

از آن جایی که درس فیزیک هم در امتحان نهایی‌ها و هم در کنکور نقش فعالی را بازی می‌کند! باید یک بار برای همیشه این درس را به طور عمیق و کامل یاد بگیرید. از طرفی این را باید بدانید که در امتحان نهایی فیزیک باید راه حل‌هایی را بنویسید که در کتاب درسی به آن اشاره شده است و نمی‌توانید از روش‌های تستی در آن استفاده کنید. این موضوعات باعث شد ما تصمیم بگیریم که کتاب ماجرای بیست فیزیک ۱۱ را طوری بنویسیم که شما با خواندن آن و تمرین و تکرار روی آن به اهداف زیر برسید:

**۱** یادگرفتن و حفظ‌شدن تمام تعاریف، مفاهیم و حفظیات آشکار و پنهان کتاب درسی **۲** یادگرفتن و حفظ‌شدن تمامی فرمول‌های فیزیک ۱۱ **۳** نحوه به کار بردن مفاهیم و فرمول‌ها در حین مواجهه با پرسش‌ها و مسئله‌ها **۴** کسب مهارت حل مسئله **۵** تسلط روی مثال‌ها، پرسش‌ها و تمرین‌های کتاب درسی

کتاب ماجرای بیست فیزیک شامل ۴ بخش عمده است که هر کدام را به طور مختصر برایتان توضیح می‌دهیم:

### بخش ۱: درس‌نامه

ما هر فصل را به قسمت‌های کوچک‌تری تقسیم کرده‌ایم و برای هر کدام از آن قسمت‌های کوچک یک درس‌نامه خوب و کاربردی نوشته‌ایم. در این بخش تمامی مفاهیم، تعاریف، فرمول‌ها و نکات ریز و درشت کتاب درسی بیان شده است و با مثال‌های فراوان به آن‌ها عمق بخشیده شده است تا با خواندن آن همه‌چیز را برای امتحان نهایی یاد گرفته باشید.

### تیترها، کادرها و آیکن‌های مورد استفاده در درس‌نامه

**تیتتر اصلی** این تیتتر موضوع اصلی یک قسمت از درس‌نامه را مشخص می‌کند. مثلاً: **بار الکتریکی**

**تیتتر فرعی** این تیتتر موضوع بخشی از یک تیتتر اصلی را بیان می‌کند. مثلاً: **نماد و یکای بار الکتریکی**

**تیتتر جزئی** این تیتتر موضوع یک مبحث از تیتتر فرعی را بیان می‌کند. مثلاً: **چرا مثبت و منفی بله؟ چرا کامران و هومن نه؟!**

**کادرهای «فرمول» و «تعریف»:** همه فرمول‌ها و تعریف‌هایی را که شما باید حفظ باشید، داخل کادر قرار داده‌ایم. مثل تعریف و فرمول تندی متوسط:

**اصل کوانتیده‌بودن بار:** همیشه بار الکتریکی مشاهده‌شده در اجسام، مضرب درستی (صحیحی) از بار بنیادی (e) است (یعنی  $q = \pm ne$ ).

**کادر «این رو بخون که یاد بگیری»:** در این کادرها به شما گفته‌ایم چه‌طور از فرمول یا تعریفی که یاد گرفته‌اید، استفاده کنید؛ مثلاً در کادر زیر به شما گفته‌ایم که چه‌طور می‌توانید از فرمول  $q = \pm ne$  برای به دست آوردن مقدار بار الکتریکی در یک مسئله استفاده کنید.

### این رو بخون که یاد بگیری

(در صفحه ۹ کتاب مشاهده کنید.)

**کادر «حالا خودت جواب بده»:** نوبتی هم باشه نوبت شماست! ما تعریف، فرمول و نحوه به کار بردن آن‌ها را برایتان گفتیم، حالا شما باید خودتان دست به کار شوید و آن‌ها را در یک سؤال به کار ببرید. این شما و این کادر حالا خودت جواب بده.

### حالا خودت جواب بده

(در صفحه ۹ کتاب مشاهده کنید.)

**کادر «کتاب درسی زیر ذره‌بین»:** بعضی از جزئیات در کتاب درسی رفتن گوشه - کنارها مخفی شدن. در این کادر به این موارد پرداختیم. **آیکن‌ها:** در درس‌نامه به آیکن‌هایی مثل **نکته**، **توجه**، **تذکر** و ... برخورد می‌کنید. همان‌طور که از اسمشان مشخص است باید دقتتان هنگام خواندن این‌جا چند برابر شود.

### بخش ۲: سؤال‌های امتحانی

بعد از درس‌نامه هر درس سؤال‌های امتحانی آن درس قرار گرفته است. این سؤال‌ها شامل سؤال‌های امتحان نهایی‌های سال‌های گذشته به صورت طبقه‌بندی‌شده، سؤال‌های مشابهت‌سازی‌شده مثال‌ها و تمرین‌های کتاب درسی و سؤال‌های تألیفی سخت و پیشرو است که به شما این اطمینان را بدهد که هر سؤالی که در امتحان نهایی فیزیکتان می‌آید، عین آن و یا مشابهش را قبلاً در کتاب فیزیک یازدهم ماجرای بیست دیده‌اید.

### بخش ۳: پاسخ تشریحی

تمام سؤال‌های امتحانی این کتاب پاسخ تشریحی دارند تا هر موقع نتوانستید که سؤالی را حل کنید، با خیال راحت بروید سراغ بخش پاسخ تشریحی و آن‌جا مشکلاتتان را حل کنید.

### بخش ۴: امتحان‌های نوبت اول و دوم

۲ امتحان نوبت اول و ۳ امتحان نوبت دوم به همراه پاسخ در انتهای کتاب قرار گرفته است که چیزی برای ۲۰ گرفتن در امتحان نوبت اول و امتحان نهایی کم نداشته باشید!

# فهرست

درس ۹: به هم بستن موازی مقاومت‌ها..... ۱۱۵

درس ۱۰: اتصال مختلط مقاومت‌ها..... ۱۲۲

## فصل سوم: مغناطیس و القای الکترومغناطیسی

درس ۱: مغناطیس..... ۱۲۹

درس ۲: میدان مغناطیسی..... ۱۳۳

درس ۳: نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان

مغناطیسی..... ۱۳۷

درس ۴: نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

درس ۵: میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

درس ۶: نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان..... ۱۵۲

درس ۷: میدان مغناطیسی ناشی از حلقه دایره‌ای

حامل جریان..... ۱۵۴

درس ۸: میدان مغناطیسی حاصل از سیم‌لوله حامل

جریان..... ۱۵۷

درس ۹: ویژگی‌های مغناطیسی مواد..... ۱۶۲

درس ۱۰: القای الکترومغناطیسی..... ۱۶۶

درس ۱۱: قانون القای الکترومغناطیسی فاراده..... ۱۶۸

درس ۱۲: قانون لنز..... ۱۷۶

درس ۱۳: القاگرها..... ۱۸۱

درس ۱۴: جریان متناوب..... ۱۸۵

## پاسخ‌نامه سؤال‌های امتحانی

## آزمون‌های نوبت اول و دوم

نمونه امتحان نوبت اول (امتحان شماره ۱)..... ۲۵۹

نمونه امتحان نوبت اول (امتحان شماره ۲)..... ۲۶۱

نمونه امتحان نوبت دوم (امتحان شماره ۳)..... ۲۶۳

نمونه امتحان نوبت دوم (امتحان شماره ۴)..... ۲۶۵

نمونه امتحان نوبت دوم (نهایی خرداد ۱۴۰۳)..... ۲۶۷

پاسخ‌نامه امتحان‌ها..... ۲۷۰

## فصل اول: الکتریسیته ساکن

درس ۱: مفاهیم اولیه بار الکتریکی..... ۸

درس ۲: روش‌های باردار کردن اجسام..... ۱۲

درس ۳: قانون کولن..... ۲۰

درس ۴: برابند نیروهای الکتریکی و بررسی این

موضوع برای نیروهای هم‌راستا..... ۲۶

درس ۵: حل مسائل قانون کولن برای مجموعه‌ای از

بارهای غیرهم‌راستا..... ۳۰

درس ۶: میدان الکتریکی..... ۳۳

درس ۷: برابند میدان‌های الکتریکی..... ۳۸

درس ۸: خطوط میدان الکتریکی..... ۴۴

درس ۹: نیروی الکتریکی وارد بر بار الکتریکی در میدان

الکتریکی..... ۴۷

درس ۱۰: انرژی پتانسیل الکتریکی..... ۵۰

درس ۱۱: پتانسیل الکتریکی..... ۵۶

درس ۱۲: میدان الکتریکی در داخل رسانا..... ۶۴

درس ۱۳: تراکم بار الکتریکی در نقاط مختلف سطح

یک رسانای باردار..... ۶۸

درس ۱۴: خازن..... ۶۹

درس ۱۵: انرژی خازن و بررسی تأثیر تغییرات ساختمان

خازن بر کمیت‌های مختلف..... ۷۵

## فصل دوم: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

درس ۱: جریان الکتریکی چیست؟..... ۸۱

درس ۲: مقاومت الکتریکی..... ۸۶

درس ۳: عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی..... ۹۱

درس ۴: نیروی محرکه الکتریکی..... ۹۸

درس ۵: بررسی یک مدار ساده الکتریکی..... ۱۰۰

درس ۶: توان الکتریکی..... ۱۰۵

درس ۷: توان در منبع نیروی محرکه الکتریکی..... ۱۰۸

درس ۸: به هم بستن متوالی (سری) مقاومت‌ها..... ۱۱۱

# درس نامہ و سؤالات امتحان

# فصل ۱: الکتریسیته ساکن

## درس ۱: مفاهیم اولیه بار الکتریکی

بیایید فصل را با یک خاطره مشترک آغاز کنیم. خیلی از ماها، در دوران کودکی جوراب پایمان می‌کردیم، کف پایمان را روی فرش می‌کشیدیم و سپس نوک انگشتمان را به دستگیره در می‌زدیم و از ایجاد جرقه و صدای آن لذت می‌بردیم. شاید آن موقع نمی‌دانستیم که منشأ این موضوع چیست، ولی آن را تجربه کرده بودیم. فیلسوفان یونانی باستان هم تجربه‌های مشابهی داشتند. آن‌ها هم وقتی خرده‌های کاه را با کهربا مالش می‌دادند و می‌دیدند که کهربا و خرده‌های کاه یکدیگر را جذب می‌کنند، مثل ما در دوران کودکی‌مان، علت آن را نمی‌دانستند. البته الان شما می‌دانید که منشأ هر دو پدیده یکسان است و آن چیزی نیست جز بار الکتریکی. *درسته که یونانیان باستان بر خلاف شما افراد آگاهی نبودند* 😊 اما مشاهدات آن‌ها پایه‌گذار علمی شد که اسم آن از واژه کهربا در یونانی گرفته شده است. کهربا در یونانی می‌شود الکترون!

### بار الکتریکی

بار الکتریکی خاصیتی است که برخی از ذرات بنیادی (یعنی ذرات سازنده جهان) دارند. یکی از این ذرات الکترون است که بار منفی دارد. ذرات دیگری هم وجود دارند که بار مثبت دارند. در حالت عادی مقدار بار منفی و مثبت اجسام برابر است و جسم خنثی است. اما وقتی این تعادل به هم بریزد، اجسام باردار می‌شوند. یادتان باشد که بسیاری از پدیده‌هایی که در اطرافمان می‌بینیم، منشأ الکتریکی دارند که چند نمونه از آن‌ها را در زیر می‌بینید:

**نمونه:** به هم پیوستن اتم‌ها به هم و ایجاد مولکول، پیام‌های عصبی در اعصاب، چسبیدن سلولان به ظرف پلاستیکی، بالارفتن یک مارمولک از دیوار و ... همگی منشأ الکتریکی دارند.

### نماد و یکای بار الکتریکی

بار الکتریکی که در فیزیک آن را با حرف  $q$  یا  $Q$  نشان می‌دهیم، مانند بیشتر کمیت‌های فیزیکی دیگر، یکا دارد. این یکا در SI، کولن نامیده می‌شود که آن را با  $C$  نمایش می‌دهیم. یکای کولن یکای بسیار بزرگی است. به همین خاطر بیشتر بارهایی که ما با آن‌ها سروکار داریم، در حدود میکروکولن ( $1 \mu C = 10^{-6} C$ ) و نانوکولن ( $1 nC = 10^{-9} C$ ) هستند.

**نکته:** بار الکتریکی یک کمیت فرعی است و یکای آن یعنی کولن برحسب دو یکای اصلی آمپر و ثانیه تعریف می‌شود. یک کولن برابر است با:  $1 A.s$  (این موضوع را برایتان به طور کامل در فصل ۲ بررسی خواهیم کرد)



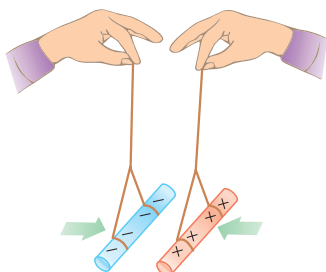
**نمونه:** آذرخش (مثل آذرخشی که در عکس روبه‌رو به آنتن برج میلاد برخورد کرده است)، حدود  $10^9 C$  بار دارد. این موضوع بیانگر بزرگ بودن یکای کولن است.

**نمونه:** موقع شانه کردن موهایتان با یک شانه پلاستیکی، بارهای منتقل شده از مرتبه نانوکولن ( $1 nC$ ) هستند.

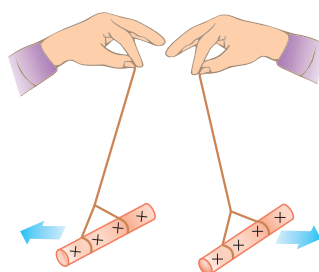
### از کجا فهمیدیم دو نوع بار داریم؟

یکی از پدیده‌هایی که در مورد اجسام باردار مشاهده می‌کنیم، این است که آن‌ها به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

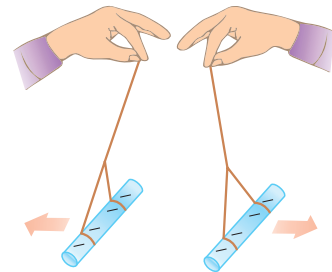
آزمایش‌هایی مانند آزمایش‌های شکل زیر، نشان دادند که نیروی الکتریکی بین اجسام باردار به دو صورت جاذبه و دافعه است. این موضوع بیانگر این است که بار اجسام باردار نباید از یک نوع باشند؛ چون، اگر بار اجسام مختلف از یک نوع بود، اجسام باردار یا یکدیگر را جذب یا یکدیگر را دفع می‌کردند و هر دو حالت رخ نمی‌داد. به همین خاطر دانشمندان دو نوع بار ناهم‌نام مثبت و منفی در نظر گرفتند که این موضوع را توجیه کنند. آن‌ها فهمیدند که: بارهای هم‌نام (مثبت و مثبت / منفی و منفی) یکدیگر را دفع و بارهای ناهم‌نام (مثبت و منفی) یکدیگر را جذب می‌کنند.



(پ) وقتی میله پلاستیکی مالش داده شده با پارچه پشمی را به میله شیشه‌ای مالش داده شده با پارچه ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.



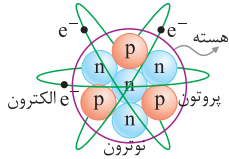
(ب) وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.



(الف) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

**چرا مثبت و منفی بله؟ چرا کامران و هومن نه؟!** نام‌گذاری بارهای الکتریکی به صورت مثبت و منفی، از کارهای بنیامین فرانکلین دانشمند آمریکایی بود. او می‌توانست هر نام دیگری برای این دو نوع بار انتخاب کند، ولی انتخاب او خوبی‌هایی دارد. یکی از خوبی‌های این نام‌گذاری این است که در یک جسم خنثی که به مقدار مساوی از بارهای مثبت و منفی وجود دارد، جمع جبری بارهای جسم صفر می‌شود و برای سایر اجسام می‌توانیم بارها را با زبان ریاضی بیان کنیم.

### بار اجزای اتم و انتقال بار



هر اتم از دو جزء اصلی یعنی هسته (با بار مثبت) و الکترون‌ها (با بار منفی) تشکیل شده است. همان‌طور که در شکل مقابل می‌بینید، خود هسته‌ها هم از دو نوع ذره ریز تشکیل شده‌اند:

۱ نوترون‌ها که بدون بار هستند.

۲ پروتون‌ها که بار هسته حاصل از بار مثبت آن‌ها است.

**اندازه بار اجزای اتم** اندازه بار یک الکترون و یک پروتون بدون در نظر گرفتن علامت آن‌ها با هم برابر است. این مقدار تقریباً برابر با  $e \approx 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$  است و به آن **بار بنیادی** یا بار پایه گفته می‌شود. بار هر الکترون برابر با  $-e$  و بار هر پروتون برابر با  $+e$  است.

**نکته** در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها برابر تعداد پروتون‌ها است؛ در نتیجه همان‌طور که انتظار داریم، جمع جبری بارها صفر می‌شود.

**الکترون عامل انتقال بار** زمانی که یک میله پلاستیکی را به یک پارچه پشمی مالش می‌دهیم، هر دو جسم باردار می‌شوند. در موقع انجام این کار، تعدادی الکترون از سطح پارچه کنده و به سطح جسم پلاستیکی منتقل می‌شوند؛ اما، هسته‌ها و در نتیجه پروتون‌ها جابه‌جا نمی‌شوند. به خاطر این موضوع، پارچه پشمی که با از دست دادن الکترون، تعداد پروتون‌هایش بیشتر از تعداد الکترون‌هایش شده، دارای بار خالص مثبت می‌شود. از طرف دیگر، بار میله پلاستیکی با گرفتن الکترون، منفی می‌شود؛ چون، تعداد الکترون‌های آن بیشتر از تعداد پروتون‌هایش شده است.

**یادآوری:** به تعداد پروتون‌های یک اتم عدد اتمی می‌گوییم و آن را با نماد  $Z$  نمایش می‌دهیم. عدد اتمی برای یک نوع اتم، مقدار ثابتی است و تغییر نمی‌کند.

### جمع‌بندی

|                               |                                               |                  |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|------------------|
| $n_e = n_p \Rightarrow q = 0$ | مساوی بودن تعداد الکترون‌ها و تعداد پروتون‌ها | خنثی بودن جسم    |
| $n_e > n_p \Rightarrow q < 0$ | بیشتر شدن تعداد الکترون‌ها از تعداد پروتون‌ها | منفی شدن بار جسم |
| $n_e < n_p \Rightarrow q > 0$ | کم‌تر شدن تعداد الکترون‌ها از تعداد پروتون‌ها | مثبت شدن بار جسم |

### بار کوانتیده است

اول بگوییم که **کوانتیده بودن یعنی گسسته بودن**. مثلاً تعداد خودکارهای شما کوانتیده است؛ یعنی شما می‌توانید آن‌ها را دانه‌دانه بشمارید و مثلاً شما نمی‌توانید  $2/7$  خودکار داشته باشید، یا  $2/3$  خودکار دارید یا  $3$  تا! در واقع کوانتیده بودن در مقابل پیوسته بودن است. مثلاً زمان پیوسته است و شما نمی‌توانید آن را دانه‌دانه بشمارید.

با توجه به مطالب بیان شده، می‌فهمیم که مقدار بار الکتریکی یک جسم، با تعداد الکترون‌هایی که جسم می‌گیرد یا از دست می‌دهد، متناسب است و داریم:

$$q = \pm ne \begin{cases} \Rightarrow \text{از دست دادن } n \text{ الکترون} \\ \Rightarrow \text{گرفتن } n \text{ الکترون} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q = +ne \\ q = -ne \end{cases}$$

در رابطه بالا،  $n$  باید اعداد حسابی یعنی  $0, 1, 2, \dots$  باشد و نمی‌تواند اعدادی مثل  $2/5, \sqrt{2}, \dots$  باشد؛ چون الکترون ناقص نداریم. به همین خاطر می‌گوییم که بار کوانتیده است و این موضوع را به صورت اصل زیر بیان می‌کنیم:

**اصل کوانتیده بودن بار:** همیشه بار الکتریکی مشاهده شده در اجسام، مضرب درستی (صحیحی) از بار بنیادی ( $e$ ) است (یعنی  $q = \pm ne$ ).

**نکته** از مطالب بالا می‌فهمیم که اندازه کوچک‌ترین باری که می‌تواند به طور مستقل وجود داشته باشد، برابر با بار بنیادی یعنی  $1e$  است.

### این روبخون که یاد بگیری

**مثال** اگر بار الکتریکی یک میله پلاستیکی  $-128 \text{ nC}$  باشد، یعنی این میله  $8 \times 10^{11}$  الکترون گرفته و تعداد الکترون‌های آن  $8 \times 10^{11}$  تا بیشتر از تعداد پروتون‌هایش شده است.

### حالا خودت جواب بده

**مثال** بار الکتریکی جسمی  $-1/6 \mu\text{C}$  است. تعداد پروتون‌های این جسم از تعداد الکترون‌هایش بیشتر است یا کمتر؟ چندتا؟

**پاسخ** بار منفی است؛ پس جسم الکترون گرفته و تعداد پروتون‌ها از الکترون‌ها کمتر است؛ اما، برای این که بفهمیم جسم چندتا پروتون کمتر از الکترون دارد، باید از رابطه  $q = -ne$  کمک بگیریم:

$$q = -ne \Rightarrow -1/6 \times 10^{-6} \text{ C} = -n \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} \Rightarrow n = \frac{10^{-6}}{10^{-19}} = 10^{13}$$

یعنی تعداد پروتون‌های جسم  $10^{13}$  تا کمتر از تعداد الکترون‌های آن است!

**مثال** عدد اتمی اکسیژن ۸ است ( $Z = 8$ ):

(الف) در حالت خنثی چند پروتون در هسته و چند الکترون در اطراف هسته وجود دارد؟

(ب) بار هسته یون  $O^{2-}$  را بر حسب نانوکولن به دست آورید.

(پ) مجموع بار الکترون‌های یون  $O^{2-}$  چند کولن است؟

(ت) بار خالص یون  $O^{2-}$  بر حسب میکروکولن چه قدر است؟

**پاسخ الف** عدد اتمی بیانگر تعداد پروتون‌های داخل هسته است؛ بنابراین تعداد پروتون‌های اتم اکسیژن ۸ تا است. از طرفی در حالت خنثی تعداد

الکترون‌ها با تعداد پروتون‌ها مساوی است؛ پس تعداد الکترون‌های اتم اکسیژن خنثی همان ۸ تا است.

**ب** وقتی یک اتم تبدیل به یون می‌شود، فقط تعداد الکترون‌های آن تغییر می‌کند و تعداد پروتون‌های آن ثابت می‌ماند؛ پس تعداد پروتون‌های

یون  $O^{2-}$  همان ۸ تا است. از طرفی می‌دانیم که بار پروتون  $C = +1/6 \times 10^{-19}$  است؛ پس:

$$q_{\text{هسته}} = +n_p e = 8 \times 1/6 \times 10^{-19} C = 12/8 \times 10^{-19} C = 1/28 \times 10^{-18} nC$$

**پ** در یون  $O^{2-}$  تعداد الکترون‌ها ۲ تا بیشتر از پروتون‌ها است؛ پس تعداد الکترون‌های یون  $O^{2-}$  برابر با  $8 + 2 = 10$  است. بار این تعداد الکترون

برابر است با:

$$q_{\text{الکترون‌ها}} = -n_e e = -10 \times 1/6 \times 10^{-19} C = -16 \times 10^{-19} C = -1/6 \times 10^{-18} C$$

**ت** بار خالص یون  $O^{2-}$  برابر با اختلاف تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها ضرب در بار پایه است. با توجه به این که یون  $O^{2-}$ ، ۲ تا الکترون بیشتر دارد، داریم:

$$q_{\text{خالص}} = -ne = -2 \times 1/6 \times 10^{-19} C = -3/2 \times 10^{-19} C = -3/2 \times 10^{-13} \mu C$$

همان‌طور که در زیر می‌بینید، این مقدار برابر با مجموع بار هسته و بار الکترون‌های اطراف آن است.

$$q_{\text{خالص}} = q_{\text{هسته}} + q_{\text{الکترون‌ها}} = 12/8 \times 10^{-19} C + (-16 \times 10^{-19} C) = -3/2 \times 10^{-19} C = -3/2 \times 10^{-13} \mu C$$

**دستگاه منزوی:** در مبحث الکتریسیته، به دستگاهی منزوی می‌گوییم که نه از محیط اطراف خود بار بگیرد و نه به آن بار بدهد.

### اصل پایستگی بار

دیدید که در آزمایش مالش پارچه پشمی با میله پلاستیکی، الکترون از پارچه به میله منتقل می‌شود. در این آزمایش شبیه همه آزمایش‌های دیگر، بار فقط منتقل می‌شود و هیچ‌گاه به وجود نمی‌آید و یا از بین نمی‌رود. این موضوع بیانگر اصل پایستگی بار است که به صورت زیر بیان می‌شود:

**اصل پایستگی بار:** مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی، ثابت است؛ یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

پس براساس اصل پایستگی بار الکتریکی، در یک دستگاه منزوی داریم:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots = q'_1 + q'_2 + q'_3 + \dots$$

### این رو بخون که یادگیری

**مثان** یک دستگاه منزوی شامل دو جسم A و B داریم که بار الکتریکی آن‌ها به ترتیب  $q_A = 4 nC$  و  $q_B = 15 nC$  است. فرض کنید جسم

A به تعداد  $5 \times 10^{10}$  الکترون از دست بدهد و این الکترون‌ها را جسم B بگیرد. چون این دستگاه منزوی است، براساس اصل پایستگی بار الکتریکی،

مجموع بارهای الکتریکی در حالت‌های اول و دوم برابر است و داریم:

$$q_A + q_B = q'_A + q'_B = 19 nC$$

و اگر بخواهیم بار هر یک از اجسام را در حالت دوم به دست آوریم، به کمک اصل کوانتیده‌بودن بار برای  $q'_A$  داریم:

$$q'_A = q_A + ne = 4 \times 10^{-9} C + 5 \times 10^{10} \times 1/6 \times 10^{-19} C = 12 \times 10^{-9} C = 12 nC$$

الکترون از دست داده است.

و به طور مشابه برای بار  $q'_B$  داریم:

$$q'_B = q_B - ne = 15 \times 10^{-9} C - 5 \times 10^{10} \times 1/6 \times 10^{-19} C = 7 \times 10^{-9} C = 7 nC$$

الکترون گرفته است.

البته با توجه به اصل پایستگی بار الکتریکی هم می‌توانستیم، مقدار  $q'_B$  را تعیین کنیم:

$$19 nC = q'_A + q'_B \Rightarrow 19 nC = 12 nC + q'_B \Rightarrow q'_B = 7 nC$$

## سؤال‌های امتحانی ؟

سؤال‌هایی که علامت دارند، سخت‌ترین سؤال‌های هر بخش. اگر به کم‌تر از ۲۰ راضی نمی‌شی، بعد از تسلط روی سؤال‌های دیگر، برو سراغ اون سؤال‌ها.

**درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را مشخص کنید.**

۱- یکای بار الکتریکی در SI کولن است که یکای کوچکی است.

۲- جسمی که تعداد الکترون‌هایش کم‌تر از تعداد پروتون‌های آن می‌شود، بار الکتریکی خالص مثبت پیدا می‌کند.

(سؤال‌ات دبیرخانه کشوری فیزیک)

۳- نام‌گذاری بار به صورت مثبت و منفی تنها راه برای نام‌گذاری بار بوده است.

۴- اجسام با بار مثبت یکدیگر را جذب و اجسام با بار منفی یکدیگر را دفع می‌کنند.

(نهایی ریاضی فرداد ۱۴۰۳<sup>۱</sup>)

۵- بار الکتریکی یک جسم، نمی‌تواند هر مقدار دلخواهی را داشته باشد.

۶- بار الکتریکی در ماده همواره کمیتی پیوسته است که نمی‌تواند کم‌تر از بار الکتریکی پایه باشد.

۷- در مالش شانه پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل‌شده از مرتبه میکروکولن است.

■ جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب کامل کنید.

(نهایی ریاضی<sup>۲</sup>)

۸- بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود، به این بیان ..... گفته می‌شود.

۹- بار الکتریکی ..... از یک بار پایه است که به آن بار بنیادی می‌گوییم.

■ در جمله‌های زیر، عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

(نهایی تهری فرداد ۱۴۰۳)

۱۰- جمله «مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است.» بیانگر اصل (پایستگی / کوانتیده‌بودن) بار است.

(نهایی ریاضی فرداد ۱۴۰۴)

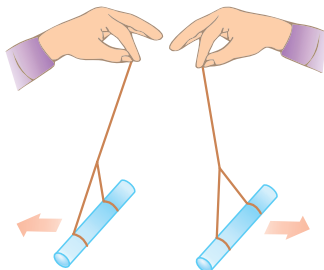
۱۱- طبق اصل (پایستگی / کوانتیده‌بودن) بار، همواره بار الکتریکی جسم، مضرب درستی از بار بنیادی  $e$  است.

۱۲- کمیت بار الکتریکی یک کمیت (فرعی / اصلی) است.

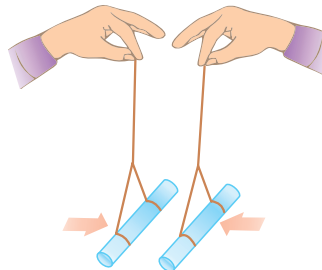
۱۳- در یک آدرخش باری از مرتبه  $(10^{\circ} TC / 10^{\circ} C)$  به زمین منتقل می‌شود.

■ به پرسش‌ها و مسئله‌های زیر پاسخ دهید.

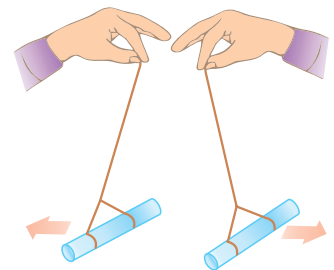
۱۴- آزمایش مربوط به شکل‌های زیر بیانگر کدام موضوع فیزیکی است؟



(ب) وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.



(ب) وقتی میله پلاستیکی مالش داده شده با پارچه پشمی را به میله شیشه‌ای مالش داده شده با پارچه ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.



(الف) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

۱۵- اصل پایستگی بار را تعریف کنید.

۱۶- دستگاه منزوی را در علم الکتریسیته تعریف کنید.

۱۷- در یک آزمایش، یک جسم دارای بار الکتریکی شده است. کدام گزینه زیر می‌تواند مقدار بار الکتریکی آن برحسب کولن باشد؟ (اندازه بار

الکتریکی هر الکترون را  $1.6 \times 10^{-19} C$  در نظر بگیرید.)

$$8 \times 10^{-19} (2)$$

$$4 \times 10^{-19} (1)$$

۱۸- اگر اندازه بار یک الکترون  $1.6 \times 10^{-19} C$  باشد، برای این که بار یک جسم  $1 C$  شود، چند الکترون باید منتقل شود؟

۱۹- چند مورد از پدیده‌های زیر منشأ الکتریکی دارند؟

(ب) چسبیدن نوار سلوفان به در ظروف

(الف) انتقال پیام‌های عصبی در دستگاه عصبی انسان

(ت) پیوند اتم‌ها به یکدیگر در مولکول‌ها

(پ) بالاتر رفتن یک مارمولک از دیوار

۲۰- به هر سانتی‌متر از یک میله عایق  $8$  سانتی‌متری،  $10^{10}$  الکترون می‌دهیم. بار این میله چند کولن می‌شود؟ (بار هر الکترون  $1.6 \times 10^{-19} C$  است.)

(مشابه تمرین کتاب درسی)

۲۱- عدد اتمی لیتیم ۳ است:

(الف) بار هسته لیتیم چند کولن است؟

(ب) مجموع بار الکتریکی الکترون‌های یون لیتیم یک بار مثبت (لیتیم یک بار یونیده یا  $Li^{+}$ ) چند کولن است؟ ( $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ )

۲۲- در یک دستگاه منزوی شامل دو جسم  $A$  و  $B$  با بارهای  $q_A$  و  $q_B = -\frac{4}{5}q_A$  مجموع بار الکتریکی درون دستگاه  $20 nC$  است. در طی

آزمایشی، جسم  $A$ ،  $2 nC$  بار از دست می‌دهد. اگر در ابتدا بار جسم  $B$  منفی باشد، در پایان این آزمایش بار جسم  $B$  چند نانوکولن می‌شود؟

۲۳- بار الکتریکی جسمی با بار اولیه منفی، با از دست دادن  $10^4$  الکترون، مثبت می‌شود. اگر با از دست دادن این تعداد الکترون، اندازه بار جسم

۷۵ درصد کاهش یابد، بار اولیه جسم چند کولن بوده است؟ ( $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ )

۱- دانش‌آموزان گرامی سؤال‌های امتحان نهایی برگزار شده از سال ۱۴۰۳ به بعد با آدرس کامل در کتاب قرار گرفته‌اند.

۲- برای آدرس سؤال‌های امتحان نهایی برگزار شده قبل از سال ۱۴۰۳ تنها به رشته اشاره شده است.

## درس ۲: روش‌های باردارکردن اجسام

در علوم هشتم با سه روش باردارکردن اجسام یعنی مالش، تماس و القا آشنا شدید. در این درس‌نامه، می‌خواهیم آن‌ها را برایتان یادآوری کنیم و اگر جایی نیاز به مطالب تکمیلی‌تر بود، آن‌ها را به شما بگوییم. با روش مالش شروع می‌کنیم؛ اما قبل از آن به نکته و تعاریف زیر توجه کنید، چون از این به بعد با آن‌ها خیلی کار داریم:

**نکته** زمین منبع بار الکتریکی است؛ یعنی هر چه قدر از آن بار بگیریم و یا به آن بار بدهیم، مشکلی با آن ندارد و قبول می‌کند! بنابراین اگر جسم رسانای بارداری را با سیم به زمین وصل کنیم و یا با آن تماس دهیم، بار آن تخلیه می‌شود.

**الکترون آزاد:** به الکترون‌هایی می‌گوییم که وابستگی بسیار کمی به هستهٔ اتم دارند و به راحتی می‌توانند در ماده حرکت کنند. الکترون‌های آزاد عامل انتقال بار الکتریکی هستند.

**رسانا:** در بعضی از مواد مثل مس، تعداد زیادی الکترون آزاد وجود دارد. به همین دلیل بار الکتریکی به راحتی می‌تواند در آن‌ها منتقل شود. این نوع مواد را رسانا می‌نامیم.

**نارسانا:** به موادی مثل شیشه، چوب و ... که الکترون‌های آن‌ها نمی‌توانند آزادانه حرکت کنند و در نتیجه نمی‌توانند بار الکتریکی را از خود عبور دهند، نارسانا می‌گوییم.

### باردارکردن اجسام به روش مالش

ابتدا به نمونه‌های زیر توجه و آن‌ها را حفظ کنید:

**نمونه ۱:** اگر یک میلهٔ شیشه‌ای بدون بار را با پارچهٔ ابریشمی بدون بار مالش دهید، الکترون‌هایی از میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ ابریشمی منتقل می‌شوند. این اتفاق، باعث ایجاد بار مثبت در میلهٔ شیشه‌ای و بار منفی در پارچهٔ ابریشمی می‌شود.

**نمونه ۲:** اگر یک میلهٔ پلاستیکی بدون بار را با پارچهٔ پشمی بدون بار مالش دهید، الکترون‌هایی از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی منتقل می‌شوند. این موضوع، باعث ایجاد بار مثبت در پارچهٔ پشمی و بار منفی در میلهٔ پلاستیکی می‌شود.

همان‌طور که در نمونه‌ها دیدید، در اثر مالش دو جسم بدون بار با جنس‌های متفاوت، الکترون‌هایی از یک جسم کنده و به جسم دیگر منتقل می‌شوند. در این صورت، هر دو جسم باردار خواهند شد و بار آن‌ها هم‌اندازه اما ناهم‌نام است.

**نکته** با روش مالش هم می‌توانیم اجسام نارسانا را باردار کنیم و هم اجسام رسانا. این روش بهترین روش برای باردارکردن اجسام نارسانا است.

**سری الکتریسیتهٔ مالشی یا تریبوالکتریک** شاید بپرسید که در هنگام باردارکردن اجسام به روش مالش، چه‌طوری بفهمیم که کدام جسم الکترون می‌گیرد و کدام جسم الکترون از دست می‌دهد؟ این موضوع با توجه به جدولی که به **سری الکتریسیتهٔ مالشی یا تریبوالکتریک** معروف است، تعیین می‌شود. همان‌طور که در جدول روبه‌رو می‌بینید، برای مواد دو انتها در نظر گرفته شده است: یکی انتهای مثبت سری و دیگری انتهای منفی سری. هر چه جسم به انتهای مثبت نزدیک‌تر باشد، تمایل بیشتری برای از دست دادن الکترون دارد. از طرفی هر چه جسم به انتهای منفی سری نزدیک‌تر باشد، تمایل بیشتری به گرفتن الکترون دارد؛ پس:

در سری تریبوالکتریک، هر چه از انتهای مثبت سری به انتهای منفی سری نزدیک می‌شویم، الکترون‌خواهی مواد زیادتر می‌شود.

| سری الکتریسیتهٔ مالشی<br>(تریبوالکتریک) |                    |
|-----------------------------------------|--------------------|
| انتهای مثبت سری                         |                    |
| افزایش الکترون‌خواهی                    | موی انسان          |
|                                         | شیشه               |
|                                         | نایلون             |
|                                         | سلفون              |
|                                         | پشم                |
|                                         | موی گربه           |
|                                         | سُرب               |
|                                         | ابریشم             |
|                                         | آلومینیم           |
|                                         | پوست انسان         |
|                                         | کاغذ               |
|                                         | چوب                |
|                                         | پارچهٔ کتان        |
|                                         | کهریا              |
|                                         | برنج، مس           |
|                                         | پلاستیک، پلی‌اتیلن |
|                                         | لاستیک             |
|                                         | تفلون              |
| انتهای منفی سری                         |                    |

**مثال** بیایید با توجه به آن چه که یاد گرفتیم، دو نمونه ابتدای این مبحث را در یک جدول با هم مرور کنیم:

| نتیجه مالش                                                                                                                                                                             | ماده نزدیک‌تر به<br>انتهای منفی | ماده نزدیک‌تر به<br>انتهای مثبت | نمونه ۱: مالش میله<br>شیشه‌ای بدون بار به<br>پارچه ابریشمی بدون بار |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                        | الکترون‌خواهی بیشتر             | الکترون‌دهی بیشتر               |                                                                     |
| میله شیشه‌ای که الکترون‌دهی بیشتری دارد، الکترون از دست می‌دهد و بار آن مثبت می‌شود.<br>پارچه ابریشمی که الکترون‌خواهی بیشتری دارد، این الکترون‌ها را جذب می‌کند و بار آن منفی می‌شود. | ابریشم                          | شیشه                            | نمونه ۲: مالش میله<br>پلاستیکی بدون بار به<br>پارچه پشمی بدون بار   |
| بار میله شیشه‌ای مثبت                                                                                                                                                                  | بار پارچه ابریشمی منفی          |                                 |                                                                     |
| پارچه پشمی که الکترون‌دهی بیشتری دارد، الکترون از دست می‌دهد و بار آن مثبت می‌شود.<br>میله پلاستیکی که الکترون‌خواهی بیشتری دارد، این الکترون‌ها را جذب می‌کند و بار آن منفی می‌شود.   | پلاستیک                         | پشم                             |                                                                     |
| بار پارچه پشمی مثبت                                                                                                                                                                    | بار میله پلاستیکی منفی          |                                 |                                                                     |

**مثال** فرض کنید یک نایلون خنثی را به یک پارچه کتان خنثی مالش دهیم و بین آن‌ها  $3/2 \text{ nC}$  بار جابه‌جا شود. چون پارچه کتان نسبت به نایلون به انتهای منفی سری نزدیک‌تر است و الکترون‌خواهی بیشتری دارد، به تعداد  $n = \frac{q}{e} = \frac{3/2 \times 10^{-9} \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 2 \times 10^{10}$  الکترون دریافت می‌کند و بارش منفی می‌شود ( $q = -3/2 \text{ nC}$ )؛ نایلون هم به همین تعداد الکترون از دست می‌دهد و بارش مثبت می‌شود ( $q = +3/2 \text{ nC}$ ) = نایلون).

### حالا خودت جواب بده

**مثال** در مالش یک قطعه کهرابی بدون بار به یک تکه پشم بدون بار،  $10^7$  الکترون از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود. ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )  
الف) با توجه به سری الکتریسیته مالشی، بار کدام ماده منفی و بار کدام ماده مثبت می‌شود؟

ب) بار هر کدام چند پیکوکولن می‌شود؟

پ) اگر لاستیک بدون باری را به کاغذ بدون باری مالش دهیم، کهرابی آزمایش بالا کدام را جذب و کدام را دفع می‌کند؟

**پاسخ الف)** با توجه به سری الکتریسیته مالشی، بار کهرابی با گرفتن الکترون منفی می‌شود؛ چون به انتهای منفی سری نزدیک‌تر است. بار پشم هم با از دست دادن الکترون مثبت می‌شود.

**ب)** بار پشم که  $10^7$  الکترون از دست داده است، به صورت زیر به دست می‌آید:

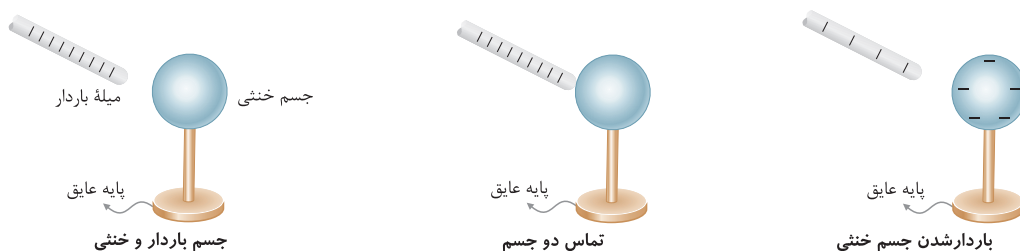
$$q_{\text{پشم}} = +ne \xrightarrow{e=1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} q_{\text{پشم}} = 10^7 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = 1/6 \times 10^{-12} \text{ C} = 1/6 \text{ pC}$$

با توجه به پایستگی بار و این که هر دو در ابتدا خنثی بوده‌اند، پس از مالش، بار کهرابی برابر منفی بار پشم است؛ پس:  $q_{\text{کهرابی}} = -q_{\text{پشم}} = -1/6 \text{ pC}$

**پ)** اگر به سری الکتریسیته مالشی نگاه کنید، می‌فهمید که لاستیک الکترون‌خواهی بیشتری دارد؛ بنابراین الکترون جذب می‌کند و بارش منفی می‌شود. از طرفی با جداسدن الکترون از کاغذ، بار آن مثبت می‌شود؛ بنابراین کهرابی که بار منفی دارد، کاغذ را جذب و لاستیک را دفع می‌کند.

### انتقال بار الکتریکی به روش تماس

۱ از روش تماس، برای باردار کردن اجسام رسانا استفاده می‌کنیم. در این روش، مانند شکل زیر، با تماس یک جسم رسانای باردار به یک جسم رسانای خنثی، جسم خنثی را باردار می‌کنیم.



**یادآوری:** براساس اصل پایستگی بار الکتریکی، در یک دستگاه منزوی، مجموع بار دو جسم، قبل و بعد از تماس برابر است؛ یعنی اگر قبل تماس بار جسم (۱)،  $q_1$  و بار جسم (۲)،  $q_2$  باشد و پس از تماس، بار جسم (۱)،  $q'_1$  و بار جسم (۲)،  $q'_2$  شود، خواهیم داشت:

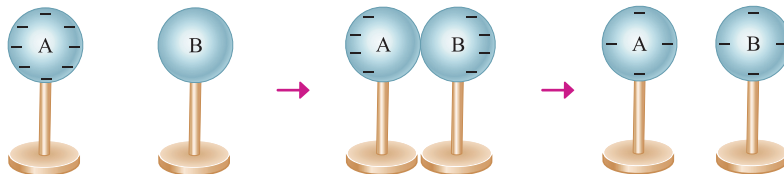
$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$$

**نکته:** اگر دو جسم رسانایی که به هم تماس داده می‌شوند، کاملاً مشابه باشند، پس از تماس، مقدار بار هر کدام برابر با میانگین بارهای اولیه آن‌ها است:

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

### این رو بخون که یاد بگیری

**مثال:** فرض کنید دو کره فلزی مشابه روی پایه‌های عایق داریم که بار خالص یکی از آن‌ها  $8 \text{ nC}$  - و دیگری خنثی است. با رسم شکل، به طور کیفی نشان دهید که اگر دو کره را با هم تماس دهیم، چه اتفاقی می‌افتد.



هر  $8 \text{ nC}$  - را با یک ( - ) نشان می‌دهیم. چون دو کره مشابه هستند، پس از تماس، بار بین آن‌ها به صورت مساوی تقسیم می‌شود و مطابق شکل‌های روبه‌رو داریم:

### حالا خودت جواب بده

**مثال:** دو کره رسانای مشابه با بارهای  $q_1 = -8 \mu\text{C}$  و  $q_2 = 24 \mu\text{C}$  را با یک سیم رسانا به هم وصل می‌کنیم و سپس جدای می‌کنیم. ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

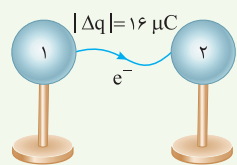
(الف) بار هر یک از کره‌ها چه قدر می‌شود؟

(ب) کدام کره و به چه تعداد الکترون می‌گیرد؟

**پاسخ الف:** کره‌ها مشابه‌اند؛ پس بار الکتریکی آن‌ها پس از اتصال، با هم برابر و مساوی  $\frac{q_1 + q_2}{2}$  می‌شود. اگر بار الکتریکی دو کره را پس از تعادل  $q'_1$  و  $q'_2$  بنامیم، داریم:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{-8 \mu\text{C} + 24 \mu\text{C}}{2} = 8 \mu\text{C}$$

**ب:** بار کره (۱) منفی و بار کره (۲) مثبت است؛ بنابراین با تماس دو کره، الکترون‌ها از کره (۱) به کره (۲) می‌روند. از طرفی تعداد الکترون‌هایی که کره (۲) می‌گیرد، به مقدار بار جابه‌جاشده بستگی دارد که برابر با  $q_2 - q'_2 = q'_2 - q_2 = 8 \mu\text{C} - (-8 \mu\text{C}) = 16 \mu\text{C}$  است؛ پس اول بار جابه‌جاشده را به دست می‌آوریم:



$$\Delta q = q'_2 - q_2 = 8 \mu\text{C} - (-8 \mu\text{C}) = 16 \mu\text{C}$$

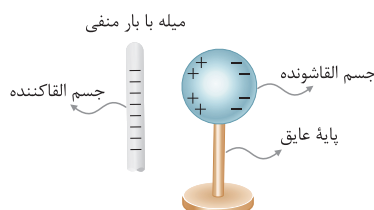
حالا که مقدار بار منتقل شده به کره (۲) را داریم، به دست آوردن تعداد الکترون‌هایی که کره (۲) گرفته است، اصلاً کاری ندارد:

$$\Delta q = -ne \Rightarrow -16 \mu\text{C} = -n \times (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) \Rightarrow -16 \times 10^{-6} \text{ C} = -n \times (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) \Rightarrow n = \frac{16 \times 10^{-6} \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 10^{14}$$

بنابراین کره (۲)،  $10^{14}$  الکترون از کره (۱) می‌گیرد.

### باردار کردن اجسام به روش القا

به روشی که در آن اجسام رسانا بدون تماس با یک جسم باردار، دارای بار می‌شوند، **روش القای بار الکتریکی** می‌گوییم.



برای این که این روش را به طور کامل متوجه شوید، ابتدا باید با پدیده القای الکتریکی آشنا شوید.

**پدیده القای الکتریکی:** اگر مطابق شکل روبه‌رو، یک میله با بار منفی را به یک کره فلزی خنثی نزدیک کنیم، الکترون‌های درون کره فلزی، از این میله دور می‌شوند. برای همین، مثل آن چه در شکل روبه‌رو می‌بینید، بار یک طرف کره مثبت و بار طرف دیگر کره منفی می‌شود. به این پدیده، **القای الکتریکی** می‌گوییم.

**نکات ۱:** برای القای الکتریکی نیاز به تماس دو جسم نیست.

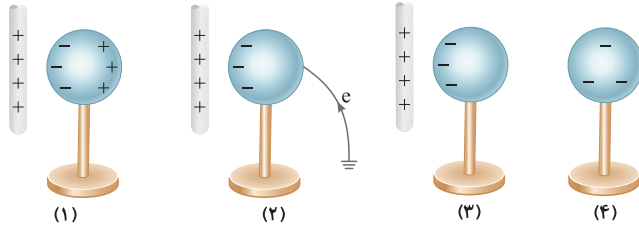
**۲:** در پدیده القای الکتریکی، دو جسم القا کننده و القاشونده همواره یکدیگر را جذب می‌کنند.

برای این که باردار کردن اجسام به روش القای الکتریکی را به خوبی یاد بگیرید، باید آن را در دو حالت بررسی کنیم:

### حالت اول: ایجاد بار الکتریکی در یک رسانا به روش القا

**۱:** میله‌ای با بار مثبت را به یک کره فلزی خنثی که بر روی پایه عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم. این کار باعث می‌شود، الکترون‌های کره که بار منفی دارند، توسط میله جذب شوند. مانند آن چه در شکل (۱) می‌بینید، این اتفاق باعث می‌شود که در یک طرف کره بار مثبت و در طرف دیگر آن بار منفی القا شود.

۲ مطابق شکل (۲)، زمان بسیار کوتاهی، کره را به زمین وصل می‌کنیم. به خاطر حضور میله با بار مثبت، الکترون‌ها از زمین جذب رسانا می‌شوند؛



این موضوع باعث می‌شود، تعداد الکترون‌های رسانا از پروتون‌های آن بیشتر شود و در نتیجه جسم، بار منفی پیدا کند.

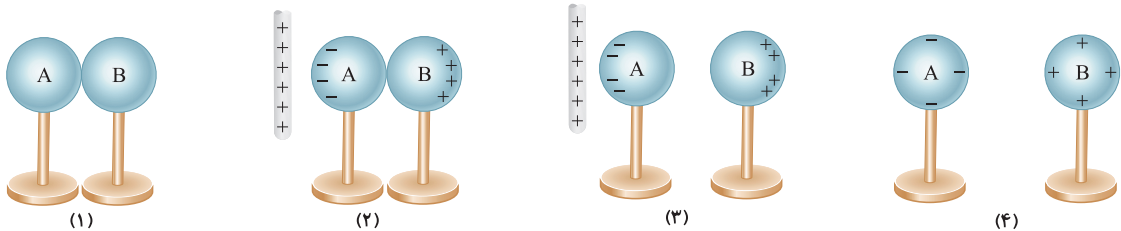
۳ مانند آن‌چه که در شکل (۳) می‌بینید، اتصال کره با زمین را قطع می‌کنیم.

۴ در نهایت میله را دور می‌کنیم و مطابق شکل (۴)، یک کره رسانای باردار داریم.

**نکته** در این روش، بار جسم رسانا مخالف بار میله می‌شود؛ یعنی اگر بار میله مانند شکل بالا مثبت باشد، بار جسم رسانا منفی می‌شود و اگر بار میله منفی باشد، بار جسم رسانا مثبت می‌شود.

### حالت دوم: ایجاد بار الکتریکی ناهم‌نام روی دو رسانا به روش القا

- ۱ ابتدا مانند شکل (۱)، دو کره فلزی خنثی را که بر روی پایه‌های عایق قرار دارند، در تماس با هم قرار می‌دهیم.
- ۲ سپس مطابق شکل (۲)، میله‌ای با بار مثبت را به کره A نزدیک می‌کنیم. در نتیجه الکترون‌های آزاد کره‌ها، به طرف میله جذب می‌شوند؛ بنابراین تعداد الکترون‌های آزاد در کره B کم شده و بار خالص آن مثبت می‌شود و کره A بار خالص منفی پیدا می‌کند.
- ۳ سپس مثل آن‌چه در شکل (۳) می‌بینید، در حضور میله، کره‌ها را جدا می‌کنیم.
- ۴ در نهایت اگر مطابق شکل (۴) میله را برداریم، بارهای الکتریکی ناهم‌نام روی دو کره پخش می‌شوند.

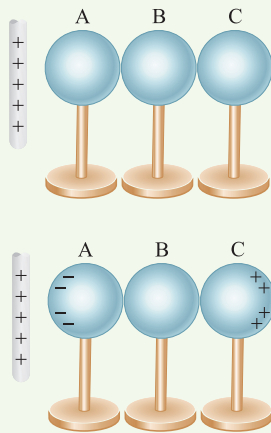


**نکته** احتمالاً با توجه به شکل‌های بالا، خودتان فهمیده‌اید که بار رسانای نزدیک‌تر به میله (این‌جا کره A) مخالف بار میله می‌شود و بار رسانای دورتر، هم‌نام بار میله می‌شود.

**نکته** در این روش، بار کره‌ها ناهم‌نام اما هم‌اندازه خواهد بود.

**نکته** همان‌طور که دیدید، در هر دو حالت فقط از کره‌های رسانا استفاده شد. در واقع ایجاد بار به روش القا مختص اجسام رسانا است.

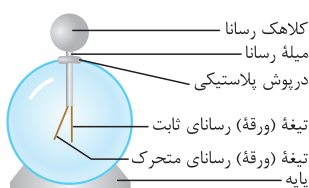
### حالا خودت جواب بده



**مثال** مطابق شکل روبه‌رو، میله‌ای با بار الکتریکی مثبت را به سه کره رسانای A، B و C که در تماس با هم قرار دارند و در ابتدا خنثی هستند، نزدیک می‌کنیم و نگه می‌داریم. اگر در این حالت، کره B را از بین دو کره خارج کنیم و سپس میله باردار را دور کنیم، علامت بار کره‌های A، B و C را تعیین کنید. (پایه همه کره‌ها عایق است.)

**پاسخ** اول بگوییم که در این سؤال کره B فقط نقش یک رابط را بازی می‌کند (مثل سیم) و باردار نمی‌شود. حالا که تکلیفمان با کره B روشن شده، به سراغ دو کره A و C می‌رویم. با نزدیک شدن میله با بار مثبت به کره A، مطابق شکل مقابل، الکترون‌های آزاد جذب می‌شوند و طرف چپ کره A بار منفی و طرف راست کره C بار مثبت القا می‌شود؛ با برداشتن کره B از بین کره‌ها، کره A که الکترون گرفته بود، دارای بار منفی و کره C که الکترون از دست داده بود، دارای بار مثبت می‌شود.

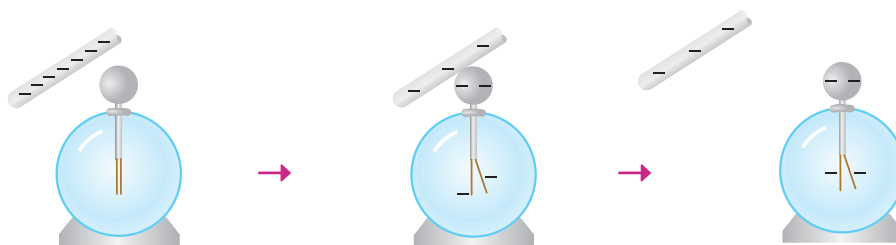
### الکتروسکوپ یا برق‌نما



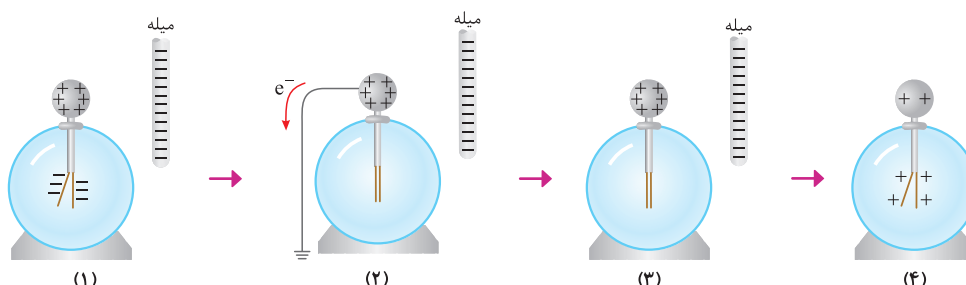
شکل روبه‌رو ساختمان یک الکتروسکوپ را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید، الکتروسکوپ یک کلاهک رسانا و دو تیغه (یا ورقه) رسانا دارد که یکی از تیغه‌ها ثابت و دیگری متحرک است. وقتی الکتروسکوپ بدون بار و دور از هرگونه جسم باردار دیگری است، تیغه‌های آن کاملاً به هم نزدیک هستند؛ اما، وقتی که الکتروسکوپ باردار می‌شود و یا در آن بار الکتریکی القا می‌شود، تیغه‌های آن از هم دور می‌شوند.

معمولاً به دو روش تماس و القا یک الکتروسکوپ را باردار می‌کنیم.

**روش تماس** اگر یک میله باردار را به کلاهک یک الکتروسکوپ تماس دهیم، الکتروسکوپ باردار می‌شود. در این شیوه، بار الکتروسکوپ نیز هم‌نام بار میله خواهد بود. در شکل زیر، پس از تماس میله منفی با کلاهک الکتروسکوپ، بار الکتروسکوپ منفی می‌شود.



**روش القا** روش القا را مرحله به مرحله بررسی می‌کنیم:



**۱** مطابق شکل (۱)، میله بارداری با بار منفی را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم؛ اما، تماس نمی‌دهیم! با این کار الکترون‌ها می‌خواهند در بیشترین فاصله از میله قرار بگیرند؛ پس به سمت تیغه‌های الکتروسکوپ حرکت می‌کنند. با این اتفاق بار تیغه‌ها منفی شده و این موضوع باعث می‌شود که ورقه‌ها از هم دور شوند. (به همان اندازه بار مثبت روی کلاهک باقی می‌ماند و الکتروسکوپ هنوز خنثی است).

**۲** سپس مثل شکل (۲)، در حالی که میله هنوز نزدیک کلاهک است، برای چند لحظه کلاهک را با یک سیم به زمین وصل می‌کنیم. با این کار الکترون‌های آزاد به سمت زمین حرکت می‌کنند. با خارج شدن بارهای منفی از روی تیغه‌ها، تیغه‌ها به هم نزدیک می‌شوند. با این اتفاق، تعداد الکترون‌های روی کلاهک و تیغه‌ها نسبت به تعداد پروتون‌ها کاهش می‌یابد.

**۳** سپس مانند آن چه در شکل (۳) می‌بینید، در حالی که میله هم‌چنان نزدیک الکتروسکوپ است، سیم را قطع می‌کنیم. با این کار الکتروسکوپ باردار خواهد ماند و بار آن مخالف بار میله خواهد بود.

**۴** در نهایت میله را از الکتروسکوپ دور می‌کنیم. بار الکتروسکوپ مانند شکل (۴) روی کلاهک و تیغه‌های آن قرار می‌گیرد.

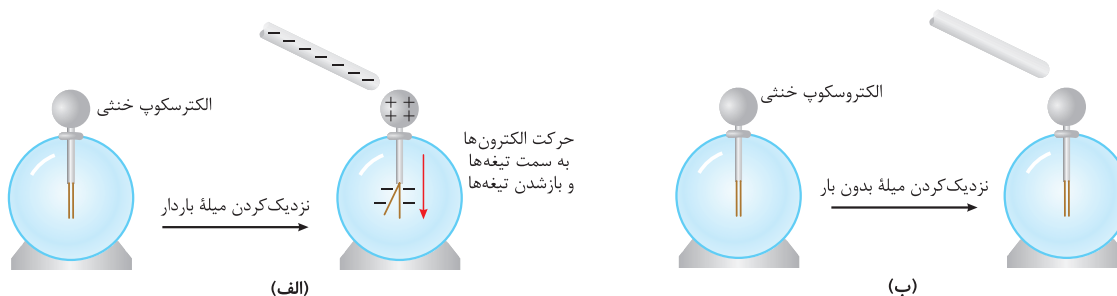
**نکته** اگر در مرحله ۳ اول میله دور می‌شد و بعد اتصال به زمین قطع می‌شد، الکتروسکوپ خنثی می‌شد.

### کاربردهای الکتروسکوپ

با الکتروسکوپ می‌توانیم سه مورد زیر را تعیین کنیم:

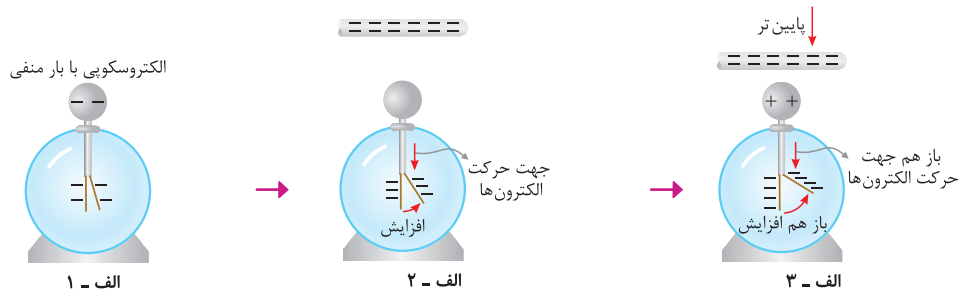
**۱** باردار بودن یا نبودن جسم **۲** نوع بار جسم باردار **۳** رسانا یا نارسانا بودن جسم

**۱. تشخیص وجود بار الکتریکی در یک جسم** برای این کار جسم موردنظر را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم؛ اگر مانند شکل (الف)، با نزدیک کردن جسم، تیغه متحرک از تیغه ثابت فاصله گرفت، یعنی جسم باردار است. علت این اتفاق، رفتن بارهای هم‌نام با بار جسم از کلاهک به تیغه‌ها است. از آنجایی که بار تیغه‌ها هم‌نام می‌شود، این دو یکدیگر را می‌رانند. اما اگر جسم خنثی باشد، مانند شکل (ب)، اتفاقی رخ نمی‌دهد و ورقه‌ها ثابت می‌مانند.



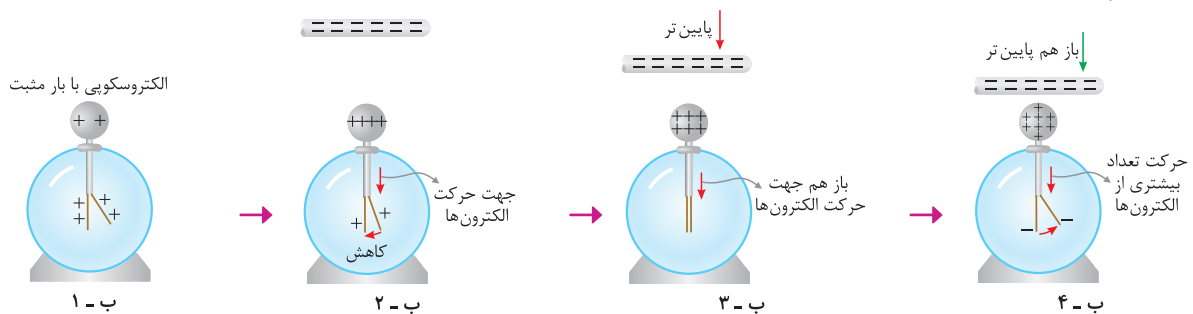
**۲. تشخیص نوع بار جسم** مطابق شکل‌های زیر، جسمی با بار نامعلوم را از فاصله نسبتاً دور، به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ با بار معلوم نزدیک می‌کنیم. با این کار دو حالت رخ می‌دهد:

**۱** اگر مانند شکل (الف)، با نزدیک شدن میله، همواره تیغه‌ها از هم دور شوند؛ یعنی بار جسم، هم‌نام بار الکتروسکوپ است.



شکل (الف)

**۲** اگر مانند شکل «ب» در ابتدا تیغه‌ها به هم نزدیک شوند و سپس با خیلی نزدیک شدن جسم باردار، تیغه‌ها از هم دور شوند، بار جسم و الکتروسکوپ مخالف یکدیگرند.



شکل (ب)

**حواستون باشه:** در شکل‌های (ب)، اگر جسم باردار را با سرعت به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنیم، ممکن است بسته شدن ابتدایی تیغه‌ها را نبینیم و تنها با مشاهده باز شدن نهایی تیغه‌ها، بار جسم را به اشتباه مانند شکل‌های (الف) هم‌نام با بار الکتروسکوپ تشخیص دهیم.

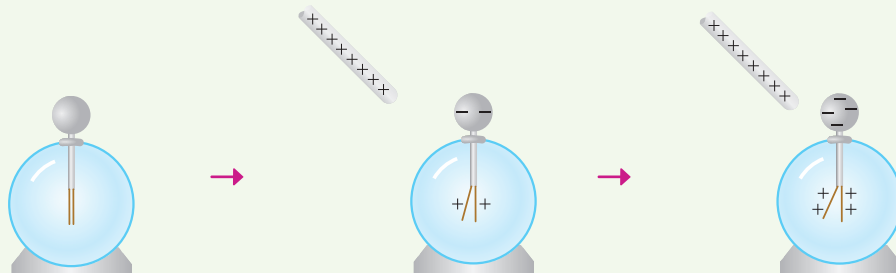
**۳. تشخیص رسانا یا نارسانا بودن یک جسم** برای تشخیص رسانا بودن یا نبودن اجسام هم می‌توان از الکتروسکوپ باردار استفاده کرد. یک نقطه از جسم بدون باری را که در دست داریم، به کلاهک الکتروسکوپ تماس می‌دهیم. اگر انحراف تیغه‌ها تغییر محسوس نکند، جسم نارسانا است. اگر جسم رسانا باشد، تماس آن به کلاهک باعث تخلیه بار الکتروسکوپ می‌شود و تیغه‌ها بسته می‌شوند.

### حالا خودت جواب بده

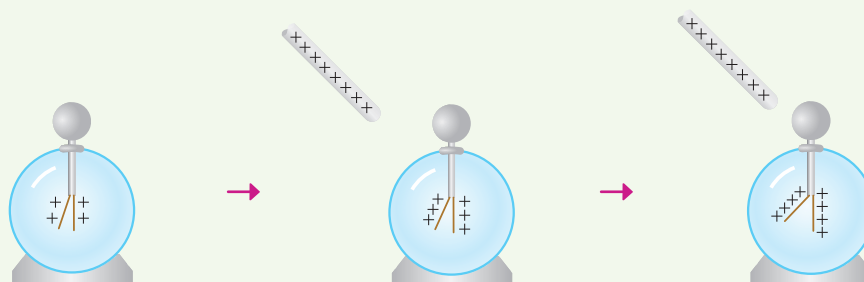
**مثال** میله‌ای با بار الکتریکی مثبت را به تدریج به کلاهک یک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. ملاحظه می‌شود که تیغه‌ها به تدریج بسته و سپس باز می‌شوند. بار تیغه‌ها قبل از آزمایش چه بوده است؟

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

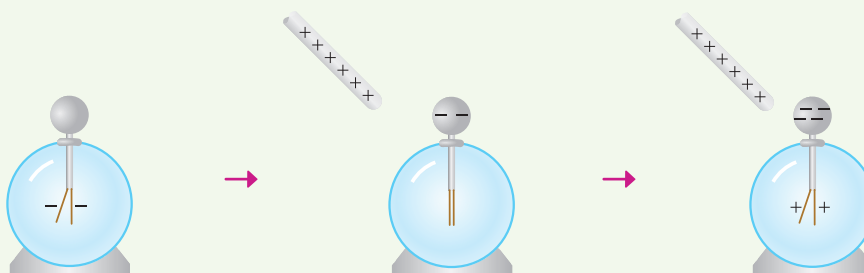
**پاسخ** وقتی الکتروسکوپ بدون بار باشد، تیغه‌ها از همان اول بسته‌اند. هر چه قدر میله باردار به الکتروسکوپ نزدیک شود، تیغه‌ها از یکدیگر بیشتر فاصله می‌گیرند؛ پس گزینه‌های (۱) و (۲) حتماً نادرست‌اند. این موضوع را در شکل‌های زیر می‌بینید:



حالا فرض کنید، بار تیغه‌های الکتروسکوپ مثبت است. در این صورت با نزدیک کردن میله با بار مثبت، مقدار بیشتری بار مثبت روی تیغه‌ها القا می‌شود و در نتیجه فاصله تیغه‌ها بیشتر می‌شود؛ پس مطابق شکل‌های صفحه بعد گزینه (۴) هم نادرست است.



حالا به بررسی تنها حالت باقی مانده؛ یعنی گزینه (۳) می پردازیم. مطابق شکل های زیر، با نزدیک کردن میله با بار مثبت، بار منفی تیغه به سمت کلاهک می رود و در نتیجه بار آن خنثی و تیغه ها بسته می شوند. با نزدیک تر کردن میله، الکترون بیشتری به کلاهک می رود، در نتیجه بار تیغه مثبت می شود. با مثبت شدن بار تیغه، تیغه ها دوباره از هم فاصله می گیرند.



### کتاب درسی زیر ذره بین

اساس کار دستگاه های فتوکپی، نیروی الکتریکی بین بارهای مثبت و منفی است.

## سؤال های امتحانی ؟

■ درستی یا نادرستی عبارات های زیر را مشخص کنید.

۲۴- با مالش یک میله شیشه ای به پارچه ابریشمی، الکترون ها از میله شیشه ای به پارچه ابریشمی منتقل می شوند.

۲۵- در سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک)، پلاستیک از پشم به انتهای مثبت نزدیک تر است.

۲۶- اساس کار دستگاه های فتوکپی، نیروی الکتریکی بین بارهای مثبت و منفی است.

۲۷- ایجاد بار به روش القا مختص رساناها است.

۲۸- بر اثر مالش دو جسم خنثی با جنس های متفاوت که هر دو به انتهای منفی سری الکتریسیته مالشی نزدیک هستند، بار دو جسم منفی می شود.

■ جاهای خالی را با کلمه های مناسب کامل کنید.

۲۹- نوع بار یک جسم باردار را می توانیم به کمک ..... تعیین کنیم.

۳۰- بر اثر مالش دو جسم، جسمی که الکترون خواهی ..... دارد، الکترون از دست می دهد.

■ به ۷ سؤال زیر در مورد الکتروسکوپ پاسخ دهید.

۳۱- سه کاربرد الکتروسکوپ را نام ببرید.

۳۲- چگونه با یک برق نما (الکتروسکوپ) تشخیص می دهیم یک میله دارای بار الکتریکی است؟

۳۳- چگونه با یک الکتروسکوپ می توانیم رسانا بودن یا رسانا نبودن یک جسم را تعیین کنیم؟

۳۴- اگر الکتروسکوپ دارای بار مثبت باشد و پس از نزدیک کردن جسم باردار به کلاهک، ورقه ها به هم نزدیک شوند، یعنی جسم دارای بار (مثبت - منفی) است.

۳۵- یک میله نارسانا را که بار الکتریکی آن مثبت است، به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می کنیم و در این حالت دست دیگر خود را به کلاهک می زنیم و جدا می کنیم. با دور کردن میله باردار از کلاهک، کلاهک دارای بار الکتریکی ..... می شود و ورقه ها با بار ..... از هم دور می شوند.

۳۶- با ذکر دلیل بگویید که اگر به وسیله دستکش عایق، یک میله فلزی خنثی را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ باردار نزدیک کنیم، برای ورقه های الکتروسکوپ چه اتفاقی رخ می دهد؟

۳۷- به کمک دو نی پلاستیکی و پارچه پشمی آزمایشی طراحی کنید که مشخص کند دو جسم باردار به هم نیرو وارد می کنند.



### سری الکتریسیته مالشی (تربیوالکتریک)

#### انتهای مثبت سری

موی انسان  
شیشه  
نایلون  
سلفون  
پشم  
موی گربه  
سُرب  
ابریشم  
آلومینیم  
پوست انسان  
کاغذ  
چوب  
پارچه کتان  
کهربا  
برنج، مس  
پلاستیک، پلی اتیلن  
لاستیک  
تفلون

#### انتهای منفی سری

■ با توجه به جدول روبه‌رو، به سؤالات ۳۸ تا ۴۶ پاسخ دهید.

۳۸- جدول روبه‌رو به چه منظور استفاده می‌شود؟

۳۹- نایلون نسبت به کاغذ الکترون‌خواهی بیشتری دارد یا کم‌تر؟

۴۰- درستی یا نادرستی عبارتهای زیر را تعیین کنید.

الف) در اثر مالش بادکنک پلاستیکی به پوست دست، الکترون‌های بادکنک افزایش می‌یابد.

ب) اگر دو جسم مسی را روی نایلون بمالیم، آن دو جسم مسی دارای بار مثبت شده و همدیگر را دفع می‌کنند.

پ) اگر از یک حولهٔ کتان برای خشک کردن موی سر استفاده کنیم، الکترون از مو به حوله منتقل می‌شود.

۴۱- اگر یک بادکنک پلاستیکی را به یک کاغذ مالش دهیم، کدام جسم بارش منفی می‌شود؟ اگر با این کار  $10^9$  الکترون منتقل شود، بار هر جسم چند کولن است؟ ( $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

۴۲- با توجه به جدول، توضیح دهید که چرا وقتی روکش سلفونی را روی یک ظرف پلاستیکی می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت می‌ماند؟

۴۳- متن زیر را کامل کنید.

با مالش یک گربه به سرتان، چون الکترون‌خواهی ..... کم‌تر است، بار گربه ..... می‌شود.

از طرفی وقتی پارچهٔ کتان شلوارتان را به چوب مالش می‌دهید، چون الکترون‌خواهی چوب

از پارچهٔ کتان ..... است، بار چوب ..... می‌شود و در نتیجه گربه را ..... می‌کند.

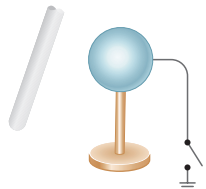
۴۴- میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش می‌دهیم، سپس آن را به کلاهک الکتروسکوپی با بار مثبت نزدیک می‌کنیم. ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک‌تر می‌شوند یا دورتر؟ چرا؟

(نویسنده: ریاضی فرداد ۱۴۰۳)

۴۵- یک جسم شیشه‌ای را به یک جسم برنجی مالش می‌دهیم و سپس جسم شیشه‌ای را به کلاهک الکتروسکوپ که بار منفی دارد، به تدریج نزدیک می‌کنیم. اگر اندازهٔ بار جسم شیشه‌ای از اندازهٔ بار الکتروسکوپ خیلی بیشتر باشد، صفحات الکتروسکوپ چگونه تغییر می‌کنند؟

(مکمل دشوارتر نهایی ریاضی فرداد ۱۴۰۳)

۴۶- ابتدا میلهٔ شیشه‌ای را به پارچهٔ ابریشمی مالش می‌دهیم و سپس مطابق شکل روبه‌رو، به یک کرهٔ فلزی نزدیک می‌کنیم. اگر کلید را ببندیم و سپس باز کنیم، بار میله و کرهٔ فلزی از چه نوعی می‌شود؟



■ به پرسش‌ها و مسئله‌های زیر پاسخ دهید.

۴۷- در آزمایشی، چهار جسم متفاوت A، B، C و D داریم. اگر در این آزمایش شرایط زیر رخ دهد، سری الکتریسیتهٔ مالشی مقابل را برای این چهار جسم تکمیل کنید. (هر آزمایش را به طور جداگانه و با اجسام خنثی انجام می‌دهیم.)

(I) اگر دو جسم B و C را به D مالش دهیم، یکدیگر را دفع می‌کنند.

(II) اگر دو جسم B و D را به A مالش دهیم، یکدیگر را جذب می‌کنند.

(III) اگر دو جسم B و C را به A مالش دهیم، یکدیگر را جذب می‌کنند.

(IV) اگر دو جسم A و D را به هم مالش دهیم، بار جسم A مثبت و بار جسم D منفی می‌شود.

۴۸- دو جسم خنثی و نارسانای A و B را به هم مالش می‌دهیم، سپس در آزمایش اول جسم A و در آزمایش دوم جسم B را به تدریج به کلاهک الکتروسکوپی با بار مثبت نزدیک می‌کنیم. با توجه به جدول سری الکتریسیتهٔ مالشی مقابل، کدام یک از موارد زیر دربارهٔ زاویهٔ بین ورقه‌های الکتروسکوپ درست است؟

الف) در آزمایش اول، کاهش می‌یابد.

ب) در آزمایش اول، افزایش می‌یابد.

پ) در آزمایش دوم، ابتدا کاهش می‌یابد و در ادامه ممکن است افزایش یابد.

ت) در آزمایش دوم، ابتدا افزایش می‌یابد و در ادامه ممکن است کاهش یابد.

(آزمون‌های آزمایشی خیلی سبز)

### سری الکتریسیتهٔ مالشی

#### انتهای مثبت سری

(۱) .....  
(۲) .....  
(۳) .....  
(۴) .....

#### انتهای منفی سری

#### انتهای مثبت سری

A  
B

#### انتهای منفی سری

(۴) ب و پ

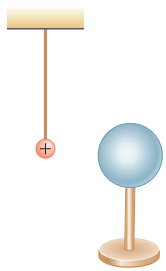
(۳) ب و ت

(۲) الف و پ

(۱) الف و ت

**۴۹- گلوله سبک و رسانایی از نخ عایقی آویزان است. ابتدا آن را با دست لمس می کنیم، بعد میله ای با بار منفی را به آن نزدیک می کنیم، چه اتفاقی روی می دهد؟ توضیح دهید.**

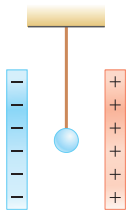
(نمایش تهری)



**۵۰- یک کره فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایه نارسایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می کنیم. با ذکر دلیل، توضیح دهید که چه اتفاقی می افتد (فاصله کره و گلوله در ابتدا خیلی زیاد بوده است و در پایان کمتر از طول طناب می شود).**

**۵۱- در محیط اطراف ما، جاذبه های الکتریکی بیشتر از دافعه های الکتریکی مشاهده می شوند. با ذکر دلیل، علت آن را توضیح دهید.**

(نمایش ریاضی)



**۵۲- در شکل مقابل، گلوله رسانای سبک و بدون باری توسط نخ عایقی میان دو صفحه باردار آویزان است. اگر آن را یک بار به یکی از صفحه ها تماس داده و رها کنیم، دائماً بین دو صفحه نوسان می کند (به صفحه های چپ و راست برخورد می کند). علت را توضیح دهید و بنویسید تا چه زمانی این کار ادامه دارد؟**

(نمایش تهری)

**۵۳- سه جسم A، B و C را دوبه دو به یکدیگر نزدیک می کنیم. وقتی A و B به یکدیگر نزدیک شوند، همدیگر را با نیروی الکتریکی جذب می کنند و اگر B و C را به یکدیگر نزدیک کنیم، یکدیگر را با نیروی الکتریکی دفع می کنند. کدام یک از گزینه های زیر می تواند درست باشد؟**

(کنکور سراسری)

(۲) B و C بار غیرهم نام دارند.

(۱) A و C بار هم نام و هم اندازه دارند.

(۴) A بدون بار و B باردار است.

(۳) B بدون بار و C باردار است.

**۵۴- دو کره فلزی کاملاً مشابه A و B دارای بارهای الکتریکی  $q_A = 20 \mu C$  و  $q_B = -8 \mu C$  هستند و روی پایه های عایق قرار گرفته اند. اگر این دو کره را به هم تماس دهیم و سپس از هم دور کنیم، بار هر کدام چند میکروکولن می شود؟**

**۵۵- دو کره فلزی مشابه A و B که روی پایه های عایق قرار گرفته اند، در اختیار داریم. اگر در ابتدا کره A دارای بار  $5 \mu C$  و کره B دارای بار  $9 \mu C$  باشد، پس از تماس دو کره به یکدیگر:  $(e = 1.6 \times 10^{-19} C)$**

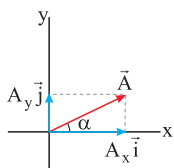
الف) کدام کره الکترون می گیرد؟

ب) در این تماس چند الکترون جابه جا می شود؟

## درس ۳: قانون کولن

قبل از این که بریم سراغ اصل مطلب، بیاین مبث بردار رو باهم مرور کنیم.

### یادآوری بردار و جمع برداری



یک بردار در صفحه  $x-y$  را می توانیم برحسب بردارهای یکه نمایش دهیم؛ یعنی اگر بردار  $\vec{A}$  در صفحه  $x-y$  قرار داشته باشد، می توانیم آن را به صورت  $\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j}$  نشان دهیم.  $\vec{i}$  بردار یکه در جهت محور  $x$  و  $\vec{j}$  بردار یکه در جهت محور  $y$  است. همان طور که در شکل روبه رو می بینید،  $A_x$  و  $A_y$  به ترتیب اندازه مؤلفه های متناظر  $\vec{A}$  بر روی محورهای  $x$  و  $y$  هستند.

**نکته:** اندازه بردار  $\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j}$  را با  $A$  نشان می دهیم و آن را از رابطه  $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$  به دست می آوریم.

**تعیین بردار  $\vec{A}$  با استفاده از اندازه آن و زاویه ای که با محور  $x$  می سازد** اگر مقدار  $A$  و زاویه ای را که بردار  $\vec{A}$  با جهت مثبت محور  $x$  ها می سازد بدانیم، با توجه به شکل قبل، می توانیم  $A_x$  و  $A_y$  را تعیین کنیم:

$$\begin{cases} A_x = A \cos \alpha \\ A_y = A \sin \alpha \end{cases}$$

$$\frac{A_y}{A_x} = \frac{A \sin \alpha}{A \cos \alpha} = \tan \alpha$$

**نتیجه:** اگر  $A_y$  را به  $A_x$  تقسیم کنیم، خواهیم داشت:

در رابطه بالا،  $\alpha$  زاویه بردار با محور  $x$  ها است؛ بنابراین با داشتن  $A_y$  و  $A_x$  می توانیم زاویه بردار  $\vec{A}$  با محور  $x$  ها را نیز به دست آوریم. اما شاید بپرسید: «معادله بالا دو جواب به ما می دهد، کدام را باید انتخاب کنیم؟» پاسخ این است که با توجه به این که بردار در کدام ناحیه صفحه مختصات قرار دارد، مقدار زاویه را تعیین می کنیم.

با مشخص بودن بردارهای  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  برحسب بردارهای یک، به راحتی می‌توانیم برابری آن‌ها را به دست آوریم. برای این کار به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\begin{aligned}\vec{A} &= A_x \vec{i} + A_y \vec{j} \\ \vec{B} &= B_x \vec{i} + B_y \vec{j} \\ \vec{R} &= \vec{A} + \vec{B} = A_x \vec{i} + B_x \vec{i} + A_y \vec{j} + B_y \vec{j} = (A_x + B_x) \vec{i} + (A_y + B_y) \vec{j} \Rightarrow \vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j}\end{aligned}$$

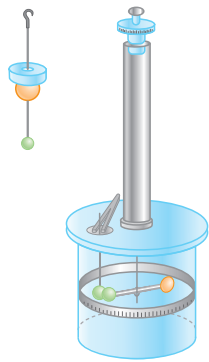
یعنی برای جمع برداری با استفاده از بردارهای یک، تنها کاری که باید انجام دهید، این است که مؤلفه‌های در راستای  $x$  را با هم و مؤلفه‌های در راستای  $y$  را با هم جمع کنید. اندازه بردار برابری هم برابر است با:

$$|R| = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

**نکته** اندازه بردار یکسان که با هم زاویه  $90^\circ$  می‌سازند،  $\sqrt{2}$  برابر اندازه یکی از آن‌ها است.

فب! حالا بریم سراغ اصل مطلب.

## قانون کولن



گفتیم که آزمایش‌ها نشان داده‌اند که اجسام با بارهای هم‌نام (یعنی «مثبت - مثبت» یا «منفی - منفی») یکدیگر را دفع می‌کنند؛ از طرفی اجسام با بارهای ناهم‌نام (مثبت - منفی) یکدیگر را جذب می‌کنند. اما سؤال این جاست که اندازه این نیروهای دافعه یا جاذبه چه قدر است؟ پاسخ ما را شارل کولن در سال ۱۷۸۵ میلادی با آزمایشی ساده با وسیله‌ای به نام **ترازوی پیچشی کولن** (شکل روبه‌رو) داد. در ترازوی پیچشی کولن، در یک سر یک میله نارسای سبک افقی یک گوی باردار مثبت کوچک و در سر دیگر آن، یک قرص قرار دارد و میله از وسط توسط یک رشته سیم کشسان و نازک آویخته شده است. یک گوی با بار منفی از حفره‌ای به داخل استوانه شیشه‌ای برده می‌شود. درجه‌هایی بر سطح استوانه حک شده است که زاویه چرخش میله را نشان می‌دهد. نیروی مؤثر بین این بارها از اندازه‌گیری زاویه چرخش تا رسیدن به حالت تعادل به دست می‌آید.

**بیان قانون کولن:** اندازه نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط واصل آن‌ها اثر می‌کند، با حاصل ضرب بزرگی آن‌ها متناسب است و با مربع فاصله آن‌ها از هم نسبت وارون دارد.

بنابراین این قانون را به صورت رابطه زیر می‌توانیم نشان دهیم:

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

که در آن  $|q_1|$  و  $|q_2|$  اندازه بارهای الکتریکی دو ذره برحسب کولن (C)،  $r$  فاصله بین دو ذره برحسب متر (m) و  $F$  بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره برحسب نیوتون (N) است. در این رابطه،  $k$  ثابت کولن یا ثابت الکتروستاتیکی نام دارد و برابر است با:

$$k = \frac{1}{4\pi \times 10^{-9}} \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \approx 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$$

**نکات ۱** نیروی بین دو جسم باردار در راستای خط واصل بین دو جسم است و جهت آن با توجه به هم‌نام یا هم‌نام بودن بارها تعیین می‌شود.



**۲** در شکل‌های بالا،  $\vec{F}_{12}$  به معنای نیرویی است که ذره اول به ذره دوم وارد می‌کند و  $\vec{F}_{21}$  نیرویی است که ذره دوم به ذره اول وارد می‌کند. حواستان باشد که این دو نیرو عمل و عکس‌العمل یکدیگر هستند و داریم:  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ ؛ بنابراین نیروهایی که دو بار نقطه‌ای به هم وارد می‌کنند، هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگر هستند.

**تذکر:** رابطه  $F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$  برای دو بار نقطه‌ای برقرار است. (البته اگر در مسئله‌ای با گلوله یا کره سر و کار داشته باشیم، با فرض تمرکز بارهای الکتریکی در مرکز گلوله یا کره، می‌توانیم از این رابطه استفاده کنیم.)

## این رو بخون که یادگیری

**مثلن** دو بار الکتریکی ذره‌ای  $q_1 = +4\mu\text{C}$  و  $q_2 = -2\mu\text{C}$  را داریم که در فاصله ۳ سانتی‌متری از یکدیگر ثابت شده‌اند. می‌خواهیم اندازه نیرویی

که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند و نوع آن را تعیین کنیم ( $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$ )

دو بار ناهم‌نام هستند؛ بنابراین نیروی بین آن‌ها از نوع جاذبه است.

اندازه نیرو هم به راحتی از رابطه کولن به دست می‌آید. فقط باید به این موضوع توجه کنید که بارها برحسب میکروکولن داده شده‌اند، در حالی که باید آن‌ها را برحسب کولن در رابطه  $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$  قرار دهیم تا نیرو برحسب نیوتون به دست آید:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \times \frac{(4 \times 10^{-6} C) \times (2 \times 10^{-6} C)}{(3 \times 10^{-2} m)^2} = \frac{9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2} \times 8 \times 10^{-12} C^2}{9 \times 10^{-4} m^2} = 8 \times 10^{-3} N$$

### حالا خودت جواب بده

**مثال** در هسته اتم هلیوم، دو پروتون به فاصله حدوداً  $r = 3 \times 10^{-6} nm$  از هم قرار دارند. اندازه و نوع نیرویی را که دو پروتون بر هم وارد می‌کنند، محاسبه کنید. (بار پروتون برابر  $1/6 \times 10^{-19} C$  است.)

**پاسخ** با استفاده از رابطه  $F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2}$  داریم:

$$F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \frac{(1/6 \times 10^{-19} C)^2}{(3 \times 10^{-6} nm)^2} = (9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \frac{(1/6 \times 10^{-19} C)^2}{(3 \times 10^{-15} m)^2} = 25/6 N$$

چون بار پروتون‌ها هم‌نام و مثبت است، پس نیروی دافعه به هم وارد می‌کنند.

**نکته** نیروی بین دو پروتون دافعه است؛ بنابراین باید هسته اتم فرو بپاشد. از این‌جا نتیجه می‌گیریم که باید نیروی دیگری وجود داشته باشد که از فروپاشی هسته جلوگیری کند. به این نیرو، نیروی هسته‌ای گفته می‌شود که در سال دوازدهم بیشتر درباره آن خواهید خواند.

### حالا خودت جواب بده

**مثال** در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه به جرم  $22/5 g$  و بار یکسان مثبت  $q$  در فاصله  $1 cm$  از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است. ( $g = 10 N/kg$ ،  $k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$  و  $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ )

(مشابه تمرین کتاب درسی)

الف) اندازه بار  $q$  را به دست آورید؟  
ب) تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چه قدر است؟

**پاسخ الف** برای آن که گوی بالایی معلق بماند، باید برآیند نیروهای وارد بر آن صفر شود. با توجه به شکل مقابل، نتیجه می‌گیریم که نیروی الکتریکی ( $\vec{F}_E$ ) وارد بر گوی باید هم‌اندازه با نیروی وزن ( $\vec{W}$ ) باشد؛ بنابراین داریم:

$$r = 1 cm = 0/01 m, m = 22/5 g = 22/5 \times 10^{-3} kg$$

$$F_E = W \Rightarrow k \frac{|q||q|}{r^2} = mg \Rightarrow k \frac{q^2}{r^2} = mg \Rightarrow (9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \frac{q^2}{(0/01 m)^2} = (22/5 \times 10^{-3} kg) \times (10 N/kg)$$

$$\Rightarrow q = \sqrt{\frac{(22/5 \times 10^{-3} kg)(10 N/kg)(0/01 m)^2}{(9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})}} = 5 \times 10^{-8} C = 50 nC$$

**ب** با توجه به رابطه  $q = ne$ ، تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{5 \times 10^{-8} C}{1/6 \times 10^{-19} C} = 3/125 \times 10^{11}$$

الکترون

بعضی وقت‌ها نیروها رو برحسب بردار یک‌ه‌دی‌دن یا می‌فوان!

### این رو بخون که یاد بگیری

**مثال** دو ذره با بارهای  $q_1 = 5 \mu C$  و  $q_2 = 4 \mu C$  مطابق شکل مقابل در نقطه‌های A و B ثابت شده‌اند. ببینید با هم نیروی خالص وارد بر هر یک از این بارها را برحسب بردار یک‌ه‌دی‌دن به دست آوریم:

**گام اول:** ابتدا جهت نیروها را مشخص می‌کنیم. هر دو بار مثبت هستند؛ پس مطابق شکل بالا یکدیگر را دفع می‌کنند.

**گام دوم:** چون  $\vec{F}_{12}$  و  $\vec{F}_{21}$  عمل و عکس‌العمل هم هستند، پس  $F_{12} = F_{21}$  است و از قانون کولن داریم:

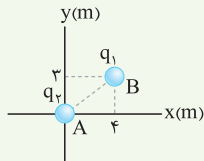
$$F_{12} = F_{21} = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \times \frac{(5 \times 10^{-6} C) \times (4 \times 10^{-6} C)}{(6 m)^2} = 5 \times 10^{-3} N$$

**گام سوم:** با توجه به شکل بالا داریم:

$$\vec{F}_{12} = (5 \times 10^{-3} N) \vec{i}, \vec{F}_{21} = (-5 \times 10^{-3} N) \vec{i}$$



### حالا خودت جواب بده



**مثال** مطابق شکل روبه‌رو، دو بار نقطه‌ای  $q_1$  و  $q_2 = 5q_1$  در نقاط A و B ثابت شده‌اند. اگر نیروی الکتریکی وارد بر  $q_1$  از طرف  $q_2$  در SI برابر با  $\vec{F}_{21} = 27\vec{i} + 36\vec{j}$  باشد:

(الف) نیرویی را که  $q_2$  بر  $q_1$  وارد می‌کند، برحسب بردارهای یک‌ه بنویسید و آن را روی شکل نشان دهید.

(ب) اندازه نیروی  $\vec{F}_{21}$  را به دست آورید.

(پ) مقدار بار  $q_1$  را حساب کنید. ( $k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$ )

**پاسخ** (الف) نیرویی که  $q_2$  بر  $q_1$  وارد می‌کند، عکس‌العمل  $\vec{F}_{12}$  است؛ پس:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} = -(27\vec{i} + 36\vec{j}) = (-27\text{ N})\vec{i} + (-36\text{ N})\vec{j}$$

(ب) با استفاده از رابطه فیثاغورس داریم:

$$F_{21} = \sqrt{27^2 + 36^2} = \sqrt{9^2(3^2 + 4^2)} = 9\sqrt{3^2 + 4^2} = 9 \times \sqrt{25} = 45\text{ N}$$

(پ) حالا با استفاده از قانون کولن، مقدار بار  $q_1$  را حساب می‌کنیم:

$$\vec{F}_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 45\text{ N} = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2} \times \frac{q_1 \times 5q_1}{(3\text{ m})^2 + (4\text{ m})^2} \Rightarrow q_1^2 = 25 \times 10^{-10} C^2 \Rightarrow q_1 = 5\sqrt{10} \times 10^{-5} C$$

**نکته** با توجه به قانون کولن، نسبت نیروهای الکتریکی در دو حالت با حاصل‌ضرب بارها با هم رابطه مستقیم و با مجذور فاصله بارها رابطه عکس دارد و داریم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1| \times |q'_2|}{|q_1| \times |q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2$$

### این رو بخون که یاد بگیری

**مثال** دو بار الکتریکی نقطه‌ای در فاصله معینی از یکدیگر قرار دارند و به هم نیروی F وارد می‌کنند. می‌خواهیم ببینیم که اگر اندازه یکی از بارها ۲ برابر و فاصله بین آن‌ها نصف شود، نیروی بین بارها چند برابر می‌شود:

برای این کار تنها کافی است که مقادیر داده‌شده را در رابطه بالا قرار دهیم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1| \times |q'_2|}{|q_1| \times |q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{q'_1 = q_1, q'_2 = 2q_2, r' = \frac{r}{2}}{|q_1| \times |q_2|} \times \left(\frac{r}{\frac{r}{2}}\right)^2 = 2 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 2 \times \left(\frac{1}{4}\right) = 2 \times \frac{1}{2} = 1$$

### حالا خودت جواب بده

**مثال** دو کره کاملاً مشابه دارای بارهای  $q_A = 4\text{ nC}$  و  $q_B = -10\text{ nC}$  در فاصله ۲۰ سانتی‌متری یکدیگر روی پایه‌های عایق قرار دارند. اگر ابتدا این دو کره را با هم تماس دهیم و سپس در فاصله ۵ سانتی‌متری یکدیگر قرار دهیم:

(الف) بار هر یک از کره‌ها پس از تماس چند نانوکولن می‌شود؟

(ب) نوع نیروهایی که دو کره قبل و بعد از تماس به هم وارد می‌کنند، چیست؟

(پ) اندازه نیروی الکتریکی بین دو کره در حالت دوم چند برابر حالت اول است؟

$$q'_A = q'_B = \frac{q_A + q_B}{2} = \frac{4\text{ nC} + (-10\text{ nC})}{2} = -3\text{ nC}$$

**پاسخ** (الف) کره‌ها کاملاً مشابه هستند؛ پس:

(ب) با توجه به این که بار کره‌ها در ابتدا ناهم‌نام بوده و پس از تماس هم‌نام شده است، نیروی بین آن‌ها قبل از تماس جاذبه و پس از تماس دافعه است.

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_A||q'_B|}{|q_A||q_B|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{3 \times 3}{4 \times 10} \times \left(\frac{20}{5}\right)^2 = \frac{9}{40} \times \frac{400}{1} = \frac{18}{1}$$

(پ) با استفاده از نکته قبل داریم:

### ضریب گزدهی خلا

ثابت کولن (k) را می‌توانیم به صورت مقابل برحسب یک ضریب ثابت دیگر به نام ضریب گزدهی الکتریکی خلا ( $\epsilon_0$ ) نیز بنویسیم:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

در این رابطه  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$  است.

## سؤال‌های امتحانی

جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب کامل کنید.

- ۵۶- نیروی الکتریکی‌ای که دو ذره باردار بر یکدیگر وارد می‌کنند، ..... و هم‌راستا ولی در جهت مخالف یکدیگرند. (نویای تهری)
- ۵۷- نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار، با حاصل‌ضرب اندازه بار الکتریکی دو ذره نسبت ..... دارد. (نویای تهری)
- ۵۸- شارل آگوستین کولن به کمک ابزاری که امروزه به نام ..... کولن شناخته می‌شود، آزمایشی را طراحی کرد که منجر به بیان قانون کولن در مورد نیروی بین دو بار نقطه‌ای شد.

■ در جمله‌های زیر عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

۵۹- با نصف شدن فاصله بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای، نیروی الکتریکی بین آن‌ها (دو برابر / چهار برابر) می‌شود. (نهایی ریاضی)

۶۰- کولن به توان دو تقسیم بر نیوتون متر مربع  $(\frac{C^2}{N.m^2})$  (یکای ضریب گذردهی الکتریکی  $\epsilon_0$  / یکای ضریب قانون کولن  $k$ ) است.

۶۱- نیروهای الکتریکی‌ای که دو ذره باردار به یکدیگر وارد می‌کنند، (هم‌جهت / خلاف جهت یکدیگر) هستند. (نهایی ریاضی)

۶۲- اگر فقط اندازه یکی از بارهای الکتریکی دو برابر شود، اندازه نیروی الکتریکی بین دو بار (دو برابر / نصف) می‌شود. (نهایی تهری)

۶۳- بزرگی نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار که در فاصله  $r$  از یکدیگر قرار دارند، با مربع فاصله دو ذره از هم نسبت (مستقیم / وارون) دارد. (نهایی ریاضی)

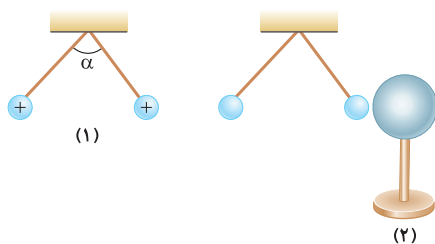
۶۴- نیروی (الکتریکی / هسته‌ای) سبب پایداری هسته است. (سؤالات دبیرخانه کشوری فیزیک)

■ به پرسش‌ها و مسئله‌های زیر پاسخ دهید.

۶۵- قانون کولن را بنویسید.

۶۶- جدول زیر را کامل کنید.

|            |            |
|------------|------------|
| نام دستگاه | الف) ..... |
| کاربرد     | ب) .....   |



۶۷- شکل (۱) دو آونگ الکتریکی کاملاً مشابه با بارهای مثبت و هم‌اندازه را نشان می‌دهد که با یکدیگر زاویه  $\alpha$  ساخته‌اند. یک کره رسانای بدون بار را با پایه عایق مطابق شکل (۲) به گلوله یکی از آونگ‌ها تماس داده و سپس دور می‌کنیم. (نهایی ریاضی)

الف) با رسم شکلی ساده، پیش‌بینی کنید که چه اتفاقی می‌افتد؟

ب) از انجام این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیریم؟

۶۸- دو ذره با بارهای الکتریکی  $q_1 = +2 \mu C$  و  $q_2 = -5 \mu C$  در فاصله  $3 \text{ m}$  از یکدیگر ثابت شده‌اند. بزرگی نیرویی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند و نوع آن را مشخص کنید.  $(k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$  (مشابه نهای ریاضی فرداد ۱۴۰۳)

۶۹- اتم هیدروژن شامل یک الکترون است که دور پروتونی در فاصله متوسط  $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$  از آن می‌چرخد. بزرگی نیروی الکتریکی بین این دو ذره را محاسبه کنید.  $(k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$  و  $|q_p| = |q_e| = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  (مشابه مثال کتاب درسی)

۷۰- دو بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_1$  و  $q_2 = 10q_1$  در فاصله  $3 \text{ m}$  متری هم قرار دارند و نیروی دافعه  $4 \text{ N}$  به یکدیگر وارد می‌کنند. بزرگی  $q_1$  چند میکروکولن است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$

۷۱- دو کره به جرم‌های  $m_1 = \frac{1}{3}m_2$  و بارهای  $q_1 = \frac{1}{3}q_2$  در فاصله  $r$  از هم ثابت شده‌اند.

الف) اندازه نیروی الکتریکی‌ای که کره با جرم  $m_1$  به کره با جرم  $m_2$  وارد می‌کند، چند برابر نیروی الکتریکی‌ای است که کره با جرم  $m_2$  به کره با جرم  $m_1$  وارد می‌کند؟

ب) اگر کره‌ها رها شوند تا آزادانه روی یک سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کنند، در لحظه رهاشدن، شتابی که کره (۱) می‌گیرد، چند برابر شتابی است که کره (۲) می‌گیرد؟

۷۲- دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای  $q_1 = 8 \text{ nC}$  و  $q_2 = -12 \text{ nC}$  را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصله  $r = 60 \text{ cm}$  از هم دور می‌کنیم. الف) نیروی برهم‌کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید.  $(k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$  (مشابه تمرین کتاب درسی و شبه‌نهایی ۱۴۰۴)

ب) این نیرو رانشی است یا ریپشی؟

۷۳- دو کره فلزی مشابه به بارهای  $q_1 = 8 \mu C$  و  $q_2 = -10 \mu C$  در فاصله  $20$  سانتی متری از یکدیگر قرار دارند. اگر این دو کره را با هم تماس دهیم و سپس در همان فاصله قبلی قرار دهیم، نیروی بین دو کره چند برابر می شود؟



۷۴- مطابق شکل روبه‌رو، بارهای الکتریکی مثبت و هم‌اندازه  $q$  در جای خود ثابت شده‌اند و به یکدیگر نیروی الکتریکی‌ای به بزرگی  $F$  وارد می‌کنند. اگر تعدادی الکترون از جسم  $A$  به جسم  $B$  منتقل کنیم تا بار جسم  $B$  برابر  $3q$  شود، در این صورت بزرگی نیرویی که دو ذره به هم وارد می‌کنند، چند برابر  $F$  می‌شود؟

۷۵- دو گوی رسانای کوچک و یکسان دارای بارهای الکتریکی  $q_1 > 0$  و  $q_2 < 0$  هستند و در فاصله معینی از هم قرار دارند و نیروی الکتریکی  $F$  را به هم وارد می‌کنند. اگر دو گوی را با هم تماس دهیم و در همان فاصله قرار دهیم، نیروی الکتریکی‌ای که به هم وارد می‌کنند،  $\frac{4}{5}$  برابر حالت اولیه می‌شود. اندازه بار  $q_1$  چند برابر اندازه بار  $q_2$  است؟ ( $|q_2| > q_1$ )



۷۶- مانند شکل، دو گلوله با بارهای هم‌نام و مساوی هر کدام به جرم  $10 \text{ g}$  را در یک لوله شیشه‌ای قائم با بدنه نارسانا و بدون اصطکاک رها می‌کنیم. در حالت تعادل، گلوله‌ها در فاصله  $40$  سانتی‌متری از هم قرار دارند. بار الکتریکی هر گلوله را محاسبه کنید.

(نویای ریاضی و مشابه تمرین کتاب درسی)

$$(g = 10 \text{ N/kg} \text{ و } k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$$



۷۷- دو ذره باردار مشابه و کوچک هر یک به جرم  $4 \text{ g}$  و بار الکتریکی  $40 \text{ nC}$  درون یک استوانه شیشه‌ای با دیواره‌های بدون اصطکاک مطابق شکل در حالت تعادل قرار دارند. فاصله بین مرکز دو ذره باردار چند سانتی‌متر است؟ ( $g = 10 \text{ N/kg}$  و  $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$  است.)

(مشابه تمرین کتاب درسی)



۷۸- در شکل مقابل، دو گوی مشابه و کوچک به جرم  $10 \text{ g}$  و بار الکتریکی مثبت یکسان در فاصله  $6 \text{ cm}$  از یکدیگر قرار دارند، به طوری که گوی بالایی ساکن است. اگر دیواره‌ها بدون اصطکاک باشد، هر کدام از گوی‌ها نسبت به حالتی که از نظر الکتریکی خنثی هستند، چند الکترون از دست داده‌اند؟ ( $g = 10 \text{ N/kg}$  و  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  و  $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$ ) (شعاع گلوله‌ها در مقابل فاصله آن‌ها ناچیز است)

(مکمل دشوارتر تمرین کتاب درسی)

۷۹- نیروی بین دو بار الکتریکی  $q_1$  و  $q_2$  که به فاصله  $r$  از یکدیگر قرار دارند،  $F$  است. اگر اندازه یکی از بارها و هم‌چنین فاصله بین دو بار  $\frac{1}{3}$  برابر شود، نیروی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟

(مشابه تمرین کتاب درسی)

۸۰- دو بار نقطه‌ای یکسان در فاصله ثابتی از هم قرار دارند و بر هم نیروی  $F$  وارد می‌کنند. نصف یکی از بارها را برداشته و به دیگری اضافه می‌کنیم. نیرویی که دو بار جدید در همان فاصله به هم وارد می‌کنند، چند برابر  $F$  است؟

(سوالات دبیرخانه کشوری فیزیک)

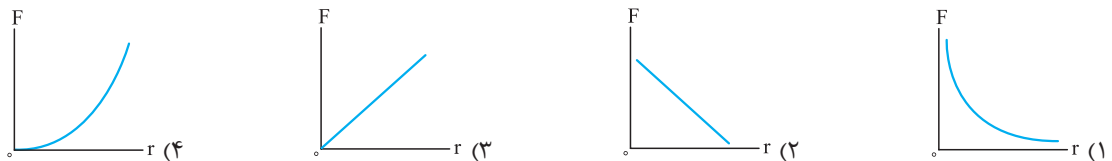
۸۱- بارهای الکتریکی نقطه‌ای  $q_1 = +4 \text{ nC}$  و  $q_2 = -8 \text{ nC}$  مطابق شکل زیر، در جای خود ثابت شده‌اند. نیروی وارد بر  $q_2$  را بر حسب بردارهای یک‌ه در SI تعیین کنید. ( $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$ ) (برگرفته از تمرین کتاب درسی)



۸۲- دو بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_1 = 2 \mu C$  و  $q_2 = -2 \mu C$  به فاصله  $r$  از یکدیگر قرار دارند. اگر نصف یکی از بارها را برداریم و به دیگری اضافه کنیم و دو بار را به فاصله  $\frac{r}{4}$  از هم قرار دهیم، اندازه نیرویی که دو بار به یکدیگر وارد می‌کنند، در مقایسه با حالت قبل چند برابر می‌شود؟ (برگرفته از کنکور سراسری)

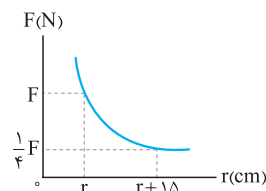
۸۳- نمودار اندازه نیروی الکتروستاتیکی بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای ( $F$ ) بر حسب فاصله بین آن‌ها ( $r$ ) به صورت کدام شکل است؟

(سوالات دبیرخانه کشوری فیزیک)

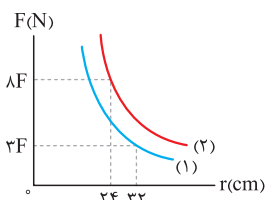


۸۴- نمودار نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار بر حسب فاصله بین آن‌ها به شکل روبه‌رو است. در این نمودار  $r$  چه قدر است؟

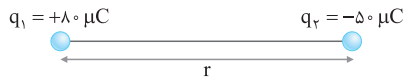
(برگرفته از مثال کتاب درسی)



۸۵- در شکل روبه‌رو، نمودار (۱) اندازه نیروی الکتریکی بین دو ذره با بارهای  $q_1$  و  $q_2$  و نمودار (۲) اندازه نیروی الکتریکی بین دو ذره با بارهای  $q_1$  و  $q_3$  را بر حسب فاصله بارها از هم نشان می‌دهد. نسبت  $\frac{|q_3|}{|q_2|}$  کدام است؟



۸۶- اگر فاصله بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای را  $20$  درصد افزایش دهیم، نیروی الکتریکی بین آن‌ها تقریباً چند درصد کاهش می‌یابد؟ (برگرفته از کنکور سراسری)



۸۷- مطابق شکل روبه‌رو، دو ذرهٔ باردار در فاصلهٔ  $r$ ، نیروی جاذبهٔ  $F$  بر یکدیگر وارد می‌کنند.

اگر با ثابت‌بودن فاصله، ۲۵ درصد از بار  $q_1$  را به  $q_2$  انتقال دهیم، نیروی جاذبهٔ بین دو ذره چند درصد و چگونه تغییر می‌کند؟

۸۸- فاصلهٔ بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای مثبت برابر  $r_1$  است و به هم نیروی دافعهٔ  $F_1$  وارد می‌کنند. اگر فاصله ۲۰ درصد کاهش یابد و اندازهٔ هر یک

(برگرفته از کنکور سراسری)

از بارهای الکتریکی نیز ۲۰ درصد افزایش یابد، نیرویی که به هم وارد می‌کنند، چند می‌شود؟

۸۹- دو بار الکتریکی نقطه‌ای که در فاصلهٔ ۲۴ سانتی‌متری یکدیگر قرار دارند، یکدیگر را با نیروی ۱۰ نیوتونی دفع می‌کنند. اگر اختلاف اندازهٔ دو

بار  $12 \mu C$  باشد، اندازهٔ هر یک از بارها چند کولن است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2})$

۹۰- نیرویی که ذرهٔ باردار (۱) به ذرهٔ باردار (۲) وارد می‌کند، برابر با  $\vec{F}_{12} = (3N)\vec{i} - (4N)\vec{j}$  است. اگر بدون تغییر نوع بارها، اندازهٔ بار ذرهٔ (۱) را

دو برابر و فاصلهٔ دو ذره را در همان راستا نصف کنیم، نیروی وارد بر ذرهٔ (۱) را در حالت دوم در SI برحسب بردارهای یک‌ه بنویسید و اندازهٔ آن را برحسب نیوتون به دست آورید.

# پاسخ نامہ تشریحی



## فصل ۱: الکتریسیته ساکن

۱. نادرست؛ یک کولن مقدار بار الکتریکی بسیار زیادی است، به طوری که بار الکتریکی‌ای که توسط آذرخش تخلیه می‌شود، در حدود  $10^9$  C است.

۲. درست

۳. نادرست؛ مثبت و منفی بودن فقط یک نام‌گذاری است و می‌تواند هر اسم دیگری داشته باشد، ولی مزیت نام‌گذاری به صورت مثبت و منفی این است که یک جسم که به مقدار مساوی از بار مثبت و منفی داشته باشد، بار خالصش صفر می‌شود.

۴. نادرست؛ اجسام با بار هم‌نام، یکدیگر را دفع می‌کنند و اجسام با بار ناهم‌نام، یکدیگر را جذب می‌کنند.

۵. درست

۶. نادرست؛ بار الکتریکی یک کمیت کوانتیده است و همیشه مضرب صحیحی از بار پایه است.

۷. نادرست؛ در مالش شانه پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل شده از مرتبه نانو کولن هستند.

۸. اصل پایستگی بار

۹. مضرب صحیحی

۱۰. پایستگی

۱۱. کوانتیده بودن

۱۲. فرعی

۱۳.  $10^9$  C

۱۴. بیانگر این موضوع است که دو نوع بار الکتریکی (مثبت و منفی) داریم.

۱۵. اصل پایستگی بار؛ مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی، ثابت است؛ یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

پس براساس اصل پایستگی بار الکتریکی، در یک دستگاه منزوی داریم:

۱۶. در مبحث الکتریسیته، به دستگاهی منزوی می‌گوییم که نه از محیط اطراف خود بار بگیرد و نه به آن بار بدهد.

۱۷. ۲ بار الکتریکی باید مضرب صحیحی از  $e = 1/6 \times 10^{-19}$  C باشد. باید بررسی کنیم که کدام گزینه مضرب صحیحی از بار پایه می‌شود. برای این کار، بار هر گزینه را تقسیم بر  $1/6 \times 10^{-19}$  C می‌کنیم.

$$1 \quad n = \frac{4 \times 10^{-19} \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = \frac{4}{1/6} = 2/5$$

۲/۵ مضرب صحیح نیست.

$$2 \quad n = \frac{8 \times 10^{-19} \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = \frac{8}{1/6} = 5$$

کدام مقدار مضرب صحیح است.

۱۸. برای به دست آوردن تعداد الکترون‌های منتقل شده، باید  $1 \text{ C}$  را تقسیم بر  $1/6 \times 10^{-19}$  C کنیم:

$$n = \frac{1 \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 6 \times 10^{18} = 6/25 \times 10^{18}$$

۱۹. هر چهار مورد منشأ الکتریکی دارند.

۲۰. گام اول: ابتدا تعداد الکترون‌های کل میله را به دست می‌آوریم:

$$n = 8 \times 10^{10}$$

گام دوم: حالا مقدار بار را به دست می‌آوریم:

$$q = -ne = -8 \times 10^{10} \times (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) = -1/28 \times 10^{-8} \text{ C}$$

۲۱. الف تعداد پروتون‌های هر هسته برابر با عدد اتمی است؛ پس:

$$n = Z = 3$$

$$q = ne = 3 \times (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) = 4/8 \times 10^{-19} \text{ C}$$

ب یون  $\text{Li}^+$  یک الکترون خود را نسبت به حالت خنثی از دست داده است؛

$$q = -ne = -2 \times (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) = -3/2 \times 10^{-19} \text{ C}$$

پس:

۲۲. گام اول: مجموع بار در دستگاه برابر با  $20 \text{ nC}$  است؛ پس:

$$q_A + q_B = 20 \text{ nC} \xrightarrow{q_B = -\frac{4}{5} q_A} -\frac{4}{5} q_B + q_B = 20 \text{ nC}$$

$$\Rightarrow -\frac{1}{5} q_B = 20 \text{ nC} \Rightarrow q_B = -100 \text{ nC}$$

گام دوم: دستگاه منزوی است؛ پس طبق اصل پایستگی بار داریم:

$$q_A + q_B = q'_A + q'_B$$

$$\xrightarrow{\substack{q_A \text{ مثبت است و } A \text{ به مقدار } 20 \text{ nC از دست می‌دهد.}}} q_A + (-100 \text{ nC}) = (q_A - 20 \text{ nC}) + q'_B$$

$$\xrightarrow{\text{دیگر معادله منتقل می‌کنیم.}} q_A + (-100 \text{ nC}) - (q_A - 20 \text{ nC}) = q'_B$$

$$\Rightarrow q'_B = q_A - 100 \text{ nC} - q_A + 20 \text{ nC} = -80 \text{ nC}$$

۲۳. گام اول: بار الکتریکی جسم را در حالت اول  $q_1$  و در حالت دوم  $q_2$  می‌نامیم. در مورد  $q_1$  و  $q_2$  دو مورد زیر را می‌دانیم:

(۱)  $q_1$  منفی و  $q_2$  مثبت است.

$$(2) \quad |q_2| = |q_1| - \frac{75}{100} |q_1| = \frac{25}{100} |q_1|$$

$$q_2 = -\frac{25}{100} q_1 \Rightarrow q_2 = -\frac{1}{4} q_1$$

بنابراین داریم:

گام دوم: می‌دانیم تغییرات بار الکتریکی جسم، حاصل از دست دادن  $10^4$  الکترون است؛ پس:

$$\Delta q = +ne \Rightarrow q_2 - q_1 = (10^4)(1/6 \times 10^{-19} \text{ C})$$

الکترون از دست داده.

$$\Rightarrow -\frac{1}{4} q_1 - q_1 = 1/6 \times 10^{-15} \text{ C}$$

$$\Rightarrow -\frac{5}{4} q_1 = 1/6 \times 10^{-15} \text{ C} \Rightarrow q_1 = -1/28 \times 10^{-15} \text{ C}$$

۲۴. درست

۲۵. نادرست؛ وقتی میله پلاستیکی را به پارچه پشمی مالش می‌دهیم، میله پلاستیکی بارش منفی می‌شود؛ پس باید به انتهای منفی سری نزدیک‌تر باشد.

۲۶. درست

۲۸. نادرست؛ گفتیم در اثر مالش دو جسم خنثی به هم، حتماً دو جسم بار مخالف با هم پیدا می‌کنند، طوری که جسمی که به انتهای منفی سری نزدیک‌تر باشد، دارای بار منفی و دیگری، دارای بار مثبت می‌شود.

۲۹. الکتروسکوپ (برق‌نما)

۳۰. کم‌تری

۳۱. تشخیص سه مورد زیر:

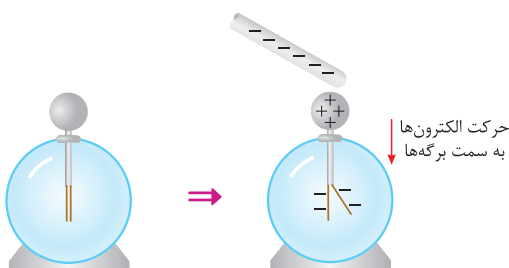
(۱) بارداری بودن یا نبودن جسم

(۲) نوع بار جسم باردار

(۳) رسانا یا نارسانا بودن جسم

۳۲. برای این کار، جسم مورد نظر را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم؛ اگر با نزدیک کردن جسم، تیغه‌ها از هم فاصله گرفتند، یعنی جسم باردار است (شکل زیر). علت این امر حرکت بارهای همانم با جسمی از کلاهک به تیغه‌ها است.

از آن جایی که بار تیغه‌ها همانم می‌شوند، این دو یکدیگر را می‌رانند.



الکتروسکوپ خنثی

با نزدیک شدن جسم باردار، تیغه‌ها از هم فاصله می‌گیرند.

**۳۸.** برای مشخص کردن این که وقتی دو جسم را به هم مالش می‌دهیم، کدام جسم الکترون می‌گیرد و کدام یک الکترون از دست می‌دهد.

**۳۹.** کم‌تر - چون به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر است.

**۴۰.** الف درست

**ب** نادرست؛ با توجه به نزدیک‌تر بودن مس به انتهای منفی سری، با مالش مس به نایلون، جسم‌های مسی دارای بار منفی می‌شوند.

**پ** درست

**۴۱.** بادکنک پلاستیکی - با این کار بادکنک پلاستیکی  $10^9$  الکترون دریافت می‌کند و کاغذ  $10^9$  الکترون از دست می‌دهد؛ پس:

$$q = -ne = -10^9 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = -1.6 \times 10^{-10} \text{ C}$$

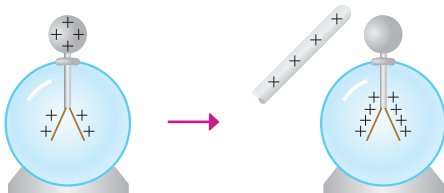
$$q = +ne = 10^9 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = 1.6 \times 10^{-10} \text{ C}$$

**۴۲.** با توجه به سری الکتریسیته مالشی (تریبولکتریک)، روکش سلفونی با برخورد به لپه‌های ظرف پلاستیکی الکترون از دست می‌دهد و بار مثبت پیدا می‌کند. پلاستیک هم الکترون می‌گیرد و بار منفی پیدا می‌کند. با توجه به مثبت و منفی بودن بار دو جسم، آن‌ها یکدیگر را می‌ربایند و سلفون به ظرف می‌چسبد.

**۴۳.** موی انسان - منفی - کم‌تر - مثبت - جذب

**۴۴. گام اول:** با توجه به سری الکتریسیته مالشی، با مالش میله شیشه‌ای با پارچه ابریشمی، بار شیشه مثبت و بار ابریشم منفی می‌شود.

**گام دوم:** الکتروسکوپ بار مثبت دارد؛ بنابراین مطابق شکل زیر، اگر جسمی با بار مثبت را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنیم، تعدادی از الکترون‌های آزاد تیغه‌ها به سمت کلاهک حرکت می‌کنند و بار مثبت بیشتری روی تیغه‌ها القا می‌شود. با افزایش بار مثبت روی تیغه‌ها، فاصله تیغه‌ها از هم بیشتر می‌شود. (تیغه‌ها از هم دور می‌شوند).

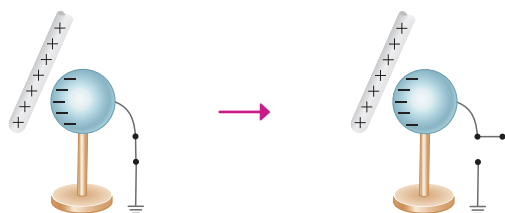


**۴۵.** الکترون‌خواهی برج بیشتر است؛ بنابراین وقتی یک جسم شیشه‌ای را به یک جسم برنجی مالش می‌دهیم، بار شیشه مثبت و بار برنج منفی می‌شود؛ همان‌طور که در درس‌نامه گفتیم، اگر یک جسم باردار را به الکتروسکوپ با بار مخالف نزدیک کنیم، در صورتی که بار جسم از بار الکتروسکوپ خیلی بیشتر باشد، صفحات الکتروسکوپ ابتدا به تدریج بسته و سپس دوباره باز می‌شود.

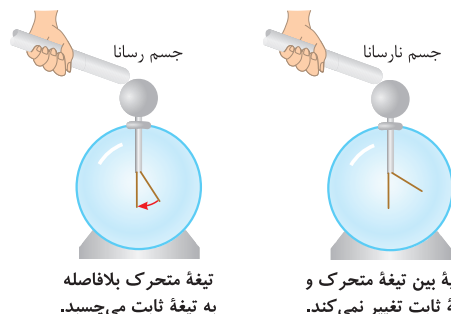
**۴۶. گام اول:** با توجه به سری الکتریسیته مالشی، با مالش میله شیشه‌ای با پارچه ابریشمی، میله بار مثبت و پارچه بار منفی می‌گیرد.

**گام دوم:** با نزدیک کردن میله با بار مثبت به کره، مطابق شکل روبه‌رو، الکترون‌های آزاد سطح کره به سمت میله کشیده می‌شوند.

**گام سوم:** با بستن کلید، الکترون‌های آزاد از زمین وارد کره می‌شوند و بارهای مثبت تجمع‌یافته در طرف راست کره را خنثی می‌کنند. با این اتفاق، بار خالص کره منفی می‌شود و با باز کردن کلید، بار کره منفی می‌ماند.



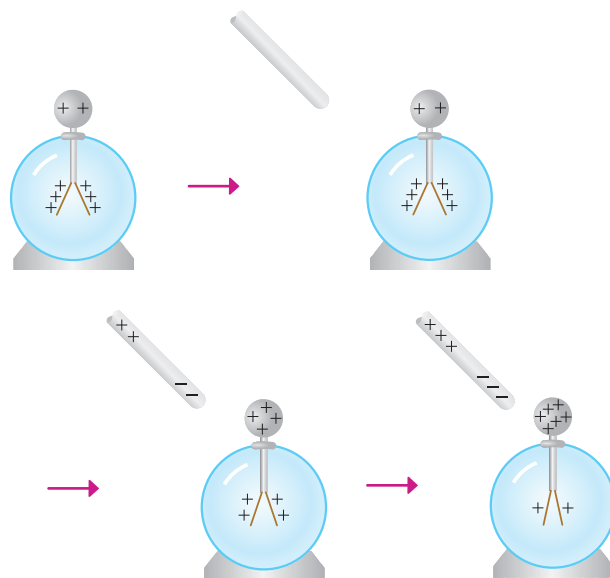
**۳۳.** برای این که بفهمیم یک جسم رسانا هست یا نه، کافی است همانند شکل‌های زیر یک سر جسم مورد نظر را در دستمان (بدون دستکش) بگیریم و سر دیگر آن را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ باردار تماس بدهیم. اگر جسم مورد نظر رسانا باشد، تیغه‌های الکتروسکوپ خیلی سریع به هم می‌چسبند؛ چون بدن ما رسانای الکتریکی است و بار الکتریکی از طریق جسم و بدن ما به زمین منتقل می‌شود و الکتروسکوپ خنثی می‌شود، اما اگر جسم نارسا باشد، تیغه‌ها به هم نمی‌چسبند.



**۳۴.** منفی - وقتی با نزدیک کردن یک جسم باردار به یک الکتروسکوپ باردار، ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک می‌شوند، حتماً بار جسم مخالف بار الکتروسکوپ است.

**۳۵.** منفی - منفی؛ در واقع داریم الکتروسکوپ را به روش القا باردار می‌کنیم. در درس‌نامه باردار کردن به روش القا، خواندید که در این روش جسم باردار شده، بارش مخالف میله است؛ پس بار الکتروسکوپ منفی می‌شود. با دور کردن میله باردار، این بار روی کلاهک و تیغه‌ها پخش می‌شود.

**۳۶.** چون الکتروسکوپ باردار است، وقتی یک میله خنثی را به آرامی به کلاهک نزدیک می‌کنیم، در سر نزدیک‌تر میله بار مخالف القا می‌شود؛ از این رو بارهای الکتروسکوپ توسط میله جذب می‌شوند. با جذب بار توسط میله، بارهای روی تیغه‌ها به روی کلاهک می‌آیند و فاصله تیغه‌ها به تدریج کم می‌شود.



**۳۷.** مطابق شکل روبه‌رو، دو نی پلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آن‌ها خم می‌کنیم؛ سپس آن‌ها را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم. با این کار، با توجه به سری الکتریسیته مالشی، هر دو نی بار منفی می‌گیرند. اگر دو نی را مانند آنچه که در شکل روبه‌رو می‌بینید به هم نزدیک کنیم، نیروی دافعه بین آن‌ها را کاملاً حس می‌کنیم.



**۴۷. گام اول:** با عبارت آخر که تکلیفش مشخص است، شروع می‌کنیم. طبق این عبارت، با مالش دادن دو جسم A و D به هم، بار جسم A مثبت و بار جسم D منفی می‌شود؛ پس همواره باید A بالاتر از D قرار گیرد:

|                      |
|----------------------|
| سری الکتریسیته مالشی |
| انتهای مثبت سری      |
| A                    |
| D                    |
| انتهای منفی سری      |

**گام دوم:** حالا به سراغ دیگر عبارت‌ها می‌رویم. اول به سراغ عبارتی می‌رویم که با هر دوی A و D سروکار داشته باشد؛ یعنی عبارت (II):

در این عبارت گفته شده که اگر دو جسم B و D را به A مالش دهیم، یکدیگر را جذب می‌کنند؛ پس با مالش B و D به A دو جسم B و D بار مخالف هم می‌گیرند. این موضوع وقتی رخ می‌دهد که در سری یکی از اجسام بالاتر از A و دیگری پایین‌تر از A قرار گیرد. جایگاه D که از قبل پایین‌تر از A بود، پس B حتماً بالاتر از A است.

|                      |
|----------------------|
| سری الکتریسیته مالشی |
| انتهای مثبت سری      |
| B                    |
| A                    |
| D                    |
| انتهای منفی سری      |

**گام سوم:** حالا عبارت (I) را بررسی می‌کنیم: براساس این عبارت، با مالش دو جسم B و C به جسم D، باید هر دو یک نوع بار پیدا کنند؛ بنابراین در سری هر دو باید یا بالاتر از D باشند یا پایین‌تر. B از قبل بالاتر بود؛ پس C هم باید بالاتر از D باشد و سه حالت زیر می‌تواند رخ دهد:

| سری الکتریسیته مالشی | سری الکتریسیته مالشی | سری الکتریسیته مالشی |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| انتهای مثبت          | انتهای مثبت          | انتهای مثبت          |
| C                    | B                    | B                    |
| B                    | C                    | A                    |
| A                    | A                    | D                    |
| D                    | D                    | انتهای مثبت          |
| انتهای منفی          | انتهای منفی          |                      |
| حالت (۱)             | حالت (۲)             | حالت (۳)             |

**گام چهارم:** در نهایت با تنها عبارت باقی‌مانده کار را تمام می‌کنیم:

در این عبارت گفته شده که اگر دو جسم B و C را به A مالش دهیم، یکدیگر را جذب می‌کنند؛ پس از سه حالت بالا باید حالتی را انتخاب کنیم که A بین B و C قرار گرفته باشد؛ یعنی حالت ۳.

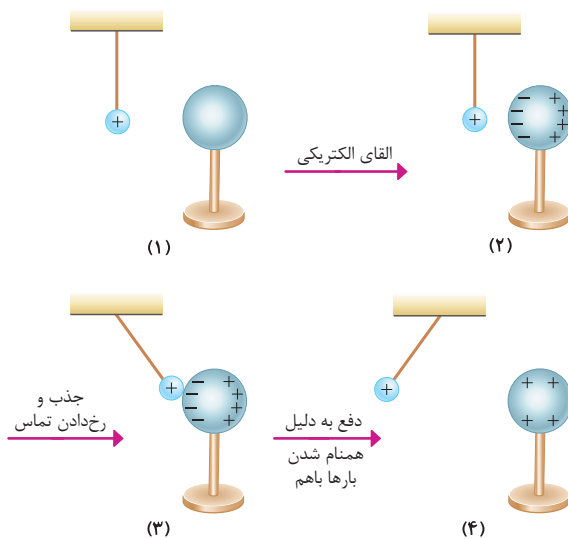
**۴۸. ۴** جسم A به انتهای مثبت سری و جسم B به انتهای منفی سری نزدیک‌تر است؛ بنابراین با مالش دادن دو جسم به یکدیگر، بار جسم A مثبت و بار جسم B منفی می‌شود.

در آزمایش اول، وقتی جسم A را به کلاهک الکتروسکوپ با بار مثبت (همنام با جسم A) نزدیک می‌کنیم، از همان ابتدا بار مثبت بیشتری در ورقه‌های الکتروسکوپ القا می‌شود و در نتیجه زاویه بین ورقه‌ها افزایش می‌یابد؛ پس عبارت الف نادرست و عبارت ب درست است (رد ۱ و ۲).

در آزمایش دوم، وقتی جسم منفی B را به تدریج به کلاهک الکتروسکوپ با بار مثبت نزدیک می‌کنیم، الکترون‌ها به تدریج از کلاهک به سمت ورقه‌ها دفع می‌شوند و ابتدا بار مثبت ورقه‌ها کاهش و زاویه بین ورقه‌ها از هم کم می‌شود و اگر روند انتقال الکترون به ورقه‌ها ادامه پیدا کند، ورقه‌ها بار منفی پیدا می‌کنند و با افزایش این بار، دوباره از هم دور می‌شوند؛ پس عبارت پ درست و عبارت ت نادرست است.

**۴۹.** وقتی به گلوله دست می‌زنیم، گلوله بدون بار می‌شود. زمانی که میله را به گلوله نزدیک می‌کنیم، الکترون‌های آزاد از طرفی که میله به آن نزدیک شده است، دور می‌شوند؛ بنابراین در آن قسمت گلوله بار مثبت القا می‌شود و جذب میله می‌شود. اگر گلوله با میله برخورد کند، چون بار خالص منفی می‌گیرد، پس از تماس دفع می‌شود.

**۵۰.** مطابق آن چه که در شکل‌های زیر می‌بینید، ابتدا به دلیل حضور آونگ الکتریکی، در کره بدون بار، القای الکتریکی رخ می‌دهد. (شکل ۲) القای الکتریکی باعث جذب و در نهایت تماس گلوله با کره می‌شود. (شکل ۳) در نهایت با هم‌نام شدن بار کره و گلوله، این دو یکدیگر را دفع می‌کنند.



**۵۱. دلیل اول:** معمولاً اطراف ما، اجسام بدون بار (خنثی) زیادی هستند و می‌دانیم اجسام باردار با نزدیک شدن به اجسام بدون بار، در آن‌ها بار مخالف القا می‌کنند و در نتیجه بر آن‌ها نیروی جاذبه وارد می‌کنند.

**دلیل دوم:** بارهای الکتریکی محیط اطراف ما، اکثراً به روش‌های مالش ایجاد می‌شوند، یعنی بارها ناهم‌نام هستند و یکدیگر را جذب می‌کنند.

**۵۲.** با تماس دادن گلوله به یکی از صفحه‌ها، بار هم‌نام آن صفحه را گرفته و از آن دفع شده و به طرف صفحه مقابل با بار مخالف می‌رود و با آن برخورد می‌کند. بعد از تماس، به علت هم‌نام شدن بار گلوله با آن صفحه، دوباره به طرف صفحه مقابل می‌رود و به صفحه مقابل برخورد می‌کند. این عمل تا زمانی که بار روی صفحه‌ها خنثی شود، ادامه دارد.

**۵۳. ۴** در سؤال‌های قبل دیدیم که اگر یک جسم باردار را به یک جسم بدون بار نزدیک کنیم، به خاطر القای بار در جسم بدون بار، دو جسم یکدیگر را جذب می‌کنند. بنابراین دو جسم رسانا اگر یکدیگر را دفع کنند، حتماً باید باردار باشند و بار هم‌نام داشته باشند. اما اگر دو جسم همدیگر را جذب کنند، یا می‌توانند دو جسم با بارهای ناهم‌نام باشند و یا یکی از آن‌ها باردار و دیگری بدون بار باشد؛ پس جسم‌های B و C باید بار هم‌نام داشته باشند، ولی دلیلی وجود ندارد که بار این دو جسم هم‌اندازه باشد. از طرفی با توجه به توضیحات بالا، جسم A می‌تواند بدون بار باشد؛ بنابراین ۴ پاسخ این سؤال است.

**۵۴.** چون دو کره مشابه هستند، بارشان بعد از تماس با یکدیگر برابر می‌شود و داریم:

$$q'_A = q'_B = \frac{q_A + q_B}{2} = \frac{20 \mu\text{C} + (-8 \mu\text{C})}{2} = 6 \mu\text{C}$$

**۵۵. الف** کره A؛ چون بار آن در ابتدا  $-5 \mu\text{C}$  بوده و پس از تماس بارش منفی‌تر

$$\text{و برابر } q'_A = \frac{q_A + q_B}{2} = \frac{(-5 \mu\text{C}) + (-9 \mu\text{C})}{2} = -7 \mu\text{C} \text{ می‌شود.}$$

**ب** ابتدا مقدار بار منتقل شده را حساب می‌کنیم:

$$\Delta q_A = q'_A - q_A = -7 \mu\text{C} - (-5 \mu\text{C}) = -2 \mu\text{C}$$

**ب** چون بار گوی‌ها با هم، هم‌نام می‌شود، نیروی الکتریکی بین آن‌ها دافعه است.  
**۷۳. گام اول:** وقتی دو کره را به هم تماس می‌دهیم، بار آن‌ها با هم مساوی می‌شود و مقدار هر یک از آن‌ها به صورت زیر به دست می‌آید:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{8 \mu\text{C} + (-10 \mu\text{C})}{2} = \frac{-2 \mu\text{C}}{2} = -1 \mu\text{C}$$

**گام دوم:** در صورت سؤال گفته‌ایم که دو کره را در فاصله قبلی قرار می‌دهیم؛ پس:

$$\frac{F'}{F} = \frac{\frac{|q'_1||q'_2|}{r^2} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2}{\frac{|q_1||q_2|}{r^2}} = \frac{\frac{(-1 \mu\text{C})|(-1 \mu\text{C})|}{(8 \mu\text{C})|(-10 \mu\text{C})|} \times (1)^2}{\frac{1}{80}} = \frac{1}{80}$$

بنابراین پس از تماس، نیرویی که دو کره به هم وارد می‌کنند،  $\frac{1}{80}$  برابر می‌شود.

**۷۴.** طبق اصل پایستگی بار الکتریکی، مجموع بارهای الکتریکی دو ذره قبل و بعد از انتقال الکترون‌ها بین آن‌ها یکسان است؛ بنابراین:

$$q_A + q_B = q'_A + q'_B \Rightarrow q + q = q'_A + (-3q)$$

$$\Rightarrow q'_A = 5q$$

یعنی بعد از انتقال الکترون‌ها، بار الکتریکی ذره A برابر  $5q$  می‌شود.  
 نسبت بزرگی نیروی الکتریکی‌ای که دو ذره به هم وارد می‌کنند را برای دو حالت می‌نویسیم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{k \frac{|q'_A||q_B|}{r^2}}{k \frac{|q_A||q_B|}{r^2}} = \frac{5q \times 3q}{q \times q} = 15 \Rightarrow F' = 15F$$

**۷۵. گام اول:** نیروی الکتریکی‌ای که دو گوی به هم وارد می‌کنند،  $\frac{4}{5}$  برابر می‌شود. پس:

$$F' = \frac{4}{5}F$$

بار دو گوی ناهم‌نام است، بنابراین با تماس دو گوی، بار الکتریکی کل آن‌ها برابر  $|q_1 - q_2|$  و بار الکتریکی هر یک برابر  $\frac{|q_1 - q_2|}{2}$  می‌شود.

**گام دوم:** حالا نسبت اندازه نیروی الکتریکی‌ای که دو گوی به هم وارد می‌کنند را برای دو حالت می‌نویسیم:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{ثابت } r} \frac{F'}{F} = \frac{|q'_1||q'_2|}{|q_1||q_2|}$$

$$\Rightarrow \frac{4}{5} = \frac{\left(\frac{|q_1 - q_2|}{2}\right)^2}{|q_1||q_2|} \Rightarrow \frac{4}{5} = \frac{(q_1 - |q_2|)^2}{4q_1|q_2|}$$

$$\Rightarrow \frac{q_1}{|q_2|} - 2 + \frac{|q_2|}{q_1} = \frac{16}{5} \Rightarrow \frac{q_1^2 - 2q_1|q_2| + |q_2|^2}{q_1|q_2|} = \frac{16}{5}$$

$$\Rightarrow \frac{q_1}{|q_2|} + \frac{|q_2|}{q_1} = \frac{16}{5} + 2 \Rightarrow \frac{1}{x} + x = \frac{26}{5} = \frac{1}{5} + \frac{25}{5}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{x} + x = \frac{1}{5} + 5 \Rightarrow x = 5 \xrightarrow{x = \frac{|q_2|}{q_1}} \frac{|q_2|}{q_1} = 5 \Rightarrow \frac{q_1}{|q_2|} = \frac{1}{5}$$

**۷۶.** برای این که گلوله بالایی در تعادل باشد، باید نیروی وزن گلوله با نیروی الکتریکی وارد بر آن متوازن باشد:

$$F_E = mg \Rightarrow k \frac{|q||q|}{r^2} = mg$$

$$\Rightarrow 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \times \frac{|q|^2}{(4 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = (10 \times 10^{-3} \text{ kg})(10 \text{ N/kg})$$

$$\Rightarrow \frac{9}{16} \times 10^{11} \text{ N/C}^2 \times |q|^2 = 10^{-1} \text{ N} \Rightarrow |q|^2 = \frac{16}{9} \times 10^{-12} \text{ C}^2$$

$$\Rightarrow |q| = \frac{4}{3} \times 10^{-6} \text{ C} = \frac{4}{3} \mu\text{C}$$

حالا به کمک رابطه  $n = \frac{q}{e}$ ، تعداد الکترون‌های جابه‌جاشده را به دست می‌آوریم:

$$n = \frac{-2 \mu\text{C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = \frac{2 \times 10^{-6} \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 12 \times 10^{13}$$

**۵۶.** هم‌اندازه **۵۷.** مستقیم

**۵۸.** ترازوی پیچشی **۵۹.** چهار برابر

**۶۰.** یکای ضریب گذردهی الکتریکی  $\epsilon_0$

**۶۱.** خلاف جهت یکدیگر - این موضوع به این خاطر است که نیرویی که دو جسم باردار به هم وارد می‌کنند، عمل و عکس‌العمل هم هستند.

**۶۲.** دو برابر **۶۳.** وارون **۶۴.** هسته‌ای

**۶۵.** قانون کولن: نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط مستقیم بین آن‌ها اثر می‌کند، با حاصل ضرب بزرگی آن‌ها نسبت مستقیم و با مجذور فاصله بین آن‌ها نسبت عکس دارد.

**۶۶. الف** ترازوی پیچشی

**ب** عوامل مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار

**۶۷. الف** بعد از تماس، گلوله آونگ مقداری از بارش را به کره می‌دهد و نیروی بین دو گلوله آونگ به علت کم شدن بار الکتریکی، کاهش می‌یابد و زاویه انحراف بین دو آونگ کم می‌شود.

**ب** نیروی الکتریکی با بار گلوله‌ها نسبت مستقیم دارد.

**۶۸.** دو بار ناهم‌نام هستند؛ پس نیروی بین آن‌ها رپایشی است. بزرگی نیرو هم برابر است با:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \times \frac{(2 \mu\text{C}) \times (5 \mu\text{C})}{(3 \text{ m})^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \times \frac{(2 \times 10^{-6} \text{ C}) \times (5 \times 10^{-6} \text{ C})}{9 \text{ m}^2} = 10^{-2} \text{ N}$$

**۶۹.** با توجه به رابطه کولن داریم:

$$F_E = k \frac{|q_e||q_p|}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \times \frac{(1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1/6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(0.52 \times 10^{-1} \text{ m})^2} \approx 8/2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

**۷۰.**

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow (0.04 \text{ N}) = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{|q_1||10^{-6} q_1|}{(3 \text{ m})^2}$$

$$\Rightarrow |q_1|^2 = \frac{(0.04 \text{ N})(3 \text{ m})^2}{10 \times 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}} = 4 \times 10^{-12} \text{ C}^2$$

$$\Rightarrow |q_1| = 2 \times 10^{-6} \text{ C} = 2 \mu\text{C}$$

**۷۱. الف** نیروی الکتریکی‌ای که کره (۱) به کره (۲) وارد می‌کند، عکس‌العمل نیروی الکتریکی‌ای است که کره (۲) به کره (۱) وارد می‌کند؛ پس اندازه این دو نیرو با هم برابر است و فرقی نمی‌کند جرم و بار هر کدام چه قدر است.

**ب** چون اندازه نیروها با هم برابر است، طبق قانون دوم نیوتون ( $F = ma$ ) داریم:

$$F_1 = F_2 \Rightarrow m_1 a_1 = m_2 a_2 \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{\frac{1}{2} m_2} = 2$$

**۷۲. الف** از آن جایی که دو گوی، رسانا و شبیه هم هستند، وقتی آن‌ها را با هم تماس می‌دهیم، گوی‌ها دارای بار یکسان و برابر با میانگین بارهای اولیه خواهند شد؛ یعنی:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{8 \text{ nC} + (-12 \text{ nC})}{2} = -2 \text{ nC}$$

نیروی بین دو گوی پس از تماس آن‌ها به هم، طبق قانون کولن برابر است با:

$$q'_1 = q'_2 = -2 \text{ nC} = -2 \times 10^{-9} \text{ C}, r = 60 \text{ cm} = 60 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$F = k \frac{|q'_1||q'_2|}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(2 \times 10^{-9} \text{ C})(2 \times 10^{-9} \text{ C})}{(60 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = 10^{-7} \text{ N}$$

**۷۷.** نیروهای وارد بر ذرهٔ باردار بالایی را تعیین می‌کنیم. به این ذره دو نیرو وارد می‌شود: (۱) نیروی وزن به سمت پایین، (۲) نیروی دافعهٔ الکتریکی به سمت بالا. چون این ذره در حالت تعادل است، برآیند نیروهای وارد بر آن باید برابر صفر شود. بنابراین این دو نیرو اولاً باید در خلاف جهت هم باشند، که هستند. ثانیاً باید هم‌اندازه باشند. بنابراین:



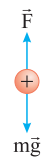
$$F_{\text{الکتریکی}} = mg \Rightarrow k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = mg$$

$$\Rightarrow (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \times \frac{(4 \times 10^{-9} \text{ C}) \times (4 \times 10^{-9} \text{ C})}{r^2} = (0.4 \times 10^{-3} \text{ kg}) \times (10 \text{ N/kg})$$

$$\Rightarrow \frac{36 \times 10^{-17} \text{ N.m}^2}{r^2} = 4 \times 10^{-4} \text{ N} \Rightarrow r^2 = \frac{36 \times 10^{-17}}{4 \times 10^{-4}} \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow r = 6 \times 10^{-2} \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

**۷۸. گام اول:** چون گوی بالایی، معلق مانده است، برآیند نیروهای وارد بر این گوی صفر است؛ بنابراین نیروی الکتریکی وارد بر آن هم‌اندازه با نیروی وزن آن است و داریم:



$$F = mg \Rightarrow k \frac{|q||q|}{r^2} = mg$$

$$\Rightarrow (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \times \frac{q^2}{36 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = (1 \times 10^{-3} \text{ kg}) \times (10 \text{ N/kg})$$

$$\Rightarrow q^2 = \frac{36 \times 10^{-4} \times 10^{-3}}{9 \times 10^9} \text{ C}^2$$

$$\Rightarrow q = 2 \times 10^{-9} \text{ C}$$

**گام دوم:** طبق رابطه  $q = ne$ ، تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی را به دست می‌آوریم:

**۷۹.** از رابطهٔ نسبتی قانون کولن استفاده می‌کنیم:

$$q = ne \Rightarrow 2 \times 10^{-9} = n \times 1.6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = 1.25 \times 10^{10}$$

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1||q'_2|}{|q_1||q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \Rightarrow \frac{q'_1 = \frac{1}{3}q_1}{q'_2 = \frac{1}{3}q_2} \times \left(\frac{r}{\frac{1}{3}r}\right)^2$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} \times 9 = 3$$

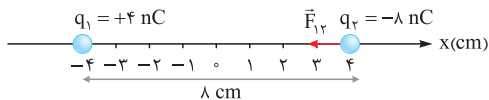
**۸۰.** ابتدا مقدار نیرو را در حالت اول حساب می‌کنیم:

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

حالا مقدار نیرو را در حالت دوم تعیین می‌کنیم:

$$F' = k \frac{\frac{1}{3}q \times \frac{3}{2}q}{r^2} = \frac{3}{2}k \frac{q^2}{r^2} \Rightarrow F' = \frac{3}{2}F$$

**۸۱. گام اول:** جهت نیروی وارد بر  $q_2$  را تعیین می‌کنیم. دو بار ناهم‌نام هستند؛ پس یکدیگر را جذب می‌کند و مطابق شکل زیر، نیروی وارد بر  $q_2$  در خلاف جهت محور X خواهد بود:



**گام دوم:** حالا به کمک قانون کولن، اندازهٔ  $F_{12}$  را به دست می‌آوریم و سپس  $\vec{F}_{12}$  را بر حسب بردارهای یک‌تایی تعیین می‌کنیم:

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \times \frac{(4 \times 10^{-9} \text{ C})(8 \times 10^{-9} \text{ C})}{(8 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$= 9 \times 10^{-5} \text{ N} \Rightarrow \vec{F}_{12} = (-9 \times 10^{-5} \text{ N})\vec{i}$$

**۸۲.** نصف بار  $q_2$  را برمی‌داریم و به  $q_1$  می‌دهیم:

$$q'_1 = q_1 + \frac{q_2}{2} = 2 + \frac{(-2)}{2} = 1 \mu\text{C}$$

$$q'_2 = q_2 - \frac{q_2}{2} = -2 - \frac{(-2)}{2} = -1 \mu\text{C}$$

حالا کافی است که نسبت نیروی کولنی را در دو حالت به دست آوریم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{k \frac{|q'_1||q'_2|}{r^2}}{k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}} = \frac{\frac{1 \times 1}{r^2}}{\frac{2 \times 2}{r^2}} = \frac{1}{4}$$

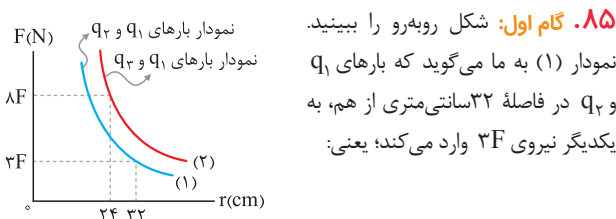
**۸۳. ۱** از رابطهٔ  $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$  می‌فهمیم که با افزایش فاصلهٔ بین دو بار، اندازهٔ نیروی بین آن‌ها کاهش می‌یابد؛ بنابراین گزینه‌های **۳** و **۴** نمی‌توانند پاسخ این سؤال باشند. از طرفی  $F$  با  $\frac{1}{r^2}$  متناسب است؛ پس رابطهٔ  $F$  و  $r$  خطی نیست و **۲** هم رد می‌شود و **۱** جواب سؤال است.

**۸۴.** با توجه به نمودار، اگر فاصلهٔ دو بار برابر  $r$  باشد، نیروی  $F$  و اگر فاصلهٔ دو بار برابر  $r + 15 \text{ cm}$  باشد، نیروی  $\frac{1}{4}F$  را به هم وارد می‌کنند؛ بنابراین با توجه به فرمول نسبتی قانون کولن داریم:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{|q'_1||q'_2|}{|q_1||q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2$$

$$\xrightarrow{\text{بارها تغییر نکرده‌اند.}} \frac{1}{4} = \frac{r^2}{(r + 15 \text{ cm})^2}$$

$$\xrightarrow{\text{جذrgیری}} \frac{1}{2} = \frac{r}{r + 15 \text{ cm}} \Rightarrow r + 15 \text{ cm} = 2r \Rightarrow r = 15 \text{ cm}$$



$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} \Rightarrow 3F = k \frac{|q_1||q_2|}{(32 \text{ cm})^2} \Rightarrow |q_2| = \frac{(32 \text{ cm})^2 \times 3F}{k|q_1|}$$

هم‌چنین از نمودار (۲) می‌فهمیم که بارهای  $q_1$  و  $q_2$  در فاصلهٔ ۲۴ سانتی‌متری از هم، به یکدیگر نیروی ۸F وارد می‌کنند:

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} \Rightarrow 8F = k \frac{|q_1||q_2|}{(24 \text{ cm})^2} \Rightarrow |q_2| = \frac{(24 \text{ cm})^2 \times 8F}{k|q_1|}$$

نسبت  $\frac{|q_2|}{|q_1|}$  را حساب می‌کنیم:

$$\frac{|q_2|}{|q_1|} = \frac{\frac{(32 \text{ cm})^2 \times 3F}{k|q_1|}}{\frac{(24 \text{ cm})^2 \times 8F}{k|q_1|}} = \frac{32 \times 3}{24 \times 8} = \frac{3}{2}$$

**۸۶. گام اول:** فاصلهٔ بین دو بار الکتریکی، ۲۰ درصد افزایش می‌یابد؛ بنابراین:

$$r' = r + \frac{20}{100}r = \frac{120}{100}r = \frac{6}{5}r$$

حالا رابطهٔ قانون کولن را به صورت نسبتی می‌نویسیم تا نسبت نیروهای الکتریکی در دو حالت به دست آید:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{ثابت: } |q_1|, |q_2|} \frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left(\frac{5}{6}\right)^2 = \frac{25}{36}$$

**گام دوم:** درصد تغییرات نیروی الکتریکی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\Delta F}{F} \times 100 = \frac{F' - F}{F} \times 100 = \frac{\frac{25}{36}F - F}{F} \times 100 = \frac{-\frac{11}{36}F}{F} \times 100 \approx -30.6\%$$

**۸۷. گام اول:** ابتدا مقدار بار ذره‌ها را در حالت دوم حساب می‌کنیم. ۲۵ درصد بار  $q_1$  کم شده و به بار  $q_2$  داده شده است؛ بنابراین داریم:

$$q'_1 = q_1 - \frac{25}{100} q_1 = 80 \mu C - \frac{25}{100} \times 80 \mu C = 60 \mu C$$

$$q'_2 = q_2 + \frac{25}{100} q_1 = -50 \mu C + \frac{25}{100} \times 80 \mu C = -30 \mu C$$

**گام دوم:** از رابطه نسبتی قانون کولن استفاده می‌کنیم تا درصد تغییرات را

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1| |q'_2|}{|q_1| |q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{60 \times 30}{80 \times 50} \times (1)^2 = \frac{18}{40} = \frac{45}{100}$$

بنابراین نیرویی که دو ذره به هم وارد می‌کنند، در حالت دوم ۴۵ درصد حالت اول است؛ یعنی نیروی الکتریکی بین آن‌ها در حالت دوم ۵۵ درصد کاهش یافته است.

**۸۸. گام اول:** فاصله بین دو بار الکتریکی ۲۰ درصد کاهش می‌یابد؛ بنابراین:

$$r_2 = r_1 - \frac{20}{100} r_1 = \frac{80}{100} r_1 \Rightarrow r_2 = \frac{4}{5} r_1$$

اندازه هر یک از بارهای الکتریکی هم ۲۰ درصد افزایش می‌یابد، پس:

$$|q'_1| = |q_1| + \frac{20}{100} |q_1| = \frac{6}{5} |q_1|, |q'_2| = \frac{6}{5} |q_2|$$

**گام دوم:** حالا رابطه قانون کولن را به صورت نسبتی می‌نویسیم:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{|q'_1|}{|q_1|} \times \frac{|q'_2|}{|q_2|} \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

$$= \frac{6}{5} \times \frac{6}{5} \times \left(\frac{5}{4}\right)^2 = \frac{36}{16} = \frac{9}{4} \Rightarrow F_2 = \frac{9}{4} F_1$$

**۸۹. گام اول:** دو بار یکدیگر را با نیروی ۱۰ نیوتونی دفع می‌کنند؛ بنابراین حاصل ضرب اندازه این دو بار، برابر است با:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow 10 \text{ N} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \times \frac{|q_1| |q_2|}{(24 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$\Rightarrow |q_1| |q_2| = 64 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \Rightarrow |q_1| |q_2| = 64 (\mu\text{C})^2$$

**گام دوم:** اختلاف اندازه دو بار  $12 \mu\text{C}$  است؛ پس با فرض بزرگ‌تر بودن اندازه  $q_1$  داریم:

$$|q_1| - |q_2| = 12 \mu\text{C}$$

بنابراین دو عدد می‌خواهیم که حاصل ضرب آن‌ها ۶۴ و تفاضل آن‌ها ۱۲ شود. این دو عدد ۱۶ و ۴ هستند و داریم:

$$|q_1| = 16 \mu\text{C}, |q_2| = 4 \mu\text{C}$$

(ما این‌ها این دو عدد رو مثل همون کاری که در تئریه به کمک اتحاد مزدوج انجام می‌دیم، تعیین کردیم، ولی با توجه به این که حاصل ضرب و حاصل تفاضل دو مقدار رو داریم، آگه می‌توانید می‌تونید از اتحادهای مربع دو جمله‌ای هم اعداد رو به دست بیارید.)

**۹۰. گام اول:** ابتدا نسبت  $\frac{F'_{12}}{F_{12}}$  را تعیین می‌کنیم، با استفاده از فرم نسبتی

$$\frac{F'_{12}}{F_{12}} = \frac{|q'_1| |q'_2|}{|q_1| |q_2|} \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \quad \frac{q'_1 = 2q_1}{r' = \frac{1}{2}r} \quad \frac{2}{1} \times \left(\frac{1}{\frac{1}{2}}\right)^2 = 2 \times 2^2 = 8$$

**گام دوم:** با توجه به این که راستای نیروها تغییر نمی‌کند، داریم:

$$\vec{F}'_{12} = 8 \vec{F}_{12} \Rightarrow \vec{F}'_{12} = 8((3\text{N})\vec{i} - (4\text{N})\vec{j}) = (24\text{N})\vec{i} - (32\text{N})\vec{j}$$

**گام سوم:** نیروی وارد بر ذره (۱) یعنی  $\vec{F}'_{21}$  عکس‌العمل  $\vec{F}'_{12}$  است؛ پس:

$$\vec{F}'_{21} = -\vec{F}'_{12} = -((24\text{N})\vec{i} - (32\text{N})\vec{j}) = ((-24\text{N})\vec{i} + (32\text{N})\vec{j})$$

**گام چهارم:** بنابراین اندازه  $F'_{21}$  برابر است با:

$$F'_{21} = \sqrt{(-24\text{N})^2 + (32\text{N})^2} = \sqrt{1600\text{N}^2} = 40\text{N}$$