، الکترون‌ها از زمین به کره منتقل می‌شوند. در نهایت با جداکردن سیم از زمین، **جسم، بار الکتریکی منفی پیدا می‌کند.**



(۱) (۲) (۳)

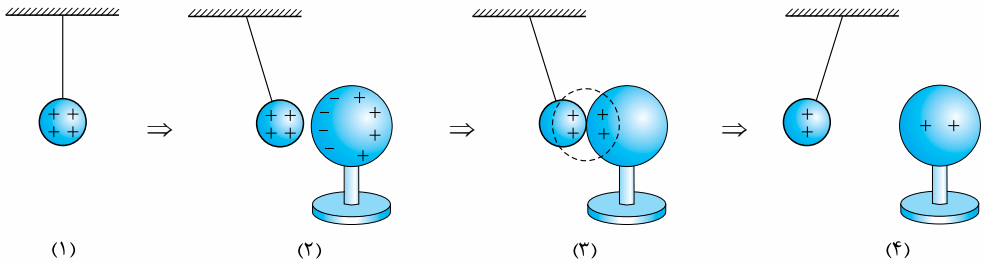
۲۲- گزینهٔ «۱» در اثر مالش میلهٔ پلاستیکی با پارچهٔ پشمی، میله به دلیل الکترون‌خواهی بیشتر دارای بار منفی می‌شود. مطابق شکل با نزدیک‌کردن میله به کره، الکترون‌ها از میله دور می‌شوند. حالا اگر دست خود را روی کره بگذاریم، بار منفی به دست منتقل و بار کره مثبت می‌شود. با دورکردن دست و سپس میله، بار روی کره مثبت می‌ماند که این بار روی سطح خارجی کره پخش می‌شود.



(۱) (۲) (۳) (۴)

۲۳- گزینهٔ «۱» در این وضعیت، گلولهٔ B در نقش یک واسطه عمل می‌کند و باردار نمی‌شود؛ یعنی $q_B = ۰$. پس با نزدیک‌کردن میله به کرهٔ A، الکترون‌ها از کرهٔ A به سمت کرهٔ C می‌روند. با برداشتن کرهٔ B، کرهٔ C که الکترون گرفته بود، دارای بار منفی و کرهٔ A با از دست دادن الکترون دارای بار مثبت می‌شود؛ یعنی: $q_A > ۰ , q_C < ۰$

۲۴- گزینهٔ «۱» با توجه به شکل‌های زیر، با نزدیک‌کردن کرهٔ فلزی خنثی به گلولهٔ فلزی، بارهای منفی کره تمایل به نزدیک‌شدن به بارهای مثبت گلوله پیدا می‌کنند و مشاهده می‌شود گلوله **جذب** می‌شود. وقتی که تماس حاصل شد، مقداری از بار گلوله به کره منتقل می‌شود و در نتیجه بار هر دو مثبت می‌شود. واضح است که با مثبت‌شدن بار هر دو جسم، گلوله و کره همدیگر را **دفع** می‌کنند.



۲۵- گزینهٔ «۴» گام اول زمانی که دو جسم یکدیگر را دفع می‌کنند، حتماً باردار و همنام هستند. پس جسم B و C باردار و همنام هستند.

گام دوم چون جسم A جذب شده، نمی‌توانیم در مورد بار A اظهار نظر قطعی کنیم؛ چرا که چه بار A ناهمنام با B باشد، چه بدون بار، جذب B می‌شود.

با توجه به این دو گام به تحلیل گزینه‌ها می‌پردازیم:

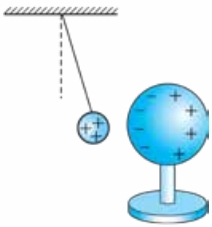
گزینهٔ (۱): A می‌تواند بدون بار باشد. ✗ گزینهٔ (۲): همان‌طور که گفتیم B و C بار همنام دارند. ✗

گزینهٔ (۳): B حتماً باردار است. ✗ گزینهٔ (۴): همان‌طور که گفتیم A می‌تواند بدون بار باشد؛ در مورد باردار‌بودن B هم که شکی نداریم. ✓

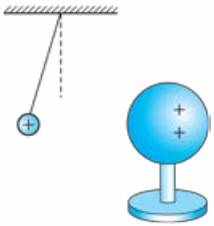
۲۶- گزینهٔ «۲» با توجه به وضع گلولهٔ A و C، در مورد باردار‌بودن و همنام‌بودن بار این دو گلوله مطمئن هستیم؛ اما در مورد گلولهٔ B نمی‌دانیم که بار غیرهمنام با جسم A دارد یا بدون بار است! با توجه به این موضوع، تنها گزینهٔ (۲) می‌تواند درست باشد.

۲۷- گزینهٔ «۴» در منفی‌بودن بار گلولهٔ A شک نداریم؛ چرا که از میله دور شده! می‌ماند گلولهٔ B! همان‌طور که می‌بینید گلولهٔ B به میله نزدیک شده! پس یا بدون بار است یا دارای بار مثبت! با توجه به گزینه‌ها **گلولهٔ B می‌تواند خنثی باشد.**

۲۸- گزینهٔ «۳» تا قبل از تماس کره با گلولهٔ آونگ الکتریکی، همان‌طور که در شکل مقابل می‌بینید، آونگ به دلیل جاذبهٔ ناشی از القای بار الکتریکی در کره به سمت راست منحرف می‌شود.



بعد از تماس گلولهٔ آونگ که بار مثبت دارد، با کرهٔ فلزی خنثی، کره هم بار مثبت پیدا می‌کند و به دلیل دافعهٔ ناشی از بارهای مثبت، آونگ مطابق شکل مقابل به سمت چپ منحرف می‌شود.



۲۹- گزینهٔ «۱» فقط در اجسام رسانا قابلیت جداسازی الکترون‌ها از هسته با روش القا وجود دارد. به عبارت دیگر همهٔ اجسام چه رسانا و چه نارسانا دچار القای الکتریکی می‌شوند، اما فقط اجسام رسانا هستند که می‌توانند از این طریق باردار شوند.

۳۰- گزینهٔ «۲» از آن‌جا که بادکنک باردار است، به خاطر پدیدهٔ القا، آب دوست دارد به بادکنک نزدیک شود!

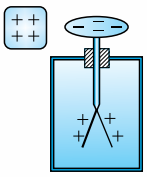
۳۱- گزینهٔ «۱» اول این‌که چون میله باردار و تکهٔ آلومینیم و تکهٔ کاغذ خنثی هستند، **هر دو نیرو جاذبه‌اند**. ضمناً چون آلومینیم رسانا و تکهٔ کاغذ خنثی است، $F_۱ > F_۲$ است؛ چرا که نیروی بین دو رسانا به خاطر وجود الکترون‌های آزاد و شارش بیشتر جریان، قوی‌تر است.

۳۲- گزینهٔ «۲» چون دو کره مثل هم هستند، پس از تماس بار هر کره $\frac{q_۱ + q_۲}{۲}$ می‌شود. یعنی: $q'_۱ = q'_۲ = \frac{q_۱ + q_۲}{۲} = \frac{۶ - ۲}{۲} = ۲\ \mu C$

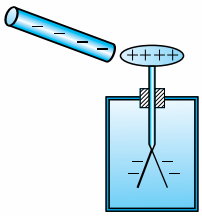
۳۳- گزینهٔ «۴» گام اول ابتدا ببینیم بار هر کره پس از تماس، چند میکروکولن می‌شود: $q'_A = q'_B = \frac{q_A + q_B}{۲} = \frac{۱۲ - ۴}{۲} = ۴\ \mu C$

گام دوم برای آن‌که بار کرهٔ B از $-۴\ \mu C$ به $۴\ \mu C$ برسد باید به اندازهٔ $۸\ \mu C$ الکترون از کرهٔ B به کرهٔ A برود (تا این‌جا گزینه‌های (۱) و (۳) کنار رفتند)، اما چند الکترون؟ رابطهٔ $q = ne$، تعداد الکترون‌ها را به ما می‌گوید: $q = ne \Rightarrow ۸\times۱۰^{-۶} = n\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹} \Rightarrow n = ۵\times۱۰^{۱۳}$

۳۴- گزینهٔ «۳» مطابق شکل با نزدیک‌کردن جسم با بار مثبت به کلاهک الکتروسکوپ، الکترون‌ها از ورقهٔ الکتروسکوپ به سمت جسم حرکت می‌کنند؛ در نتیجه **ورقه‌ها بار مثبت** پیدا می‌کنند. **بار کلاهک نیز، منفی** می‌شود؛ پس پاسخ تست، گزینهٔ (۳) خواهد بود.

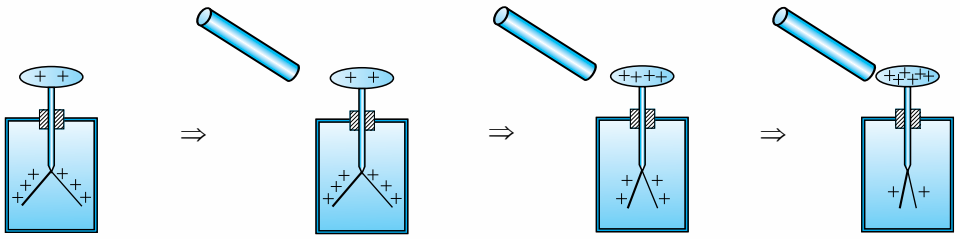


۳۵- گزینهٔ «۳» مطابق شکل با نزدیک‌کردن میله با بار منفی، الکترون‌های الکتروسکوپ از کلاهک به سمت ورقه‌ها می‌روند. بنابراین همان‌طور که در شکل می‌بینید، بار الکتریکی کلاهک **مثبت** و بار الکتریکی ورقه‌ها **منفی** می‌شود.

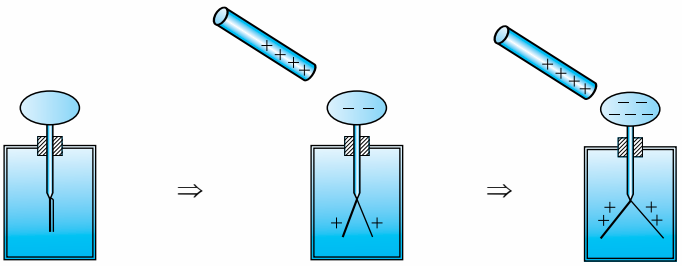


۳۶- گزینهٔ «۴» از آن‌جا که با نزدیک‌کردن میله به الکتروسکوپ ورقه‌های آن از هم باز شده‌اند، **میله حتماً باردار است**؛ اما در مورد بار آن نمی‌توان نظری داد.

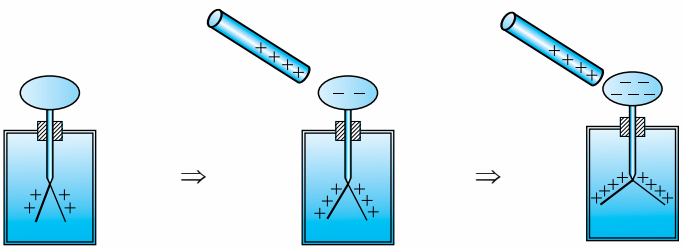
۳۷- گزینهٔ «۲» چون الکتروسکوپ باردار است، وقتی میلهٔ آلومینیمی بدون بار را به تدریج به کلاهک نزدیک می‌کنیم، در میله بار مخالف القا می‌شود و بارهای الکتروسکوپ جذب میله می‌شوند. مطابق شکل با جذب بار توسط میله، بارهای روی ورقه‌ها به سمت کلاهک می‌روند و **ورقه‌ها به آرامی بسته می‌شوند.**



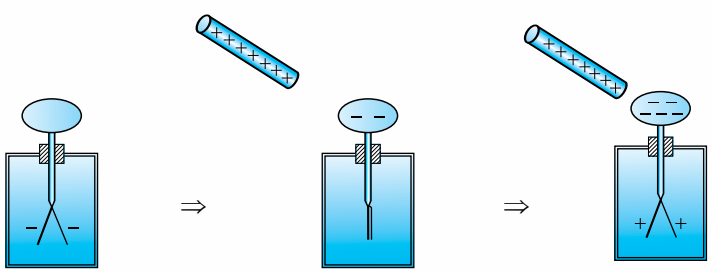
۳۸- گزینهٔ «۲» وقتی الکتروسکوپ بدون بار باشد، ورقه‌ها از همان اول بسته‌اند. هر چه‌قدر میلهٔ باردار به الکتروسکوپ نزدیک شود، ورقه‌ها از یکدیگر بیشتر فاصله می‌گیرند؛ پس گزینه‌های (۳) و (۴) حتماً نادرست‌اند. این موضوع را در شکل زیر می‌بینید:



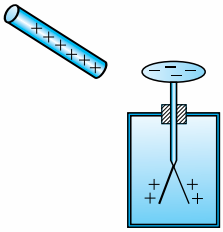
حالا فرض کنیم بار ورقه‌های الکتروسکوپ مثبت است. در این صورت با نزدیک‌کردن میله با بار مثبت تعداد بیشتری بار مثبت روی ورقه‌ها القا می‌شود و در نتیجه فاصلهٔ ورقه‌ها بیشتر می‌شود؛ پس گزینهٔ (۱) هم نادرست است.



حالا به بررسی تنها حالت باقی‌مانده یعنی گزینهٔ (۲) می‌پردازیم. مطابق شکل زیر با نزدیک‌کردن میله با بار مثبت، بار منفی تیغه به کلاهک می‌رود و در نتیجه بار آن خنثی و تیغه‌ها بسته می‌شوند. با نزدیک‌ترکردن میله، الکترون بیشتری به کلاهک می‌رود؛ در نتیجه بار تیغه مثبت می‌شود. با مثبت‌شدن بار تیغه، تیغه‌ها دوباره از هم فاصله می‌گیرند.

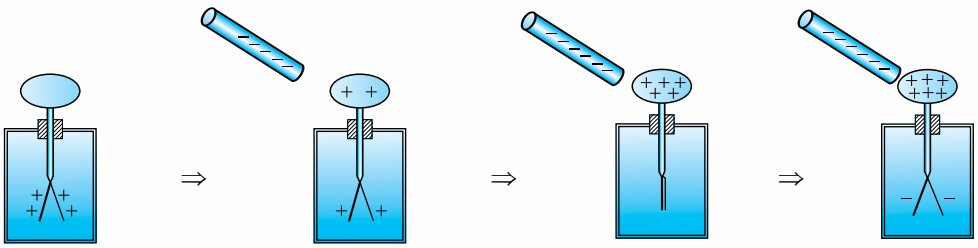


۳۹- گزینهٔ «۲» با تماس میلهٔ رسانای بدون بار به کلاهک الکتروسکوپ مثبت، بار میله مثل بار الکتروسکوپ، مثبت می‌شود. با نزدیک‌کردن این میله به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار، بارهای منفی از ورقه به سمت کلاهک می‌روند؛ پس بار کلاهک **منفی** و بار ورقه‌ها **مثبت** می‌شود.



۴۰- گزینهٔ «۱» در این تست، به نوعی الکتروسکوپ را به روش القا باردار می‌کنیم؛ پس بار القاشده در الکتروسکوپ مخالف بار تکه چوب خواهد بود؛ یعنی ورقه‌ها دارای بار **مثبت** و **از هم دور** می‌شوند.

۴۱- گزینهٔ «۴» چون میله بار منفی می‌گیرد، وقتی میله را به کلاهک نزدیک می‌کنیم، الکترون‌ها از کلاهک دور می‌شوند و دوباره به ورقه‌ها می‌روند. در این حالت بار ورقه‌ها خنثی و در نتیجه بسته می‌شوند. اگر الکترون بیشتری به سمت ورقه‌ها برود، بار منفی پیدا می‌کنند و دوباره از هم دور می‌شوند.



۴۲- گزینهٔ «۴» زاویهٔ بین ورقه‌های الکتروسکوپ کاهش یافته در نتیجه بار میله و بار اولیهٔ الکتروسکوپ باید مخالف یکدیگر باشد. با توجه به سری تریبوالکتریک میله‌های چوبی، نقره‌ای و پلاستیکی هنگام مالش با پارچهٔ ابریشمی دارای بار منفی شده (چون نسبت به ابریشم به انتهای منفی سری نزدیک‌ترند) و بنابراین بار الکتروسکوپ باید مثبت باشد (نادرستی گزینه‌های (۱) و (۳) و درستی گزینهٔ (۴)).

هم‌چنین بار میلهٔ سربی هنگام مالش با پارچهٔ ابریشمی مثبت شده (چون نسبت به ابریشم به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر است) و بنابراین بار الکتروسکوپ باید منفی باشد (نادرستی گزینهٔ (۲)).

۴۳- گزینهٔ «۲» مطابق رابطهٔ $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$، بزرگی نیروی الکتریکی بین دو ذره با **حاصل‌ضرب اندازهٔ بار الکتریکی دو ذره (اندازهٔ بار هر یک از آن‌ها)** نسبت مستقیم و **با مربع فاصلهٔ بین آن‌ها** نسبت وارون دارد.

۴۴- گزینهٔ «۴» ۱) از رابطهٔ $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$، k را برحسب دیگر کمیت‌ها به دست می‌آوریم و سپس یکاها را جای‌گذاری می‌کنیم تا یکای k مشخص شود:

$$k = \frac{Fr^2}{q_1 q_2} \Rightarrow k \text{ یکای} \equiv \frac{N.m^2}{C^2}$$

۲) از آن‌جایی که بین k و ε_0 رابطهٔ $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ برقرار است، می‌فهمیم که یکای ε_0 معکوس یکای k است؛ یعنی $\varepsilon_0 \text{ یکای} \equiv \frac{C^2}{N.m^2}$.

۴۵- گزینهٔ «۱» با توجه به رابطهٔ $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$، اول این‌که با افزایش فاصله، نیرو کاهش می‌یابد؛ پس گزینه‌های (۳) و (۴) کنار می‌روند. دوم این‌که بین فاصله و نیرو رابطهٔ خطی وجود ندارد؛ پس گزینهٔ (۲) هم کنار می‌رود.

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

۴۶- گزینهٔ «۱» چون بارها غیرهمنام‌اند، نیروی الکتریکی بینشان، **رباییی** است. می‌ماند محاسبهٔ بزرگی نیروی الکتریکی بینشان:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = 9\times10^9 \frac{3\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{(3\times10^{-2})^2} = 60\ N$$

یادآوری در تست‌هایی که بار برحسب میکروکولن و فاصله برحسب سانتی‌متر است، اگر k را برابر $90\frac{N(cm)^2}{(\mu C)^2}$ قرار دهیم، می‌توانیم بدون تبدیل واحد به جواب برسیم. به عنوان مثال در همین تست راحت‌تر به جواب می‌رسیدیم:

$$F = 90\times\frac{3\times2}{3^2} = 60\ N$$

۴۷- گزینهٔ «۴» برای سادگی محاسبات، k را برابر ۹۰ قرار می‌دهیم تا فاصله برحسب سانتی‌متر به دست آید:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \Rightarrow 18 = 90\times\frac{5\times4}{r^2} \Rightarrow r^2 = 90\times\frac{5\times4}{18} = 100 \Rightarrow r = 10\ cm$$

۴۸- گزینهٔ «۱» با یک جای‌گذاری ساده طرفیم! دقت کنید که برای سادگی در محاسبات، باز هم k را برابر ۹۰ قرار دادیم:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \xrightarrow{q_1=q_2=q} 90 = 90\times\frac{q^2}{16} \Rightarrow q^2 = 16 \Rightarrow q = 4\ \mu C$$