فصل اول

۱ الکتریسیتهٔ ساکن

فیزیک **یازدهم**

از فصل اول فیزیک (۲)، ۱۴ نمره در نوبت اول و ۵ نمره در نوبت دوم سؤال طرح می‌شود. توجه داشته باشید که از این بارم‌بندی، ۲/۵ نمره در نوبت اول و ۰/۵ نمره در نوبت دوم مربوط به فعالیت‌ها و آزمایش‌های این فصل است.

بسته اول

بار الکتریکی

صفحه ۲ تا ۴ کتاب درسی

در این فصل به مطالعهٔ بارهای ساکن می‌پردازیم که به آن الکتریسیتهٔ ساکن (الکتروستاتیک) می‌گویند.

الف بار الکتریکی

واژهٔ الکتریسیته از واژهٔ یونانی **الکترون** گرفته شده است که به معنای **کهربا** است.

نکته مبانی فیزیک مرتبط با پدیده‌هایی که منشاء الکتریکی دارند نخستین بار مورد توجه فیلسوفان **یونان قدیم** قرار گرفت که دریافتند اگر قطعه‌ای از کهربا با پارچهٔ پشمی مالش داده شود و سپس به خرده‌های کاه نزدیک گردد، آن خرده‌های کاه به سوی کهربا کشیده می‌شوند.

آذرخش، نیروی بین اتم ها در مولکول، انتقال پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب، قابلیت چسبیدن نوار سلوفان بر ظروف و بالا رفتن مارمولک از دیوار، همه منشأ الکتریکی دارند.

طبق تجربه و آزمایش مشخص شده است که **دو نوع بار الکتریکی وجود دارد** که توسط بنیامین فرانکلین، بار مثبت و بار منفی نام‌گذاری شد.

اتم‌ها در حالت خنثی، تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های یکسان دارند و اصطلاحاً بار خالص جسم، صفر است. اگر تعداد الکترون‌ها بیش‌تر از تعداد پروتون‌ها باشد، بار خالص جسم، منفی است و اگر تعداد الکترون‌ها کم‌تر از تعداد پروتون‌ها باشد، بار خالص جسم، مثبت است.

بار الکتریکی را با نماد q نمایش می‌دهند و یکای آن در SI بر حسب کولن است و با نماد C نمایش داده می‌شود.

نکته یک کولن مقدار بار بزرگی است، برای مثال در یک آذرخش باری از مرتبهٔ $10\,C$ به زمین منتقل می‌شود، در صورتی‌که در مالش شانهٔ پلاستیکی با موی سر، بارهای منتقل‌شده از مرتبهٔ نانوکولن (nC) است.

قانون بنیادی الکتروستاتیک

بارهای همنام یکدیگر را دفع و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.

نکته جسم باردار می‌تواند علاوه بر جسم با بار مخالف، جسم خنثی را نیز جذب کند. ولی تنها دو جسم باردار با بار همنام می‌توانند یکدیگر را دفع کنند.

سؤال **دو جسم A و B یکدیگر را جذب می‌کنند و دو جسم A و C یکدیگر را دفع می‌کنند. در مورد بار این سه جسم چه می‌توان گفت؟**

پاسخ جسم‌های A و C یکدیگر را دفع می‌کنند، بنابراین هر دو باردار هستند و بار آن‌ها همنام است.

جسم‌های A و B یکدیگر را جذب می‌کنند، بنابراین با توجه به باردار بودن جسم A ، نتیجه می‌گیریم که جسم B یا دارای بار ناهمنام با جسم A است یا ممکن است خنثی باشد.

ب روش‌های باردار کردن اجسام

اجسام را به سه روش باردار می‌کنند:

۱ مالش ۲ تماس ۳ القا

مالش

اگر دو جسم با جنس‌های مختلف را به یکدیگر مالش دهیم، الکترون از سطح یک جسم به سطح جسم دیگر منتقل می‌شود و هر دو جسم، باردار می‌شوند، ولی بار دو جسم، ناهمنام است. با این روش هم اجسام رسانا و هم اجسام نارسانا را می‌توانیم باردار کنیم.

به عنوان مثال اگر پارچهٔ پشمی و میلهٔ پلاستیکی را به یکدیگر مالش دهیم، پارچهٔ پشمی، الکترون از دست داده و بار آن مثبت می‌شود و میلهٔ پلاستیکی، الکترون دریافت کرده و بار آن منفی می‌شود و یا اگر میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم، شیشه الکترون از دست داده و بار آن مثبت می‌شود و ابریشم الکترون دریافت کرده و بار آن منفی می‌شود.

نکته در روش مالش یکی از جسم‌ها دارای بار مثبت و جسم دیگر دارای بار منفی می‌شود و اندازهٔ بار آن‌ها نیز یکسان است.

نکته نوع باری که دو جسم مختلف بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آن‌ها بستگی دارد.

نکته روش مالش بهترین و راحت‌ترین روش برای باردار کردن اجسام نارسانا است.

سری الکتریسیتهٔ مالشی
انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
نایلون
پشم
موی گربه
سُرب
ابریشم
آلومینیم
پوست انسان
کاغذ
چوب
پارچه کتان
کهربا
برنج، نقره
پلاستیک، پلی‌اتیلن
لاستیک
تفلون
انتهای منفی سری

افزایش الکترون‌خواهی

سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک)

برای تعیین نوع بار اجسام بر اثر مالش، از جدولی موسوم به سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک؛ Tribo در زبان یونانی به معنای مالش است.) استفاده می‌شود. در این جدول، اجسام را از نظر خاصیت الکترون‌خواهی مرتب کرده‌اند. هر چه جسم به انتهای منفی سری نزدیک‌تر باشد، بر اثر مالش قدرت الکترون‌گیری بیش‌تری دارد. به عنوان مثال اگر لاستیک با پشم مالش داده شود، لاستیک از پشم الکترون می‌گیرد و بار خالص لاستیک، منفی و بار خالص پشم، مثبت می‌شود.

راستی نگران نباشین! لازم نیست این جدول رو حفظ کنین.

سؤال **چهار جسم در سری تریبوالکتریک مطابق شکل مقابل قرار دارند. جسم B را به طور جداگانه با جسم‌های A و C مالش می‌دهیم. در هر حالت بار جسم‌ها را تعیین کنید.**

انتهای منفی سری
A
B
C
D
انتهای مثبت سری

پاسخ هر جسمی که به انتهای منفی سری نزدیک‌تر باشد، در مالش، الکترون دریافت می‌کند. در اثر مالش جسم‌های A و B، جسم A دارای بار منفی و جسم B دارای بار مثبت می‌شود و در اثر مالش جسم‌های B و C، جسم B دارای بار منفی و جسم C دارای بار مثبت می‌شود.

تماس

اگر جسم رسانای خنثی را به جسم رسانای باردار تماس دهیم، جسم خنثی به طور همنام با جسم باردار، دارای بار الکتریکی می‌شود.

نکته برای انتقال بار با استفاده از روش تماس، باید دو جسم، رسانا باشند.

نکته مجموع بار الکتریکی دو جسم، قبل و بعد از تماس، برابر است:

$$q_1 + q_2 = q_1' + q_2'$$

نکته اگر دو کرهٔ فلزی و هم‌اندازه (یعنی دو کرهٔ مشابه) دارای بارهای q_1 و q_2 باشند، پس از تماس، بار کره‌ها برابر یکدیگر می‌شود و مقدار بار هر کدام از کره‌ها پس از تماس از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

در این رابطه q_1 و q_2 با علامت قرار داده می‌شوند.

سؤال **دو کرهٔ رسانای مشابه و هم‌اندازه دارای بارهای $q_1 = -2\mu C$ و $q_2 = +10\mu C$ هستند. اگر دو کره را با هم تماس داده و جدا کنیم، بار نهایی هر کره چند میکروکولن می‌شود؟**

پاسخ اگر کره‌ها هم‌اندازه باشند، بار نهایی کره‌ها یکسان می‌شود، بنابراین:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{-2 + 10}{2} = +4\mu C$$

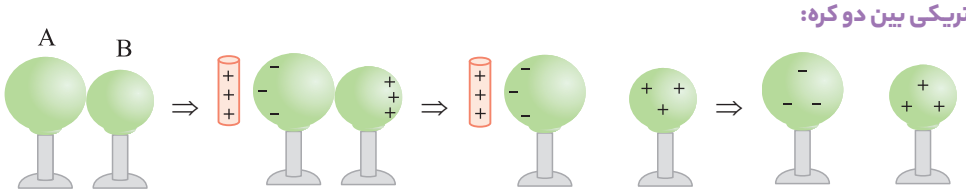
القا

می‌دانیم بارهای همنام یک‌دیگر را دفع و بارهای ناهمنام یک‌دیگر را جذب می‌کنند، این موضوع اساس پدیدهٔ القای بار الکتریکی است. در این روش بدون این‌که بین جسم باردار و جسم خنثی تماسی برقرار شود، جسم خنثی را باردار می‌کنند. در واقع القای بارالکتریکی جابه‌جا شدن بار الکتریکی درون یک جسم در اثر نیروی جاذبه یا دافعهٔ الکتریکی است. از این روش بیشتر برای باردار کردن اجسام رسانا استفاده می‌شود.

توجه پدیدهٔ القای الکتریکی در همهٔ اجسام چه رسانا و چه نارسانا رخ می‌دهد ولی در اجسام رسانا به واسطهٔ حضور الکترون‌های آزاد، شدیدتر است.

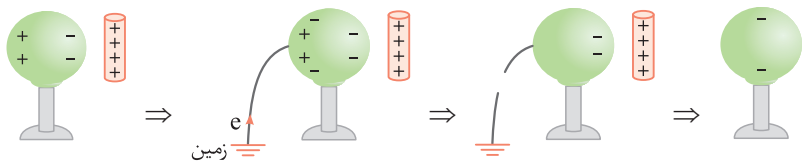
با رسم شکل، روش القا را یادآوری می‌کنیم:

آ القای بار الکتریکی بین دو کره:



توجه بارهای ایجادشده در این روش در دو کره، هم‌اندازه هستند و به اندازه و شکل اجسام رسانا بستگی ندارند.

ب القای بار الکتریکی در یک کره:

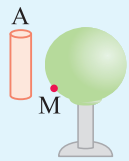


نکته در روش (ب) بار ایجادشده در کره، همیشه مخالف بار میله می‌باشد، زیرا به زمین متصل است و زمین مانند جسم بزرگی است که در صورت لزوم می‌تواند الکترون بگیرد و یا الکترون از دست بدهد.

می‌تونیم به جای اینکه کره رو با سیم به زمین وصل کنیم، انگشت خودمون رو به کره بزنیم. راستی یادتون باشه فرقی نمی‌کنه انگشت دستتون رو به کجای کره می‌زنین.

سؤال **سه جسم در سری تریبوالکتریک مطابق شکل زیر قرار دارند. جسم‌های A و C را با یکدیگر مالش می‌دهیم، سپس جسم A را به کرهٔ رسانا و خنثی نزدیک می‌کنیم و انگشت دست را به نقطهٔ M متصل می‌کنیم و در نهایت انگشت را جدا کرده و جسم A را دور می‌کنیم. بار نهایی کرهٔ رسانا را تعیین کنید.**

انتهای مثبت سری
A
B
C
انتهای منفی سری



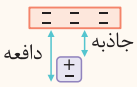
پاسخ با توجه به سری تریبوالکتریک در هنگام مالش، جسم A دارای بار مثبت می‌شود. با نزدیک کردن جسم A به کرهٔ رسانا و تماس انگشت دست به نقطهٔ M، بارهای منفی از دست (زمین) به کره منتقل می‌شوند، بنابراین بار نهایی کره، منفی است.

توجه محل اتصال دست به کره تأثیری در بار نهایی کره ندارد.

نکته در القای بار الکتریکی همیشه جسم القاکننده و جسم القاشونده یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

سؤال **اگر خطکش باردار را به یک قطعه فویل آلومینیم بسیار سبک نزدیک کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟**

پاسخ فرض کنید بار خطکش، منفی است. با نزدیک کردن خطکش به فویل آلومینیمی، القای بار (جدا شدن بارهای مثبت و منفی) در فویل رخ می‌دهد. جاذبهٔ بین خطکش و قسمت مثبت فویل بیش‌تر از دافعهٔ بین خطکش و قسمت منفی فویل است، بنابراین فویل جذب خطکش می‌شود.



پس از تماس خطکش با فویل، مقداری بار منفی به فویل منتقل می‌شود و پس از همنام شدن بار فویل و خطکش، دافعه‌ای بین آن‌ها ایجاد می‌شود و باعث دفع فویل می‌شود.

سؤال **چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی ظرف می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می‌ماند؟**
(پرسش ۱-۱ صفحهٔ ۳ کتاب درسی)

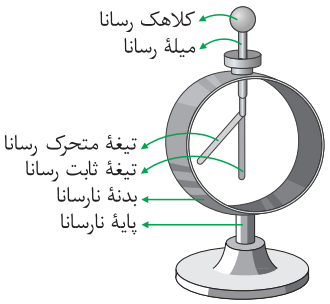
پاسخ وقتی روکش پلاستیکی غذا را روی ظرف پلاستیک می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت می‌ماند. از این روش در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. روکش پلاستیکی (سلوفان) از مواد پلیمری ساخته شده است. این مواد در تماس با دست انسان، بار الکتریکی منفی پیدا می‌کنند و می‌توانند در سطح ظرف، بار مثبت القا کنند، بنابراین نیروی جاذبهٔ بین بارهای مثبت و منفی باعث ایجاد جاذبه می‌شود. با توجه به نارسانا بودن روکش و ظرف، باری بین این دو مبادله نمی‌شود، چراکه اگر بار بین این دو مبادله می‌شد، بارهای آن‌ها همنام می‌شدند و یکدیگر را دفع می‌کردند.

توجه هنگامی که سلوفان را باز می‌کنید، در اثر تماس دو لایهٔ مختلف از سلوفان، آن‌ها باردار می‌شوند و به هم می‌چسبند.

باردار کردن توسط برف: بنابه دلایل مختلفی، دانه‌های برف در حین سقوط در هوا باردار می‌شوند. حال اگر یک صفحهٔ توری فلزی را توسط پایه‌های نارسانا نگه داریم، در اثر تماس دانه‌های باردار برف با توری، بار به توری منتقل شده و توری باردار می‌شود.

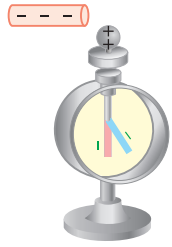
ج الکتروسکوپ

وسیله‌ای است که برای بررسی ماهیت الکتریکی مواد استفاده می‌شود و مطابق شکل زیر از یک کلاهک رسانا و ورقه‌های فلزی تشکیل شده است که درون محفظه‌ای قرار گرفته‌اند.

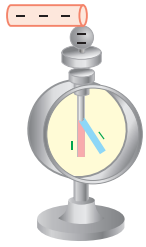


کاربردهای الکتروسکوپ

۱ تشخیص باردار بودن جسم: مطابق شکل‌های زیر با نزدیک کردن یا تماس جسم با کلاهک الکتروسکوپ خنثی به باردار بودن جسم پی می‌بریم. اگر جسم باردار را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنید و یا با کلاهک الکتروسکوپ خنثی تماس دهید، ورقه‌های الکتروسکوپ از یکدیگر فاصله می‌گیرند.



اگر میله با بار منفی کنار کلاهک الکتروسکوپ نگه داشته شود، بارهای منفی و مثبت کلاهک الکتروسکوپ تفکیک شده و الکترون‌ها به سمت ورقه‌ها دفع می‌شوند و بار ورقه‌ها همنام شده و از هم فاصله می‌گیرند.

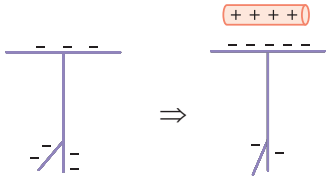


اگر میله با بار منفی با کلاهک الکتروسکوپ خنثی تماس داده شود، بار کلاهک و ورقه‌های الکتروسکوپ نیز منفی می‌شود، در نتیجه بار ورقه ها همنام شده و از هم فاصله می‌گیرند.

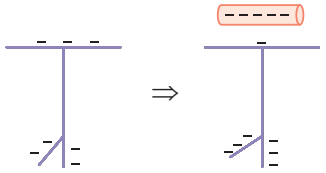
۲ مقایسهٔ بار دو جسم باردار: اگر اجسام باردار را نزدیک کلاهک الکتروسکوپ نگه داریم، هرچه فاصلهٔ بین تیغه‌ها بیش‌تر باشد، آن‌گاه بار جسم بیش‌تر است. توجه کنید که در این حالت باید دو جسم را در یک فاصله از کلاهک الکتروسکوپ نگه داریم تا بتوان از روی فاصلهٔ بین تیغه‌ها از هم، اندازهٔ بار اجسام را با هم مقایسه کرد.

نکته با استفاده از یک الکتروسکوپ نمی‌توان اندازهٔ بار یک جسم را اندازه‌گیری کرد.

۳ تشخیص نوع بار: ابتدا الکتروسکوپ را با بار مشخص (مثبت یا منفی) باردار می‌کنیم. سپس جسم باردار را نزدیک کلاهک الکتروسکوپ نگه می‌داریم، اگر فاصلهٔ بین ورقه‌های الکتروسکوپ بیش‌تر شود، آن‌گاه بار جسم، همنام با بار الکتروسکوپ است و اگر فاصلهٔ بین ورقه‌ها کم‌تر شود، آن‌گاه بار جسم، ناهمنام با بار الکتروسکوپ است.



اگر میله‌ای با بار مثبت را به کلاهک یک الکتروسکوپ باردار با بار منفی نزدیک کنیم، میله با بار مثبت، بارهای منفی ورقه‌ها را به سمت بالا جذب می‌کند، بنابراین بار روی ورقه‌ها کم‌تر شده و فاصلهٔ بین ورقه‌ها کاهش می‌یابد.



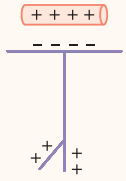
اگر میله‌ای با بار منفی را به کلاهک یک الکتروسکوپ با بار منفی نزدیک کنیم، میله با بار منفی، بارهای منفی کلاهک را به سمت ورقه‌ها دفع می‌کند، بنابراین بار روی ورقه‌ها بیشتر شده و فاصلهٔ بین ورقه‌ها افزایش می‌یابد.

! نکته الکتروسکوپ را مانند یک جسم رسانا می‌توانیم با روش‌های تماس یا القا باردار کنیم. فقط دقت کنید که اگر الکتروسکوپ با روش القا باردار شده باشد، بار الکتروسکوپ مخالف بار القاکننده است و اگر الکتروسکوپ به روش تماس باردار شده باشد، بار الکتروسکوپ، همنام با بار القاکننده است.

۴ تشخیص رسانا بودن یا نارسانا بودن یک جسم: یک سر جسم را در دستمان (بدون دستکش) گرفته و سر دیگر آن را به کلاهک یک الکتروسکوپ باردار تماس می‌دهیم. اگر ورقه‌های الکتروسکوپ خیلی سریع به هم بچسبند، جسم موردنظر رسانا است و اگر زاویهٔ بین ورقه‌های الکتروسکوپ تغییری نکند، پس جسم موردنظر نارسانا است.

سؤال **میله‌ای با بار مثبت را نزدیک کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نگه می‌داریم، بار کلاهک، بار ورقه‌ها و بار کل الکتروسکوپ چگونه است؟**

پاسخ اگر میله با بار مثبت را نزدیک کلاهک الکتروسکوپ خنثی نگه داریم، در اثر القای بار الکتریکی بارهای منفی به سمت کلاهک جذب می‌شوند، بنابراین بار کلاهک، منفی و بار ورقه‌ها مثبت می‌شوند و بار کل الکتروسکوپ، صفر باقی می‌ماند.



د پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

در مورد بارهای الکتریکی، دو اصل وجود دارد: **۱ اصل پایستگی بار الکتریکی** **۲ اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی**

اصل پایستگی بار الکتریکی

این اصل بیان می‌کند که **مجموع جبری همهٔ بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی (دستگاهی که با محیط اطراف خود بار الکتریکی مبادله نمی‌کند.)، ثابت است**، یعنی بار الکتریکی می‌تواند از یک جسم به جسم دیگر منتقل شود، ولی نمی‌تواند به‌وجود آید و یا از بین برود. آن‌چه باعث می‌شود که در یک جسم، بار مثبت و در جسم دیگر بار منفی به وجود آید، انتقال الکترون از یک جسم به جسم دیگر است.

به عنوان مثال اگر هنگام شانه کردن مو، تعداد 10^{7} الکترون در شانه اضافه شود، به همین تعداد یعنی 10^{7} الکترون از موی سر کم شده است.

اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی

اگر جسم خنثی الکترون به دست آورد یا از دست بدهد، همواره بار الکتریکی جسم، مضرب درستی (صحیحی) از بار بنیادی e (بار یک الکترون یا یک پروتون) است.

اگر بار جسم را با نماد q نمایش دهیم که یکای آن در SI برابر کولن (C) است و مقدار بار بنیادی را با نماد e نمایش دهیم که مقدار آن برابر $1/6 \times 10^{-19}\,C$ است، آن‌گاه اصل کوانتیده بودن بار را به‌صورت زیر می‌نویسیم:

$$q = \pm ne \;,\; n = 0,1,2,\ldots$$

! نکته اندازهٔ بار الکتریکی هر پروتون دقیقاً برابر با اندازهٔ بار الکتریکی هر الکترون است. مقدار بار الکتریکی یک پروتون برابر با $1/6 \times 10^{-19}\,C$ و مقدار بار الکتریکی یک الکترون برابر با $-1/6 \times 10^{-19}\,C$ است. مقدار $1/6 \times 10^{-19}\,C$ را بار پایه می‌گوییم و آن را با نماد e نشان می‌دهیم. دقت کنید که نماد e فقط اندازهٔ بار الکتریکی پروتون و الکترون را نشان می‌دهد و نوع بار آن‌ها را تعیین نمی‌کند.

سؤال در آذرخش حدود $10\,C$ بار الکتریکی به زمین منتقل می‌شود. چه تعداد الکترون به زمین منتقل شده است؟ $(e = 1/6 \times 10^{-19}\,C)$

پاسخ از اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی استفاده می‌کنیم:

$$q = ne \Rightarrow 10 = n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = \frac{10}{1/6 \times 10^{-19}} = 6/25 \times 10^{19}$$

سؤال کدام‌یک از مقدارهای زیر می‌تواند بار الکتریکی یک جسم بر حسب کولن باشد؟ $(e = 1/6 \times 10^{-19}\,C)$

آ) $q_1 = 2/4C$ ب) $q_2 = 16 \times 10^{-18}\,C$ پ) $q_3 = 4/8 \times 10^{-20}\,C$

پاسخ با توجه به ویژگی کوانتیده بودن بار الکتریکی، تعداد الکترون‌های جابه‌جاشده را محاسبه می‌کنیم. اگر n عدد صحیح باشد، آن‌گاه چنین باری وجود دارد.

آ) $n = \frac{q}{e} \Rightarrow n_1 = \frac{2/4}{1/6 \times 10^{-19}} = 1/5 \times 10^{19}$ (✓)

ب) $n = \frac{q}{e} \Rightarrow n_2 = \frac{16 \times 10^{-18}}{1/6 \times 10^{-19}} = 100$ (✓)

پ) $n = \frac{q}{e} \Rightarrow n_3 = \frac{4/8 \times 10^{-20}}{1/6 \times 10^{-19}} = 0/3$ (×)

سؤال با توجه به اتم روی (Zn_{30})، بار الکتریکی خواسته‌شده در هر قسمت را محاسبه کنید. $(e = 1/6 \times 10^{-19}\,C)$ (مشابه تمرین ۱-۱ صفحهٔ ۴ کتاب درسی)

آ) بار الکترون‌ها ب) بار هسته پ) بار اتم

پاسخ اگر عدد اتمی $Z = 30$ باشد مفهوم آن این است که در حالت خنثی، هسته ۳۰ پروتون دارد و ۳۰ الکترون نیز به دور هسته می‌چرخند.

آ) $q_e = -ne = -30 \times 1/6 \times 10^{-19} = -4/8 \times 10^{-18}\,C$

ب) $q_p = +ne = +30 \times 1/6 \times 10^{-19} = +4/8 \times 10^{-18}\,C$

پ) بار خالص اتم در حالت خنثی، صفر است.

بسته ۱

پرسش‌های تشریحی

بار الکتریکی

عبارت مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید و جاهای خالی را تکمیل کنید.

۱. بار الکتریکی موجود در اجسام، کمیتی ..... (کوانتیده - پیوسته) است.

۲. طبق اصل ..... (کوانتیده بودن بار الکتریکی - پایستگی بار الکتریکی) مجموع بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی، ثابت است.

۳. طبق اصل ..... (کوانتیده بودن بار الکتریکی - پایستگی بار الکتریکی)، همواره بار الکتریکی مشاهده‌شدهٔ یک جسم، مضرب درستی از بار بنیادی e است.

۴. طبق اصل ..... (کوانتیده بودن بار الکتریکی - پایستگی بار الکتریکی)، بار الکتریکی می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

۵. در یک اتم خنثی جمع جبری همهٔ بارها (بار خالص) ..... (دقیقاً برابر صفر - مخالف صفر) است.

۶. در سری الکتریسیتهٔ مالشی هر چه به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر شویم ..... (الکترون‌دهی - الکترون‌خواهی) مواد بیش‌تر می‌شود.

۷. پس از مالش دو جسم به یکدیگر، بار دو جسم ..... (هم‌اندازه - متفاوت) و ..... (همنام - ناهمنام) خواهد شد.

۸. در روش القای بار الکتریکی، بار دو جسم در نهایت ..... (ناهمنام - همنام) است.

۹. در باردارکردن اجسام به روش تماس، بار نهایی دو جسم ..... (همنام - ناهمنام) است.

۱۰. وقتی دو خط‌کش پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم، آن دو خط‌کش پس از مالش یکدیگر را ..... (دفع - جذب) می‌کنند.

۱۱. هنگامی که میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم، تعداد الکترون‌های پارچهٔ پشمی ..... (کاهش - افزایش) می‌یابند.

۱۲. وقتی یک الکتروسکوپ باردار از اجسام باردار دیگر دور باشد، بار کلاهک و بار تیغه‌های آن ..... (همنام - ناهمنام) هستند.

۱۳. هنگامی که یک میله با بار مثبت را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک کنیم، بار تیغه‌ها ..... (مثبت - منفی) می‌شود.

۱۴. اگر با نزدیک کردن میلهٔ باردار به کلاهک الکتروسکوپ باردار، فاصلهٔ تیغه‌ها افزایش یافت، بار میله و بار الکتروسکوپ ..... (همنام - ناهمنام) بوده است.

۱۵. اگر با نزدیک کردن میلهٔ باردار به کلاهک الکتروسکوپ باردار، فاصله‌های تیغه‌ها کاهش یافت، بار میله و بار الکتروسکوپ ..... (همنام - ناهمنام) بوده است.

● درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را مشخص کنید.

۱۶. بارالکتریکی یک جسم همواره مضرب درستی از بار بنیادی e است.

۱۷. با مالش دو جسم به یک‌دیگر، دو جسم دارای بارهای مشابه می‌شوند.

۱۸. برای تشخیص باردار بودن یک جسم و نوع بار آن از مولد وان‌دوگراف استفاده می‌شود.

۱۹. بارالکتریکی موجود در اجسام، کمیتی کوانتیده است.

۲۰. اگر جمع جبری بارهای یک دستگاه منزوی، صفر شود، آن دستگاه از نظر الکتریکی، باردار است.

۲۱. یک کولن، مقدار بار کوچکی است.

۲۲. با استفاده از الکتروسکوپ می‌توانیم رسانا بودن یا نارسانا بودن یک جسم را مشخص کنیم.

۲۳. در باردارکردن اجسام با روش تماس، بار دو جسم در نهایت هم‌اندازه و همنام است.

۲۴. در باردارکردن اجسام به روش مالش، بار الکتریکی جسمی که الکترون خواهی کم‌تری دارد، مثبت می‌شود.

۲۵. طبق اصل پایستگی بار الکتریکی، بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود.

۲۶. در القای بار الکتریکی، همیشه جسم القاکننده و القاشونده یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

● به سؤالات زیر پاسخ دهید.

۲۷. در مورد بار الکتریکی چند اصل وجود دارد؟ آن‌ها را نام ببرید.

۲۸. اصل پایستگی بار الکتریکی را تعریف کنید.

۲۹. اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی را تعریف کنید.

۳۰. با توجه به سری الکتریسیتهٔ مالشی مقابل، اگر جسمی از نوع مادهٔ B را با جسمی از نوع مادهٔ C مالش دهیم، نوع بار الکتریکی آن‌ها چه خواهد شد؟ چرا؟

انتهای مثبت سری
A
B
C
D
انتهای منفی سری

۳۱. یک میلهٔ شیشه‌ای خنثی را با پارچهٔ ابریشمی خنثی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میلهٔ شیشه‌ای برابر $+6/4\,nC$ می‌شود:

(مشابه تمرین ۱ صفحهٔ ۳۶ کتاب درسی)

آ) بار الکتریکی ایجادشده در پارچهٔ ابریشمی چند نانوکولن است؟ چرا؟

ب) الکترون‌ها از چه جسمی به چه جسمی منتقل شده‌اند؟ تعداد آن‌ها را محاسبه کنید. $(e = 1/6 \times 10^{-19}\,C)$

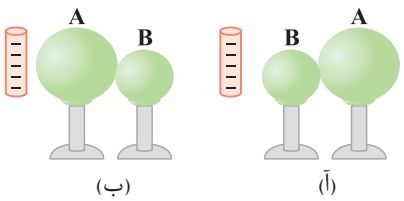
۳۲. با توجه به سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک) مقابل، اگر یک میله از جنس تفلون و خنثی را با موی انسان مالش دهیم و در اثر این مالش، 5×10^{10} الکترون بین این دو مبادله شود، بار الکتریکی میلهٔ تفلونی چند نانوکولن خواهد شد؟ $(e = 1/6 \times 10^{-19}\,C)$

انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
نایلون
⋮
پلاستیک
لاستیک
تفلون
انتهای منفی سری

۳۳. جسم‌های A و B به ترتیب دارای بارهای مثبت و منفی هستند و جسم C خنثی است. نوع نیروی میان دو جسم از نظر جاذبه و دافعه را در هر قسمت مشخص کنید.

آ) جسم‌های A و B ب) جسم‌های B و C پ) جسم‌های A و C

۳۴. در هر دو شکل زیر، ابتدا کره‌های فلزی A و B که روی پایه‌های عایق قرار دارند و از قبل خنثی بودند، از هم جدا کرده و سپس میله را از آن‌ها دور می‌کنیم. در هر شکل اندازهٔ بار القاشده در کرهٔ A را با بار القا شده در کرهٔ B مقایسه کنید.



(ب) (آ)

۳۵. با یک الکتروسکوپ باردار مثبت هرکدام ازکارهای زیر را چگونه می‌توان انجام داد؟

آ) تشخیص نوع بار یک جسم باردار

ب) رسانا یا نارسانا بودن جسم

۳۶. بار الکتریکی جسمی برابر $-۶۴\,nC$ است. این جسم چه تعداد الکترون اضافی گرفته است؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

۳۷. عدد اتمی آهن ۲۶ و بار الکتریکی الکترون $۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C$ است: (مشابه تمرین ۱-۱ صفحهٔ ۴ کتاب درسی)

آ) بار الکتریکی هستهٔ اتم آهن چند کولن است؟

ب) اتم آهن چند کولن بار الکتریکی منفی دارد؟

پ) بار الکتریکی اتم آهن چند کولن است؟

۳۸. بار الکتریکی هستهٔ اتم کربن $(^{۱۲}_{۶}C)$ چند پیکوکولن است؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

۳۹. بار الکتریکی اتم هلیم یک بار یونیده (He^{+}) چند کولن است؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

۴۰. بار الکتریکی اتم لیتیم دوبار یونیده $(Li^{۲+})$ چند کولن است؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

۴۱. جسمی رسانا با بار $+۳\,nC$ چه تعداد الکترون مبادله کند تا بار آن $-۵\,nC$ شود؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

۴۲. کدام‌یک از موارد زیر نمی‌تواند بارالکتریکی یک جسم برحسب کولن باشد؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

آ) $۲/۴$ ب) ۱۶×۱۰^{-۱۸} پ) $۴/۸ \times ۱۰^{-۲۰}$ ت) ۳۲×۱۰^{-۵}

۴۳. سه جسم باردار A، B و C فقط با هم بارالکتریکی مبادله می‌کنند. اگر تغییرات بارالکتریکی جسم A برابر با $-۵\mu C$ و تغییرات بارالکتریکی جسم B برابر با $+۴\mu C$ باشد، تغییرات بارالکتریکی جسم C چند میکروکولن است؟

بسته دوم

قانون کولن

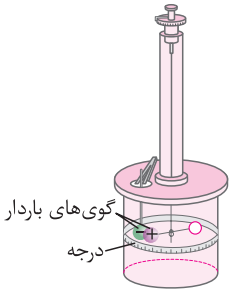
صفحه ۵ تا ۱۰ کتاب درسی

الف نیروی الکتریکی

اجسام باردار به یکدیگر نیروی جاذبه یا دافعه وارد می‌کنند که به آن **نیروی الکتریکی** می‌گویند. اگر بار دو جسم، همنام باشد این نیروی الکتریکی از نوع دافعه و اگر بار دو جسم، ناهمنام باشد این نیروی الکتریکی از نوع جاذبه است.

دانشمند فرانسوی، شارل آگوستین کولن با استفاده از یک ترازوی پیچشی، عوامل مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذرهٔ باردار که اصطلاحاً بار نقطه‌ای خوانده می‌شود را مشخص کرد. نتیجهٔ آزمایش‌های او امروز با نام قانون کولن شناخته می‌شود.

ترازوی پیچشی کولن

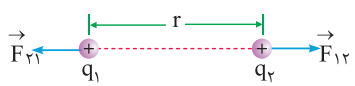


مطابق شکل مقابل، گلوله‌ای با بار مثبت به یک سر یک میلهٔ نارسانای سبک و افقی متصل شده است و این میلهٔ افقی از وسط توسط یک رشته سیم نازک و کشسان آویخته شده است. گلولهٔ دیگری با بار منفی را از نخی آویزان کرده و از حفره‌ای که در بالا وجود دارد، به داخل محفظه می‌برند.

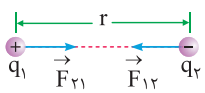
نیروی ربایش بین این گلوله با گلولهٔ دارای بار مثبت سبب پیچش سیم متصل به میلهٔ افقی می‌شود و این پیچش آن قدر ادامه می‌یابد تا گلوله با بار مثبت به تعادل برسد. حال با توجه به درجه‌هایی که بر سطح استوانهٔ شیشه‌ای (محفظه) درج شده است، زاویهٔ چرخش میله را اندازه‌گیری می‌کنیم و از روی زاویهٔ چرخش، نیرویی را که به گلولهٔ دارای بار مثبت وارد شده است، محاسبه می‌کنیم. کولن توانست با چنین آزمایشی یک رابطه برای محاسبهٔ اندازهٔ نیروی الکتروستاتیکی به‌دست آورد.

ب قانون کولن

اگر دو بارالکتریکی نقطه‌ای $q_۱$ و $q_۲$ در فاصلهٔ r از یکدیگر قرار گیرند، مطابق شکل‌های زیر به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند:



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



ب) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ناهمنام، رابشی است.

نکته برای رسم بردار نیروی الکتریکی که دو بار به یک‌دیگر وارد می‌کنند، ابتدا خط واصل بین دو بار را رسم می‌کنیم و با توجه به این‌که دو بار همنام هستند یا ناهمنام، بردار نیرو را در امتداد خط واصل بین دو بار رسم می‌کنیم.

$\vec{F}_{۱۲}$ نیرویی است که بار $q_۱$ به بار $q_۲$ وارد می‌کند و $\vec{F}_{۲۱}$ نیرویی است که بار $q_۲$ به بار $q_۱$ وارد می‌کند. نیروی الکتریکی که بارها به هم وارد می‌کنند، عمل و عکس‌العمل (کنش و واکنش) هستند، بنابراین:

۱ این دو نیرو همیشه خلاف جهت هم هستند. $(\vec{F}_{۱۲} = -\vec{F}_{۲۱})$

۲ راستای این دو نیرو در راستای خطی است که دو ذره را به هم متصل می‌کند.

۳ اندازهٔ این دو نیرو همیشه با هم برابر است. $(|F_{۱۲}| = |F_{۲۱}|)$

نکته نیروهای $\vec{F}_{۱۲}$ و $\vec{F}_{۲۱}$ هم‌اندازه و در خلاف جهت هم هستند ولی نمی‌توانند یک‌دیگر را خنثی کنند، زیرا این دو نیرو به دو ذرهٔ متفاوت وارد می‌شوند و قابل برایندگیری نیستند.

قانون کولن

بزرگی نیروی الکتریکی ربایشی و رانشی بین دو ذرهٔ باردار $q_۱$ و $q_۲$ که در فاصلهٔ r از یکدیگر قرار دارند، با حاصل‌ضرب اندازهٔ بار دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ بین دو ذره از هم، نسبت وارون دارد:

$$\underbrace{F_{۱۲} = F_{۲۱} = F}_{\text{قانون سوم نیوتون}} \Rightarrow F = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}$$

$|q_۱|$ و $|q_۲|$: اندازهٔ بار دو جسم بر حسب کولن (C) و r: فاصلهٔ بین دو ذره بر حسب متر (m) و k: ثابت کولن (الکتروستاتیکی) بر حسب

$$(k = ۸/۹۸ \times ۱۰^۹ \simeq ۹ \times ۱۰^۹)\ \frac{N.m^۲}{C^۲}$$

ثابت کولن (k) را بر حسب ضریب ثابت دیگری به نام **ضریب گذردهی الکتریکی خلأ** $(\varepsilon_۰)$ بیان می‌کنند که برابر است با:

$$k = \frac{۱}{۴\pi\varepsilon_۰},\ \varepsilon_۰ = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}\ \frac{C^۲}{N.m^۲}$$

سؤال **دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_۱ = ۳\mu C$ و $q_۲ = -۶\mu C$ در فاصلهٔ $۳۰\,cm$ از یکدیگر ثابت شده‌اند:**

آ **اندازهٔ نیرویی که بار $q_۱$ به بار $q_۲$ وارد می‌کند، بزرگ‌تر است یا اندازهٔ نیرویی که بار $q_۲$ به بار $q_۱$ وارد می‌کند؟**

ب **اندازهٔ نیرویی را که این دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند، چند نیوتون است؟** $\left(k = ۹ \times ۱۰^۹\ \frac{N \cdot m^۲}{C^۲}\right)$

پاسخ آ طبق قانون سوم نیوتون، اندازهٔ نیرویی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند، با هم برابرند:

$$F_{۱۲} = F_{۲۱}$$

ب از قانون کولن استفاده می‌کنیم:

$$F = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲} = ۹ \times ۱۰^۹ \times \frac{۳ \times ۱۰^{-۶} \times ۶ \times ۱۰^{-۶}}{(۳۰)^۲ \times ۱۰^{-۴}} = ۱/۸N$$

سؤال **دو ذرهٔ باردار $q_۱$ و $q_۲$ در محل خود ثابت شده‌اند. اگر $\vec{F}_{۲۱}$ در جهت مثبت محور xها باشد، $\vec{F}_{۱۲}$ در کدام جهت است؟**

پاسخ طبق قانون سوم نیوتون، نیروها در یک راستا ولی جهت نیروها خلاف یکدیگر است، بنابراین اگر یکی از نیروها در جهت مثبت محور xها باشد، نیروی دیگر در جهت منفی محور xها خواهد بود.

سؤال در هریک از حالت‌های زیر اندازهٔ نیروی بین دو ذرهٔ باردار چند برابر می‌شود؟

آ) فاصلهٔ بین بارها دو برابر شود. ب) فاصلهٔ بین بارها نصف شود.

پ) فقط اندازهٔ یکی از بارها دو برابر شود. ت) اندازهٔ هر یک از بارها دو برابر شود.

پاسخ آ)
$$F \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \xrightarrow{r_2 = 2r_1} \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

ب)
$$F \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \xrightarrow{r_2 = \frac{1}{2}r_1} \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{1}{\frac{1}{2}}\right)^2 = 4$$

پ)
$$F \propto |q_1||q_2| \xrightarrow[\text{ثابت: } |q_2|]{|q_1'| = 2|q_1|} \frac{F'}{F} = \frac{2|q_1|}{|q_1|} = 2$$

ت)
$$F \propto |q_1||q_2| \xrightarrow[|q_2'| = 2|q_2|]{|q_1'| = 2|q_1|} \frac{F'}{F} = \frac{2|q_1| \times 2|q_2|}{|q_1||q_2|} = 4$$

سؤال دو بار الکتریکی نقطه‌ای هم‌اندازهٔ q در فاصلهٔ معینی از یکدیگر قرار دارند. اگر نیمی از بار یکی را برداشته و به دیگری اضافه کنیم، اندازهٔ نیروی الکتریکی بین دو بار در همان فاصله، در هریک از حالات زیر چند برابر می‌شود؟

آ) بارها همنام باشند. ب) بارها ناهمنام باشند.

پاسخ آ) اگر بارها همنام باشند و نیمی از بار ذرهٔ اول را برداریم و به ذرهٔ دوم بدهیم، آن‌گاه بار ذرهٔ اول به $\frac{1}{2}q$ و بار ذرهٔ دوم به $\frac{3}{2}q$ می‌رسد.

$$\frac{F'}{F} = \frac{k\frac{|\frac{1}{2}q||\frac{3}{2}q|}{r^2}}{k\frac{|q|^2}{r^2}} = \frac{3}{4}$$

ب) اگر بارها ناهمنام باشند و نیمی از بار ذرهٔ اول را برداریم، آن‌گاه بار آن به $\frac{1}{2}q$ می‌رسد و اگر این نصف بار را به ذرهٔ دوم اضافه کنیم، با توجه به ناهمنام بودن بارها، نصف بار ذرهٔ دوم هم خنثی می‌شود و اندازهٔ بار ذرهٔ دوم نیز به $\frac{1}{2}q$ می‌رسد.

$$\frac{F'}{F} = \frac{k\frac{|\frac{q}{2}||\frac{q}{2}|}{r^2}}{k\frac{|q|^2}{r^2}} = \frac{1}{4}$$

سؤال دو کرهٔ فلزی مشابه و هم‌اندازه که روی پایه‌های عایق قرار دارند، دارای بارهای الکتریکی $q_1 = 12\mu C$ و $q_2 = -2\mu C$ می‌باشند. اگر این دو کره را با هم تماس داده و سپس از هم جدا کنیم و در همان فاصلهٔ قبل قرار دهیم، اندازهٔ نیروی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟

پاسخ با توجه به مشابه بودن کره‌ها، بار جدید کره‌ها به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

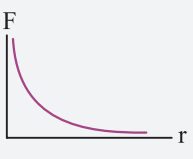
$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{12 + (-2)}{2} = 5\mu C$$

حال با توجه به رابطهٔ کولن، نسبت اندازهٔ نیروها را می‌نویسیم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q_1'||q_2'|}{|q_1||q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{5 \times 5}{12 \times 2} \times 1 = \frac{25}{24}$$

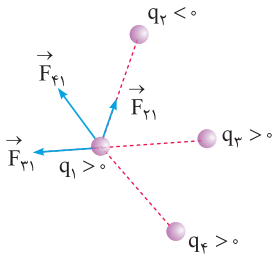
نکته از ریاضیات می‌دانیم وقتی مجموع دو کمیت، ثابت باشد، حاصل‌ضرب آن دو کمیت، زمانی بیشینه می‌شود که آن دو کمیت با هم برابر باشند. بنابراین در سؤال قبل، بعد از تماس دو کرهٔ فلزی با یکدیگر و برابر شدن بار دو کره، نیروی بین دو کره بیشینه می‌شود.

نکته با توجه به رابطهٔ قانون کولن، اندازهٔ نیروی بین دو بار با مربع فاصلهٔ بین دو بار نسبت عکس دارد، بنابراین نمودار اندازهٔ نیروی الکتریکی بین دو ذرهٔ باردار برحسب فاصلهٔ بین آن‌ها به شکل زیر است:



ج اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی

آزمایش نشان می‌دهد که اگر تعدادی ذرهٔ باردار در یک فضا قرار داشته باشند، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برایند نیروهایی است که هر یک از ذره‌ها در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کنند. این موضوع که از آزمایش نتیجه‌گیری شده است را **اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی** می‌گویند. به عنوان مثال، اگر چند ذره مطابق شکل مقابل قرار داشته باشند، نیروهای وارد بر بار q_1 را مطابق شکل رسم کرده و سپس برایندگیری می‌کنیم:



$$\vec{F}_T = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41} : \text{نیروی برایند}$$

مراحل استفاده از اصل برهم‌نهی نیروهای الکتریکی

۱ مطابق شکل بالا نیروهای وارد بر ذرهٔ مورد نظر را طوری رسم کنید که ابتدای هرکدام از نیروها، روی ذرهٔ مورد نظر باشد.

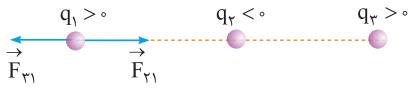
۲ اندازهٔ هر یک از نیروها را با استفاده از قانون کولن محاسبه کنید.

۳ بردار نیروی خالص (نیروی برایند) را رسم کنید. با توجه به جهت نیروها، اندازهٔ بردار برایند را به‌دست آورید.

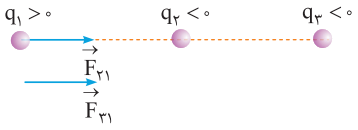
سؤال‌های مربوط به اصل برهم‌نهی به دو دستهٔ کلی تقسیم می‌شوند:

۱ نیروهای الکتریکی روی یک خط باشند

در این حالت راستای نیروی بین ذره‌ها، هم‌راستا با خطی است که ذره‌ها روی آن قرار دارند، بنابراین نیروهای وارد بر هر ذره با هم هم‌جهت یا در خلاف جهت هستند، یعنی در هنگام برایندگیری به ترتیب نیروها با هم جمع یا از هم کم می‌شوند.



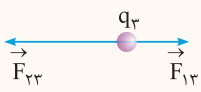
و جهت آن در جهت بردار بزرگ‌تر است. $\vec{F}_1 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{21} \Rightarrow F_1 = |F_{31} - F_{21}|$



و جهت آن هم‌جهت با دو بردار است. $\vec{F}_1 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{21} \Rightarrow F_1 = F_{31} + F_{21}$

سؤال **سه ذرهٔ باردار $q_1 = 2/5\mu C$ ، $q_2 = -1\mu C$ و $q_3 = 4\mu C$ مطابق شکل زیر در مکان خود ثابت شده‌اند. اندازهٔ نیروی وارد بر بار q_3 چند نیوتون و در کدام جهت است؟ $(k = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$**

پاسخ ابتدا نیروهای وارد بر بار q_3 از طرف دو بار دیگر رسم می‌کنیم:



با استفاده از قانون کولن اندازهٔ هرکدام از نیروها را محاسبه می‌کنیم:

$$F_{13} = k\frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = 9\times10^9 \times \frac{2/5\times10^{-6}\times4\times10^{-6}}{6^2\times10^{-4}} = \frac{9\times10^{-2}}{36\times10^{-4}} = \frac{1}{4}\times10^2 = 25N$$

$$F_{23} = k\frac{|q_3||q_2|}{r_{23}^2} = 9\times10^9 \times \frac{4\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{2^2\times10^{-4}} = \frac{9\times4\times10^{-3}}{4\times10^{-4}} = 90N$$

با توجه به این‌که دو نیرو در خلاف جهت هم هستند، باید آن‌ها را از هم کم کنیم:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} \Rightarrow F_T = F_{23} - F_{13} = 90 - 25 = 65N$$

$F_{23} > F_{13}$ است، بنابراین $\vec{F}_T$ هم‌جهت با $\vec{F}_{23}$ و به سمت چپ خواهد بود.

نمایش بردارها بر حسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$: یکی از روش‌های نمایش بردارها استفاده از بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ است. اندازهٔ بردارهای $\vec{i}$ و $\vec{j}$ برابر ۱ واحد است. بردار $\vec{i}$ در جهت محور x‌ها و بردار $\vec{j}$ در جهت محور y ها است. به عنوان مثال اگر بردار با اندازهٔ ۲۰ واحد به سمت مثبت محور x ها باشد، می‌توانیم آن را به‌صورت $20\vec{i}$ نمایش دهیم. اگر بردار با اندازهٔ ۲۰ واحد به سمت منفی محور y ها باشد، می‌توانیم آن را به‌صورت $-20\vec{j}$ نمایش دهیم.

سؤال سؤال قبل را بر حسب بردارهای یکه بنویسید.

پاسخ $\vec{F}_{۱۳}$ به سمت راست و $\vec{F}_{۲۳}$ به سمت چپ است.

$\vec{F}_{۱۳} = +۲۵\,\vec{i}\,(N)$ و $\vec{F}_{۲۳} = -۹۰\,\vec{i}\,(N)$

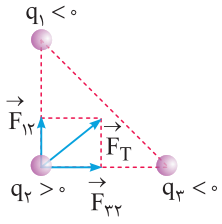
حال بردار نیروی برایند را محاسبه می‌کنیم:

$\vec{F}_T = \vec{F}_{۱۳} + \vec{F}_{۲۳} = ۲۵\,\vec{i} + (-۹۰\,\vec{i}) = -۶۵\,\vec{i}\,(N)$

یعنی اندازهٔ نیرو ۶۵ N در خلاف جهت محور xها است.

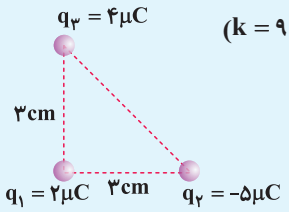
۲ نیروهای الکتریکی بر هم عمود باشند

اگر نیروهای وارد بر یک ذره بر هم عمود باشند، با استفاده از رابطهٔ فیثاغورس می‌توانید اندازهٔ نیروی برایند را محاسبه کنید.



$\vec{F}_T = \vec{F}_{۱۲} + \vec{F}_{۳۲} \Rightarrow F_T = \sqrt{F_{۱۲}^۲ + F_{۳۲}^۲}$

سؤال مطابق شکل مقابل، سه بار الکتریکی نقطه‌ای در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه ثابت شده‌اند: $(k = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲})$

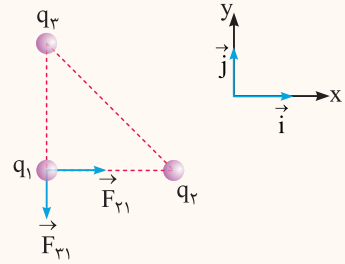


آ) برایند نیروهای وارد بر بار $q_۱$ از طرف دو بار دیگر را بر حسب بردارهای یکه بنویسید.

ب) اندازهٔ برایند نیروهای وارد بر بار $q_۱$ از طرف دو بار دیگر چند نیوتون است؟

پ) بردار نیروی برایند وارد بر بار $q_۱$ را رسم کنید.

پاسخ آ)



$F_{۲۱} = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r_{۱۲}^۲} = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۲\times۱۰^{-۶}\times۵\times۱۰^{-۶}}{۳^۲\times۱۰^{-۴}} = ۱۰^۲ N \Rightarrow \vec{F}_{۲۱} = +۱۰۰\,\vec{i}\,(N)$

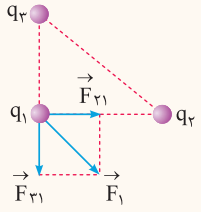
$F_{۳۱} = k\frac{|q_۱||q_۳|}{r_{۱۳}^۲} = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۲\times۱۰^{-۶}\times۴\times۱۰^{-۶}}{۳^۲\times۱۰^{-۴}} = ۸۰ N \Rightarrow \vec{F}_{۳۱} = -۸۰\,\vec{j}\,(N)$

$\vec{F}_۱ = \vec{F}_{۲۱} + \vec{F}_{۳۱} = +۱۰۰\,\vec{i} - ۸۰\,\vec{j}\,(N)$

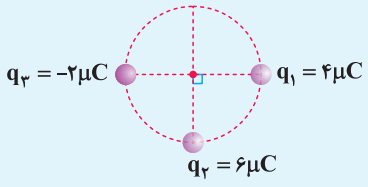
ب) دو نیرو بر هم عمود هستند، بنابراین از رابطهٔ فیثاغورس استفاده می‌کنیم:

$F = \sqrt{F_{۲۱}^۲ + F_{۳۱}^۲} = \sqrt{(۱۰۰)^۲ + (۸۰)^۲} = \sqrt{۱۰۰۰۰ + ۶۴۰۰} = \sqrt{۴۰۰\times(۲۵+۱۶)} = ۲۰\sqrt{۴۱}\,N$

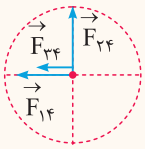
پ)



سؤال مطابق شکل زیر، سه بار الکتریکی نقطه‌ای روی دایره‌ای با شعاع ۱۰ cm قرار دارند. بزرگی برایند نیروهای وارد بر بار $q_۴ = ۱\mu C$ در مرکز دایره از طرف سه بار دیگر چند نیوتون است؟ $(k = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲})$



پاسخ ابتدا نیروهای وارد بر بار q_4 را رسم می‌کنیم و سپس با استفاده از قانون کولن اندازهٔ هرکدام را به‌دست می‌آوریم:

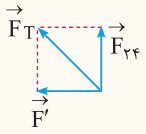


$$\begin{cases} F_{14} = k\dfrac{|q_1||q_4|}{r_{14}^2} = 9\times10^9 \times \dfrac{4\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(0/1)^2} = 3/6\,N \\ F_{24} = k\dfrac{|q_2||q_4|}{r_{24}^2} = 9\times10^9 \times \dfrac{6\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(0/1)^2} = 5/4\,N \\ F_{34} = k\dfrac{|q_3||q_4|}{r_{34}^2} = 9\times10^9 \times \dfrac{2\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(0/1)^2} = 1/8\,N \end{cases}$$

$\vec{F}_{14}$ و $\vec{F}_{34}$ هم‌جهت هستند، بنابراین اندازهٔ برایند آن‌ها به‌صورت زیر می‌شود:

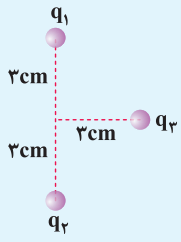
$$F' = F_{14} + F_{34} = 3/6 + 1/8 = 5/4\,N$$

نیروهای $\vec{F}'$ و $\vec{F}_{24}$ بر هم عمود هستند، بنابراین:

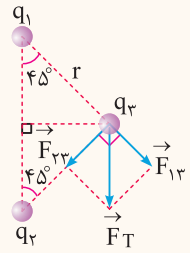


$$F = \sqrt{F_{24}^2 + F'^2} = \sqrt{(5/4)^2 + (5/4)^2} = 5/4\sqrt{2}\,N$$

سؤال **مطابق شکل مقابل، سه ذرهٔ باردار $q_1 = -q_2 = 2\mu C$ و $q_3 = 10\mu C$ در مکان‌های نشان داده‌شده، ثابت شده‌اند. بزرگی برایند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_3 از طرف دو بار دیگر چند نیوتون است؟ $\left(k = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2}\right)$**



پاسخ ابتدا نیروهای وارد بر q_3 را رسم کرده و اندازهٔ آن‌ها را با استفاده از قانون کولن محاسبه می‌کنیم:



$$F_{13} = F_{23} = k\frac{|q_1||q_3|}{r^2} \xrightarrow{r=\sqrt{3^2+3^2}=3\sqrt{2}\,cm} F_{13} = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-6}\times10\times10^{-6}}{18\times10^{-4}}$$

$$\Rightarrow F_{13} = \frac{18}{18}\times10^2 = 100\,N$$

با توجه به مثلث‌های قائم‌الزاویه در شکل، داریم:

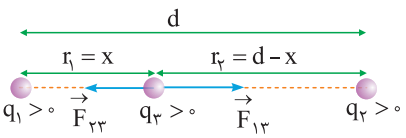
$$F_T = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2} = \sqrt{2}F_{13} = 100\sqrt{2}\,N$$

بار در حال تعادل

اگر دو ذرهٔ باردار q_1 و q_2 در محل خود ثابت شده باشند، می‌توان بار q_3 را در محلی قرار داد که برایند نیروهای وارد بر بار q_3 از طرف بارهای q_1 و q_2 صفر شود و یا اصطلاحاً بار q_3 در حالت تعادل قرار گیرد. برای تعیین محل بار q_3 به نکات زیر توجه کنید:

۱ q_3 حتماً روی خطی که بارهای q_1 و q_2 را به یکدیگر متصل می‌کند، قرار می‌گیرد، زیرا اگر سه بار روی یک خط نباشند، نیروهای وارد بر بار q_3، زاویه‌ای می‌سازند که برایند آن‌ها صفر نمی‌شود.

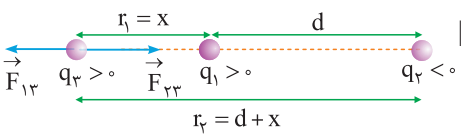
۲ مقدار و علامت بار q_3 اهمیتی ندارد. $|q_1| < |q_2|$



۳ اگر بارهای q_1 و q_2 همنام باشند، بار q_3 بین دو بار قرار می‌گیرد و اگر بارهای q_1 و q_2 ناهمنام باشند، بار q_3 در خارج از فاصلهٔ بین دو بار قرار می‌گیرد.

۴ بار q_3 همیشه نزدیک‌تر به باری است که اندازهٔ کوچک‌تری دارد. $|q_1| < |q_2|$

۵ نیروهای وارد بر بار q_3 از طرف بارهای q_1 و q_2 باید هم‌اندازه باشند، بنابراین:



$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow \frac{k|q_1||q_3|}{r_1^2} = \frac{k|q_2||q_3|}{r_2^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{r_1^2} = \frac{|q_2|}{r_2^2}$$

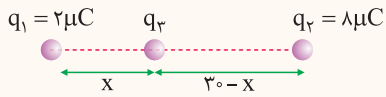
سؤال **دو بار الکتریکی نقطه‌ای q_1 و q_2 در فاصلهٔ $30cm$ از یکدیگر ثابت شده‌اند. در هریک از حالت‌های زیر بار q_3 را دقیقاً در چه مکانی قرار دهیم تا بار q_3 در حالت تعادل قرار گیرد؟**

آ) $q_2 = 8\mu C \ , \ q_1 = 2\mu C$

ب) $q_2 = -8\mu C \ , \ q_1 = 2\mu C$

پاسخ آ) بارها همنام هستند، بنابراین بار q_3 بین دو بار قرار می‌گیرد. چون اگر در خارج دو بار قرار گیرد، دو نیروی $\vec{F}_{13}$ و $\vec{F}_{23}$ هم‌جهت می‌شوند و برایند آن‌ها نمی‌تواند صفر باشد.

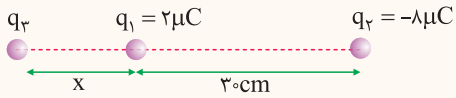
برای در تعادل ماندن بار q_3 ، باید نیروهای وارد بر آن از طرف بارهای q_1 و q_2 در خلاف جهت هم و هم‌اندازه باشند، بنابراین با استفاده از قانون کولن داریم:



$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow k\frac{|q_1||q_3|}{x^2} = k\frac{|q_2||q_3|}{(30-x)^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{x^2} = \frac{|q_2|}{(30-x)^2} \Rightarrow \frac{2}{x^2} = \frac{8}{(30-x)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{4}{(30-x)^2} \xrightarrow{\text{جذر}} \frac{1}{x} = \frac{2}{30-x} \Rightarrow 30 - x = 2x \Rightarrow x = 10cm$$

ب) بارها ناهمنام هستند، بنابراین محل بار q_3 در خارج از فاصلهٔ دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر است. چون اگر در فاصلهٔ بین دو بار قرار گیرد، $\vec{F}_{13}$ و $\vec{F}_{23}$ هم‌جهت بوده و برایند آن‌ها نمی‌تواند صفر باشد.

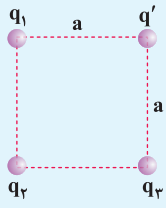


با استفاده از قانون کولن داریم:

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow k\frac{|q_1||q_3|}{x^2} = k\frac{|q_2||q_3|}{(30+x)^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{x^2} = \frac{|q_2|}{(30+x)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{2}{x^2} = \frac{8}{(30+x)^2} \Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{4}{(30+x)^2} \xrightarrow{\text{جذر}} \frac{1}{x} = \frac{2}{30+x} \Rightarrow 2x = 30 + x \Rightarrow x = 30cm$$

سؤال **مطابق شکل زیر، چهار بار الکتریکی نقطه‌ای در چهار رأس مربعی ثابت شده‌اند. اگر $q_1 = q_3 = 8nC$ باشد. بار q_2 چند نانوکولن باشد تا بار q' در حال تعادل باشد؟**

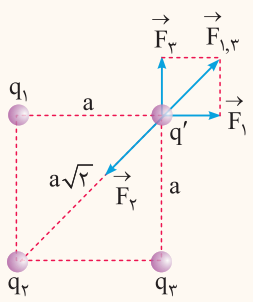


پاسخ علامت و مقدار بار q' در حال تعادل اهمیتی ندارد. برای رسم نیروهای وارد بر بار q' فرض می‌کنیم علامت بار q' مثبت است.

با توجه به این‌که اندازهٔ بارهای q_1 و q_3 یکسان و هم‌چنین فاصلهٔ بارهای q_1 و q_3 تا بار q' یکسان است، پس نیروهای $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ هم‌اندازه هستند.

از طرفی دو نیروی $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ برهم عمودند، بنابراین:

$$F_1 = F_3 \Rightarrow F_{1,3} = \sqrt{F_1^2 + F_3^2} = \sqrt{2}F_1$$



بار q' در حال تعادل است، بنابراین باید نیروهای $\vec{F}_{1,3}$ و $\vec{F}_2$ هم‌اندازه و در خلاف جهت هم باشند:

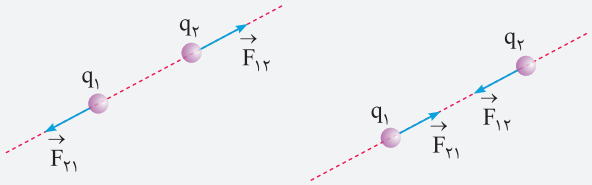
$$F_2 = F_{1,3} \Rightarrow k\frac{|q_2||q'|}{(a\sqrt{2})^2} = \sqrt{2} \times k\frac{|q_1||q'|}{a^2}$$

$$\Rightarrow \frac{|q_2|}{2a^2} = \sqrt{2}\frac{|q_1|}{a^2} \Rightarrow |q_2| = 2\sqrt{2}|q_1| \Rightarrow |q_2| = 16\sqrt{2}nC$$

علامت بار q_2 باید مخالف علامت بارهای q_1 و q_3 باشد، یعنی $q_2 = -16\sqrt{2}nC$ است.

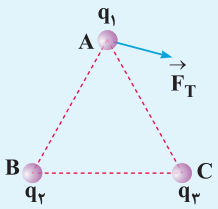
توجه طبق اصل کوانتیده بودن بار، مقدار بار یک جسم نمی‌تواند به صورت رادیکالی باشد ولی از نظر تئوری مقدار رادیکالی را می‌پذیریم.

نکته نیروی بین دو بار الکتریکی در راستای خط واصل بین دو بار است و جهت آن به علامت بارها بستگی دارد.

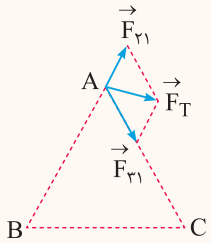


در تجزیهٔ نیروی برایند، از این نکته استفاده می‌کنیم.

سؤال **سه ذرهٔ باردار در سه رأس مثلث متساوی‌الاضلاعی قرار گرفته‌اند. اگر برایند نیروهای الکتریکی وارد بر بار $q_۱$ مطابق شکل مقابل باشد، علامت و اندازهٔ بارهای $q_۲$ و $q_۳$ را با هم مقایسه کنید.**



پاسخ نیرویی که $q_۲$ به $q_۱$ وارد می‌کند، در راستای ضلع BA و نیرویی که بار $q_۳$ به $q_۱$ وارد می‌کند، در راستای ضلع CA است، بنابراین نیروی $\vec{F}_T$ را تجزیه می‌کنیم تا نیروهای $\vec{F}_{۲۱}$ و $\vec{F}_{۳۱}$ مشخص شوند. از انتهای $\vec{F}_T$ به موازات ضلع‌های AB و AC رسم کنید.



طبق جهت $\vec{F}_{۲۱}$ و $\vec{F}_{۳۱}$ نتیجه می‌گیریم که بارهای $q_۱$ با $q_۲$ همنام و بارهای $q_۱$ با $q_۳$ ناهمنام است، بنابراین بارهای $q_۲$ و $q_۳$ نیز ناهمنام هستند. طبق شکل، طول بردار $\vec{F}_{۳۱}$ بلندتر از طول بردار $\vec{F}_{۲۱}$ است، بنابراین اندازهٔ نیروی $\vec{F}_{۳۱}$ بیشتر از اندازهٔ نیروی $\vec{F}_{۲۱}$ است، بنابراین:

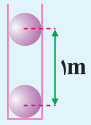
$$|F_{۳۱}|>|F_{۲۱}| \Rightarrow k\frac{|q_۳||q_۱|}{r^۲} > k\frac{|q_۲||q_۱|}{r^۲} \Rightarrow |q_۳|>|q_۲|$$

توجه اندازهٔ بار $q_۱$ با اندازهٔ بارهای $q_۲$ و $q_۳$ قابل مقایسه نیست.

د ترکیب نیروی الکتریکی با نیروهای دیگر

نیروی الکتریکی می‌تواند با نیروی وزن، کشش نخ، نیروی فنر و ... ترکیب شود. در هر حالت کافی است، نیروهای وارد بر جسم را رسم کنید تا به راحتی رابطهٔ بین نیروها با نیروی الکتریکی را مشخص کنید.

سؤال **مطابق شکل زیر، دو گلولهٔ رسانا و کوچک که بار یکسان دارند، در فاصلهٔ ۱m از هم ثابت شده‌اند و در حالت تعادل داخل لولهٔ شیشه‌ای و بدون اصطکاک قرار دارند:**



آ) **بار گلوله‌ها را از نظر همنام و ناهمنام بودن مشخص کنید.**

ب) **اگر جرم هر گلوله ۳۶۰g باشد، اندازهٔ بار هر گلوله چند میکروکولن است؟** $\left(g=۱۰\frac{N}{kg} \text{ و } k=۹\times۱۰^۹\frac{N.m^۲}{C^۲}\right)$

پاسخ آ) اگر گلولهٔ در حال تعادل بالایی را در نظر بگیرید، نیروی وزن رو به پایین است، بنابراین نیروی الکتریکی رو به بالا می‌شود؛ یعنی نیروی بین گلوله‌ها دافعه است، بنابراین بار این گلوله‌ها همنام است، یعنی هر دو مثبت یا هر دو منفی هستند.

ب) با توجه به حالت تعادل گلولهٔ بالایی، نتیجه می‌گیریم که اندازهٔ $\vec{F}$ و $m\vec{g}$ باید برابر باشد، بنابراین:

$$F=mg \Rightarrow k\frac{|q||q|}{r^۲}=mg \Rightarrow ۹\times۱۰^۹\times\frac{|q|^۲}{۱^۲}=۳۶۰\times۱۰^{-۳}\times۱۰ \Rightarrow |q|^۲=\frac{۳۶\times۱۰^{-۱}}{۹\times۱۰^۹}=۴\times۱۰^{-۱۰} \Rightarrow |q|=۲\times۱۰^{-۵}C=۲۰\mu C$$

بخش ۲

پاسخ‌نامه

بسته ۱ الکتریسیته ساکن

۱ | کوانتیده
۲ | پایستگی بار الکتریکی
۳ | کوانتیده بودن بار الکتریکی
۴ | پایستگی بار الکتریکی
۵ | دقیقاً برابر صفر
۶ | الکترون‌دهی
۷ | هم‌اندازه - ناهمنام
۸ | ناهمنام
۹ | همنام
۱۰ | دفع
۱۱ | کاهش
۱۲ | همنام
۱۳ | مثبت
۱۴ | همنام
۱۵ | ناهمنام

۱۶ | درست

۱۷ | نادرست - با مالش دو جسم به یک‌دیگر، دو جسم دارای بارهای هم‌اندازه و **ناهمنام** می‌شوند.

۱۸ | نادرست - برای تشخیص باردار بودن یک جسم و نوع بار آن از **الکتروسکوپ** استفاده می‌شود.

۱۹ | درست

۲۰ | نادرست - اگر جمع جبری بارهای یک دستگاه منزوی، صفر شود، آن دستگاه از نظر الکتریکی، **خنثی** است.

۲۱ | نادرست - یک کولن مقدار **بار بزرگی** است.

۲۲ | درست

۲۳ | نادرست - در روش تماس، در نهایت بار دو جسم، همنام است ولی لزومی ندارد که هم‌اندازه باشند.

۲۴ | درست
۲۵ | درست
۲۶ | درست

۲۷ | در مورد بار الکتریکی، دو اصل وجود دارد:
۱- اصل پایستگی بار الکتریکی ۲- اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی

۲۸ | مجموع جبری همهٔ 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.

۲۹ | اگر جسم خنثی الکترون به‌دست آورد و یا از دست بدهد، همواره بار الکتریکی مشاهده‌شدهٔ جسم، مضرب درستی از بار بنیادی e است.

۳۰ | در سری تریبوالکتریک داده‌شده در سؤال، مواد پایین‌تر الکترون‌خواهی بیش‌تری دارند، بنابراین در اثر مالش ماده‌های B و C، مادهٔ C الکترون گرفته و مادهٔ B الکترون از دست می‌دهد، بنابراین مادهٔ C دارای بار منفی و مادهٔ B دارای بار مثبت می‌شود.

۳۱ | **آ)** بار الکتریکی پارچهٔ ابریشمی برابر $-۶/۴\,nC$ است. علت این موضوع پایستگی بارالکتریکی است. چون هر دو جسم در ابتدا خنثی بودند و پس از مالش یکی از آن‌ها دارای بار $+۶/۴\,nC$ شده است، بنابراین دیگری باید دارای بار $-۶/۴\,nC$ شده باشد تا بارالکتریکی پایسته بماند.
ب) الکترون‌ها از میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ پشمی منتقل شده‌اند و تعداد آنها را می‌توان به صورت زیر به‌دست آورد:

$$q = ne \Rightarrow ۶/۴\times ۱۰^{-۹} = n \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$$

$$\Rightarrow n = \frac{۶/۴\times ۱۰^{-۹}}{۱/۶\times ۱۰^{-۱۹}} = ۴\times ۱۰^{۱۰}$$

۳۲ | با توجه به سری الکتریسیتهٔ مالشی، تفلون الکترون‌خواهی بیشتری از موی انسان دارد، بنابراین میلهٔ تفلونی دارای بار منفی می‌شود که به صورت زیر می‌توان آن را پیدا کرد:

$$q = -ne = -۵\times ۱۰^{۱۰} \times ۱/۶\times ۱۰^{-۱۹} = -۸\times ۱۰^{-۹}\,C = -۸\,nC$$

۳۳ | بارهای همنام یک‌دیگر را دفع و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند. همچنین اجسام باردار می‌توانند اجسام خنثی را به علت القای بار الکتریکی جذب کنند.

آ) جاذبه **ب)** جاذبه **پ)** جاذبه

۳۴ | در هر دو شکل، اندازهٔ بار القاشده در کره‌های A و B به علت پایستگی بار الکتریکی، برابر هستند.

۳۵ | **آ)** اگر جسم باردار را به کلاهک یک الکتروسکوپ باردار مثبت نزدیک کنیم و ورقه‌های الکتروسکوپ از هم دورتر شوند، بار آن جسم نیز مانند بار الکتروسکوپ، مثبت است. ولی اگر لحظه‌ای ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک شوند، بار جسم، مخالف بار الکتروسکوپ و منفی است.
ب) اگر جسم نارسانا را به کلاهک الکتروسکوپ باردار مثبت نزدیک کرده و با آن تماس دهیم، تغییر محسوسی در موقعیت ورقه‌های الکتروسکوپ به‌وجود نمی‌آید. ولی اگر جسم، رسانا باشد، ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک شده و بر اثر تماس جسم رسانا با کلاهک الکتروسکوپ، بار الکتروسکوپ تخلیه می‌شود و ورقه‌های الکتروسکوپ تقریباً روی هم می‌افتند و به هم می‌چسبند.

۳۶ | با توجه به اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی داریم:

$$q = -ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{-۶۴\times ۱۰^{-۹}}{-۱/۶\times ۱۰^{-۱۹}} = ۴۰\times ۱۰^{۱۰} = ۴\times ۱۰^{۱۱}$$

۳۷ | **آ)** عدد اتمی آهن ۲۶ است، یعنی در هستهٔ اتم آهن ۲۶ پروتون و اطراف آن ۲۶ الکترون وجود دارد.

$$q_{\text{هسته}} = +ne = ۲۶\times ۱/۶\times ۱۰^{-۱۹} = ۴/۱۶\times ۱۰^{-۱۸}\,C$$

ب) $q_{\text{الکترون‌ها}} = -ne = -۲۶\times ۱/۶\times ۱۰^{-۱۹} = -۴/۱۶\times ۱۰^{-۱۸}\,C$

پ) بار الکتریکی اتم آهن، صفر است، زیرا تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های آن برابر است.

۳۸ | تعداد پروتون‌های هستهٔ اتم کربن $Z = ۶$ است، بنابراین:

$$q = +ne = +۶ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۹/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

$$\Rightarrow q = ۹/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C \times \left(\frac{۱pC}{۱۰^{-۱۲} C}\right) = ۹/۶ \times ۱۰^{-۷}\ pC$$

۳۹ | اتم هلیم در حالت عادی، خنثی است.

هنگامی که از اتم هلیم یک الکترون خارج شود، بار اتم هلیم یک‌بار یونیده، مثبت خواهد شد، بنابراین بارالکتریکی این یون به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$q = ne \Rightarrow q = ۱ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

۴۰ | اتم لیتیم در حالت عادی، خنثی است. اتم لیتیم دوبار یونیده، دو الکترون از دست داده و بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند، بنابراین بار این یون به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$q = ne = ۲ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۳/۲ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

۴۱ | بار مبادله‌شده برابر است با:

$$\Delta q = q_۲ - q_۱ = -۵ - (+۳) = -۸nC$$

بنابراین:

$$\Delta q = -ne \Rightarrow -۸ \times ۱۰^{-۹} = -n \times (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹})$$

$$\Rightarrow n = \frac{۸ \times ۱۰^{-۹}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۵ \times ۱۰^{۱۰}$$

۴۲ | با توجه به ویژگی کوانتیده بودن بار الکتریکی، تعداد الکترون‌های مبادله‌شده (n) را محاسبه می‌کنیم. اگر n عددی صحیح باشد، آن‌گاه چنین باری وجود دارد.

آ) $q = ne \Rightarrow ۲/۴ = n \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$

$$\Rightarrow n = \frac{۲/۴}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۱۵ \times ۱۰^{۱۸}\ (✓)$$

ب) $q = ne \Rightarrow ۱۶ \times ۱۰^{-۱۸} = n \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$

$$\Rightarrow n = \frac{۱۶ \times ۱۰^{-۱۸}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۱۰^{۲}\ (✓)$$

پ) $q = ne \Rightarrow ۴/۸ \times ۱۰^{-۲۰} = n \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$

$$\Rightarrow n = \frac{۴/۸ \times ۱۰^{-۲۰}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۰/۳\ (✗)$$

ت) $q = ne \Rightarrow ۳۲ \times ۱۰^{-۵} = n \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$

$$\Rightarrow n = \frac{۳۲ \times ۱۰^{-۵}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۲ \times ۱۰^{۱۵}\ (✓)$$

۴۳ | با توجه به پایستگی بار الکتریکی داریم:

$$\Delta q_A + \Delta q_B + \Delta q_C = ۰ \Rightarrow -۵ + ۴ + \Delta q_C = ۰$$

$$\Rightarrow \Delta q_C = +۱\mu C$$

۴۴ | غیرتماسی

۴۵ | خلاف جهت هم

۴۶ | همنام

۴۷ | رانشی

۴۸ | سوم

۴۹ | اندازهٔ بارها - مستقیم

۵۰ | وارون

۵۱ | ندارد

۵۲ | دو برابر

۵۳ | چهار

۵۴ | $\frac{N.m^۲}{C^۲}$

۵۵ | $\frac{C^۲}{N.m^۲}$

۵۶ | هسته‌ای

۵۷ | بزرگ‌تر

۵۸ | ضعیف‌تر

۵۹ | گرانشی - جاذبه

۶۰ | بیش‌تر

۶۱ | درست

۶۲ | درست

۶۳ | نادرست - نیروی الکتریکی که دو بار به هم وارد می‌کنند، هم‌اندازه هستند.

۶۴ | درست

۶۵ | نادرست - یکای اندازه‌گیری ثابت گذردهی الکتریکی خلاء برابر با $\frac{C^۲}{N.m^۲}$ است.

۶۶ | درست

۶۷ | درست

۶۸ | نادرست - برای دو بار **ناهمنام** در نقطه‌ای خارج از فاصلهٔ بین دو بار، برایند نیروهای الکتریکی می‌تواند صفر شود.

۶۹ | نادرست - نیرویی که دو بار **همنام** به یک‌دیگر وارد می‌کنند از نوع رانشی است.

۷۰ | نادرست - چون نیروهای الکتریکی که دو بار به یک‌دیگر وارد می‌کنند، به دو جسم متفاوت وارد می‌شوند، قابل برایندگیری نیستند.

۷۱ | اندازهٔ نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای که در راستای خط واصل آن‌ها اثر می‌کند، با حاصل‌ضرب بزرگی بار آن‌ها نسبت مستقیم و با مربع فاصلهٔ بین آن‌ها نسبت وارون دارد.

۷۲ | اگر تعدادی بار الکتریکی نقطه‌ای داشته باشیم، تجربه نشان می‌دهد که در این وضعیت، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برایند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کنند. این موضوع که از آزمایش نتیجه شده است را اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی می‌گویند.

۷۳ | با توجه به قانون سوم نیوتون، نیروهای $\vec{F}_{۱۲}$ و $\vec{F}_{۲۱}$ نیروهای عمل و عکس‌العمل هستند، بنابراین هم‌اندازه و در خلاف جهت یک‌دیگر هستند، بنابراین اگر نیروی $\vec{F}_{۲۱}$ در جهت جنوب شرقی باشد، نیروی $\vec{F}_{۱۲}$ در خلاف جهت آن، یعنی در جهت **شمال غربی** است.