بار الکتریکی، پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی
صفحه‌های ۲ تا ۴ کتاب درسی

مفهوم بار الکتریکی: اجسام در حالت عادی از حیث الکتریکی خنثی هستند، یعنی تعداد بارهای مثبت و منفی آن‌ها یکسان است. اگر جسمی الکترون اضافی دریافت کند دارای بار منفی و اگر الکترون از دست بدهد، دارای بار مثبت می‌شود.

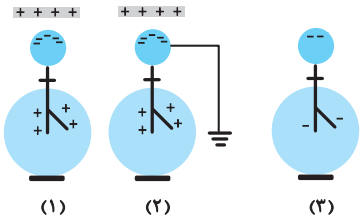
چه اجسامی و چگونه به روش مالش باردار می‌شوند؟ معمولاً اجسام نارسانا را به روش مالش باردار می‌کنند، به این صورت که طی مالش الکترون‌های سطح یکی از دو جسم با کسب انرژی به جسم دیگر منتقل می‌شوند.

- **تذکر ۱:** در روش مالش، هر دو جسم دارای بارهای ناهم‌نام اما هم‌اندازه می‌شوند.
- **تذکر ۲:** جسمی که الکترون‌خواه‌تر است، الکترون دریافت می‌کند جدول الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک) برخی اجسام از بالا به پایین به ترتیب افزایش الکترون‌خواهی مرتب می‌شود.

الکتروسکوپ: در پرسش‌های مربوط به الکتروسکوپ معمولاً ۳ کاربرد آن پرسیده می‌شود. در ابتدا روش باردار کردن آن را بیان می‌کنیم. فرض کنیم می‌خواهیم به الکتروسکوپ بار منفی بدهیم.

الف) روش تماس: میله با بار منفی را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی تماس می‌دهیم. در این حالت تعدادی از بارهای منفی میله به الکتروسکوپ منتقل می‌شود.

ب) روش القا:



۱. یک میلهٔ شیشه‌ای را که با مالش به یک پارچهٔ ابریشمی دارای بار مثبت کرده‌ایم، به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک می‌کنیم در این صورت کلاهک بار منفی و ورقه‌ها بار مثبت به دست می‌آورند.

۲. بدون تغییر مکان میله شیشه‌ای، کلاهک الکتروسکوپ را با دست یا با یک سیم رسانا به زمین اتصال می‌دهیم، در این صورت بارهای مثبت الکتروسکوپ توسط زمین خنثی می‌شوند و فقط در کلاهک، بار منفی باقی می‌ماند.

۳. اتصال به زمین را قطع و سپس میله را دور می‌کنیم. در این صورت الکتروسکوپ دارای بار منفی خواهد شد.

کاربرد ۱: تشخیص باردار بودن یک جسم: اگر جسم را به وسیلهٔ یک عایق به یک الکتروسکوپ دارای بار معلوم نزدیک کنیم و یا تماس دهیم و هیچ اتفاقی در فاصلهٔ بین ورقه‌ها رخ ندهد، آن جسم بدون بار است. در غیر این صورت باردار خواهد بود.

کاربرد ۲: تعیین نوع بار یک جسم توسط الکتروسکوپ باردار: برای تشخیص نوع بار یک جسم، ابتدا الکتروسکوپ را باردار می‌کنیم، به طوری که نوع بار آن مشخص باشد. سپس جسم باردار را به تدریج و به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. دو حالت ممکن است رخ دهد. اگر در تمام مدت ورقه‌های الکتروسکوپ به طور پیوسته از هم دور شوند، بار جسم و الکتروسکوپ یکسان است. اما اگر ورقه‌ها پیوسته جمع شوند و یا ابتدا بسته و سپس از هم دور شوند، بار جسم ناهمنام با بار الکتروسکوپ خواهد بود.

کاربرد ۳: رسانا یا نارسانا بودن یک جسم: جسم مورد نظر را به کلاهک الکتروسکوپ باردار تماس می‌دهیم. اگر بار الکتروسکوپ خنثی شود، جسم مورد نظر رسانا است و اگر تغییری در ورقه‌های الکتروسکوپ ایجاد نشود، جسم نارسانا می‌باشد.

پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

اصل پایستگی بار الکتریکی: مجموع جبری همهٔ بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است.

بار الکتریکی می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود. اما هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

- **تذکر:** بار الکتریکی هر جسم مضرب صحیحی از بار بنیادی (بار الکترون) است که از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$q = \pm ne \qquad n = 0, 1, 2, \ldots \qquad e = 1/6 \times 10^{-19} C$$

بار الکتریکی، پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

مفهوم بارالکتریکی، الکتروسکوپ، پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

۱۰ سؤال | پیمانهٔ ۱ | صفحه‌های ۲ تا ۴ کتاب درسی

مرجع

۱. در هریک از جمله‌های زیر جاهای خالی را با کلمه یا عبارت درست، کامل کنید.

الف) بارالکتریکی هر جسم مضرب صحیحی از بار پایه است. این عبارت نشان‌دهندهٔ اصل ..... است.

ب) الکتروسکوپی دارای بار منفی است. اگر یک جسم باردار را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنیم، انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ بیش‌تر می‌شود. در این صورت بار جسم ..... است.

پ) طبق اصل کوانتیده بودن بارالکتریکی، بار یک جسم همواره مضرب ..... از باربنیادی e است.

ت) در مورد بارهای الکتریکی دو اصل ..... و ..... وجود دارد.

ث) پایین‌ترین ماده در سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک) بیش‌ترین ..... را دارد و وقتی با دیگر مواد مالش داده شود، بارالکتریکی ..... پیدا می‌کند.

(صفحه‌های ۲ تا ۴، مرتبط با متن درس)
الف و ب) اصفهان ـ فرزانگان امین ـ ۱۴۰۰
(۸ بار تکرار)
پ) ساری ـ فرزانگان ۲ ـ ۱۴۰۰
(۶ بار تکرار)
ت) مشهد ـ راهبرد ـ ۱۴۰۰
(۶ بار تکرار)
ث) چابهار ـ اندیشه نو ـ ۱۴۰۱
(۴ بار تکرار)

۲. در هر یک از جمله‌های زیر، کلمه یا عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

الف) به کمک الکتروسکوپ می‌توان نوع بارالکتریکی یک جسم را مشخص کرد. (درست ــ نادرست)

ب) بر اثر مالش دو جسم خنثی که به انتهای منفی سری الکتریسیته مالشی نزدیک هستند بار هر دو جسم منفی می‌شود. (درست ــ نادرست)

پ) نوع باری که دو جسم بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آن‌ها بستگی ندارد. (درست ــ نادرست)

ت) بارالکتریکی یک جسم همواره مضرب صحیحی از یک مقدار پایه است. به این اصل، (پایستگی بارالکتریکی ــ کوانتیده بودن بارالکتریکی) گفته می‌شود.

ث) تعداد دانش‌آموزان یک کلاس یک کمیت کوانتیده (است ــ نیست).

ج) طبق اصل (کوانتیده بودن بار ــ پایستگی بار) مجموع بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است.

(صفحه‌های ۲ تا ۴، مرتبط با متن درس)
الف) اردبیل ـ بهاران ـ ۱۴۰۰
(۱۲ بار تکرار)
ب) ساری ـ فرزانگان ۲ ـ ۱۴۰۰
(۷ بار تکرار)
پ) مریوان ـ نمونه دولتی فرزانگان ـ ۱۴۰۰
(۶ بار تکرار)
ت) کرج ـ سلاله ـ ۱۴۰۱
(۸ بار تکرار)
ث) قم ـ نمونه دولتی آیت‌اله بهاءالدینی ـ ۱۴۰۱
(۴ بار تکرار)
ج) شیراز ـ فرزانگان ـ ۱۴۰۰
(۱۱ بار تکرار)

۳. به هریک از سؤال‌های زیر پاسخ دهید:

الف) تعریف قانون پایستگی بار

ب) پلاستیک را با پارچه‌ای از جنس ابریشم مالش می‌دهیم؛ بار هر کدام در انتها چه می‌شود؟

پ) طبق جدول سر الکتریسیته مالشی، اگر کاغذ و لاستیک را با هم مالش دهیم، الکترون از کدام جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود و بار خالص هر کدام چگونه خواهد بود؟

ت) سکه‌ای دارای بار مثبت است. جرم این سکه نسبت به حالتی که خنثی است، بیشتر است یا کمتر؟ دلیل خود را توضیح دهید.

ث) منظور از دستگاه منزوی و غیرمنزوی چیست؟

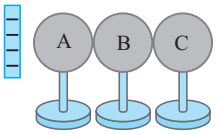
(صفحهٔ ۴، مرتبط با متن درس)
الف) تهران ـ سرای دانش فلسطین ـ ۱۴۰۱
(۷ بار تکرار)
(صفحهٔ ۲، مرتبط با متن درس)
ب) تهران ـ تلاش مهرپاینده ـ ۱۴۰۱
(۵ بار تکرار)
(صفحهٔ ۴، مرتبط با جدول ۱-۱)
پ) کرمانشاه ـ البرز ـ ۱۴۰۱
(۳ بار تکرار)
(صفحهٔ ۴، مرتبط با متن درس)
ت) شهرکرد ـ تیزهوشان شهید بهشتی ـ ۱۴۰۰
(۲ بار تکرار)
(صفحهٔ ۴، مرتبط با متن درس)
ث) اصفهان ـ فرزانگان امین ـ ۱۴۰۰
(۲ بار تکرار)

مرجع

۴. چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می‌کشیم و آن‌را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهیم، روکش در جای خود ثابت می‌ماند؟

(صفحهٔ ۳، مرتبط با پرسش ۱-۱)
زاهدان ـ نمونه امام صادق (ع) ـ ۱۴۰۱
(۳ بار تکرار)

۵. مطابق شکل، میله‌ای با بارالکتریکی منفی را به سه کرهٔ رسانای خنثی A ، B و C که با هم در تماس هستند، نزدیک می‌کنیم و نگه می‌داریم. اگر در این حالت، کرهٔ B را از بین دو کره خارج کنیم و سپس میلهٔ باردار را دور کنیم، با ذکر دلیل علامت بارهای A ، B و C را تعیین کنید.



(صفحهٔ ۴، مرتبط با متن درس)
کوهدشت ـ نمونه پردیس ـ ۱۴۰۰
(۳ بار تکرار)

۶. یک میلهٔ پلاستیکی را به یک پارچهٔ کتان مالش می‌دهیم و سپس میله را با کلاهک الکتروسکوپ خنثایی تماس می‌دهیم تا بار میله به تیغه‌های الکتروسکوپ منتقل شود و سپس یک میلهٔ دیگر را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم و به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم، مشاهده می‌شود که دهانهٔ الکتروسکوپ بسته می‌شود:

الف) نوع باراولیه‌ای را که از میلهٔ پلاستیکی به الکتروسکوپ داده شده، تعیین کنید.

ب) چرا با نزدیک کردن میلهٔ دوم، دهانهٔ الکتروسکوپ بسته شد؟ (توضیح کامل)

پ) به نظر شما جنس میلهٔ دوم می‌تواند چوب باشد یا شیشه؟

(صفحهٔ ۳، مرتبط با متن درس و شکل ۱-۵)
تهران ـ نمونه دولتی فدک ـ ۱۴۰۰
(۳ بار تکرار)

۷. با توجه به جدول سری الکتریسیتهٔ مالشی مقابل و توضیح زیر به سؤالات پاسخ دهید:

«ابتدا جسم A و C را به یک‌دیگر مالش می‌دهیم و سپس جسم B و D را به یک‌دیگر مالش می‌دهیم.»

الف) اگر جسم A را به B نزدیک کنیم چه نیرویی بین آن‌ها بوجود می‌آید؟

ب) اگر جسم A را به جسم باردار E نزدیک کنیم بین این دو، چه نیرویی به‌وجود می‌آید؟

انتهای مثبت سری
A
B
C
D
E
انتهای منفی سری

(صفحهٔ ۴، مرتبط با جدول ۱-۱)
رفسنجان ـ شهید پورخندی ـ ۱۴۰۰
(۵ بار تکرار)

۸. یک میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بارالکتریکی میلهٔ پلاستیکی $-۱۲/۸\,nC$ می‌شود:

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

ب) تعداد الکترون‌های منتقل شده از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی را محاسبه کنید.

$(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۲)
شهر ری ـ دکترحسابی ـ ۱۴۰۱
(۶ بار تکرار)

۹. الف) بارالکتریکی اتم و هستهٔ اتم کربن $({}^{۱۲}_{۶}C)$ چند کولن است؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

ب) بارالکتریکی اتم کربن یک بار یونیده (C^{+}) چقدر است؟

(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۲)
شهر ری ـ دکترحسابی ـ ۱۴۰۱
(۴ بار تکرار)

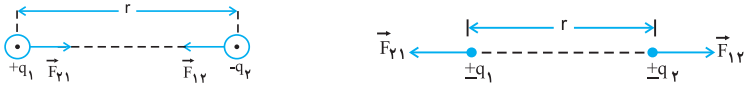
۱۰. الف) اگر به جسمی که دارای بار منفی است به تعداد ۶×۱۰^{۱۳} الکترون بدهیم، بار آن دو برابر می‌شود. بار نهایی جسم چند میکروکولن است؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

ب) جسمی دارای بار اولیهٔ q_0 می‌باشد. اگر این جسم ۵×۱۰^{۱۵} الکترون از دست دهد، بار آن قرینهٔ حالت اول آن می‌شود. بار اولیه این جسم چند میکروکولن بوده است؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C)$

(صفحهٔ ۴، مرتبط با رابطهٔ ۱-۱)
الف) یزد ـ نمونه دولتی حضرت زهرا (س) ـ ۱۴۰۰
(۶ بار تکرار)
(صفحهٔ ۴، مرتبط با رابطهٔ ۱-۱)
ب) بهبهان ـ نخبگان سرای دانش ـ ۱۴۰۱
(۳ بار تکرار)

قانون کولن و برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی
صفحه‌های ۵ تا ۱۰ کتاب درسی

قانون کولن: نیروی الکتریکی ربایشی یا رانشی بین دو ذرهٔ باردار q_1 و q_2 که در فاصلهٔ r از یکدیگر قرار دارند، با حاصل‌ضرب بار دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ دو ذره از یکدیگر نسبت وارون دارد.



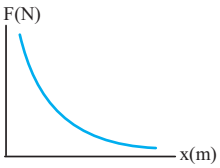
طبق قانون سوم نیوتون، اندازهٔ نیرویی که بار q_1 به q_2 وارد می‌کند با اندازهٔ نیرویی که بار q_2 به q_1 وارد می‌کند برابر است. به عبارت دیگر این دو نیرو هم‌اندازه، هم‌راستا اما در سوی مخالف یکدیگرند. $\vec{F}_{1,2}=-\vec{F}_{2,1}\rightarrow F_{1,2}=F_{2,1}$

طبق قانون کولن برای محاسبهٔ بزرگی نیرویی که دو ذرهٔ باردار به هم وارد می‌کنند از رابطهٔ زیر استفاده می‌کنیم.

$$F_{1,2}=k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

در این رابطه برای محاسبهٔ بزرگی نیروی F بر حسب N، باید r بر حسب «متر» و q_1 و q_2 بر حسب «کولن» باشد.

ثابت کولن $k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\xrightarrow{\varepsilon_0=8/85\times10^{-12}\frac{C^2}{N.m^2}}k=9\times10^9\frac{N.m^2}{C^2}$



در رابطهٔ فوق ε_0، ضریب گذردهی الکتریکی خلأ می‌باشد و یکای آن $\frac{C^2}{N.m^2}$ است.

به کمک علامت بارها، نوع نیروی بین آن‌ها (هم‌نام دافعه، ناهم‌نام جاذبه) را تعیین می‌کنیم. نمودار نیروی بین دو بار (F) بر حسب فاصلهٔ آن‌ها مطابق شکل مقابل است.

حالت‌های مختلف مسائل مربوط به قانون کولن

حالت ۱: محاسبه نیروی بین دو بار: در این حالت یکی از ۴ عامل q_1، q_2، r و یا F مجهول است که با توجه به توضیح بالا و رابطهٔ ذکر شده قابل حل هستند.

حالت ۲: تماس دو کره رسانای باردار: در این تیپ از مسائل، عموماً دو کره رسانای باردار مشابه را به‌هم تماس می‌دهند و نسبت نیروی الکتریکی کره‌ها، در دو حالت قبل و بعد از تماس آن‌ها با یکدیگر را می‌خواهند که به صورت زیر عمل می‌کنیم.

۱- بعد از تماس کره‌ها به یکدیگر، بار هر یک با دیگری برابر و مساوی میانگین جبری بار کره‌ها قبل از تماس است، (بار کره‌ها با علامت مثبت یا منفی خودشان در نظر گرفته می‌شود.)

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

۲- برای تعیین نسبت نیرویی که کره‌ها بعد از تماس به هم وارد می‌کنند (یعنی $F'=\frac{k|q_1'||q_2'|}{r'^2}$) به نیرویی که قبل از تماس به هم وارد می‌کنند (یعنی $F=\frac{k|q_1||q_2|}{r^2}$) رابطهٔ زیر را می‌نویسیم:

$$\frac{F'}{F}=\frac{|q_1'|}{|q_1|}\times\frac{|q_2'|}{|q_2|}\times(\frac{r}{r'})^2$$

● **مثال:** دو کرهٔ رسانای مشابه با بارهای ناهمنام $-q$ و $5q$ در فاصلهٔ r نیروی F را بر هم وارد می‌کنند. اگر این دو کره را بـه هـم تماس دهیم و در همان فاصله قرار دهیم، نیرویی که به هم وارد می‌کنند چند برابر می‌شود؟

● **پاسخ:** ابتدا بارهای الکتریکی کره‌ها را بعد از تماس می‌یابیم:

$$q_1'=q_2'=\frac{q_1+q_2}{2}\xrightarrow{q_1=-q,q_2=5q}q_1'=q_2'=\frac{-q+5q}{2}\Rightarrow q_1'=q_2'=2q$$

اکنون نسبت نیروها را می‌نویسیم و مقادیر را در آن‌ها جایگزین می‌کنیم:

$$\frac{F'}{F}=\frac{|q_1'|}{|q_1|}\times\frac{|q_2'|}{|q_2|}\times(\frac{r}{r'})^2\xrightarrow[|q_1'|=|q_2'|=2q,r=r']{|q_1|=q\ ,\ |q_2|=5q}\frac{F'}{F}=\frac{2q}{q}\times\frac{2q}{5q}\times1\Rightarrow\frac{F'}{F}=\frac{4}{5}$$

● **تذکر:** نیرویی که کره‌ها بعد از تماس با یکدیگر، بر هم وارد می‌کنند الزاماً رانشی است ولی نیروی آن‌ها به هم قبل از تماس به علامت بارهای روی آن‌ها بستگی دارد.

حالت ۳: برایند نیروهای وارد بر یک ذره از طرف چند ذره: در این گونه از مسائل، چند ذره که می‌توانند بر روی یک خط راست قرار گیرند و یا غیر واقع بر یک خط باشند (مانند رأس‌های مثلث، چهارضلعی، دایره و ...) داده می‌شود و مسئله برایند نیروهای وارد بر یک ذرهٔ خاص را می‌خواهد. روش عمومی محاسبهٔ برایند نیروها در سه مرحله به صورت زیر است:

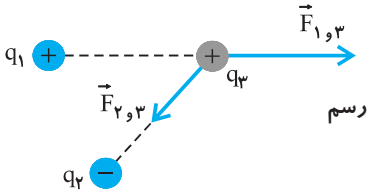
مرحلهٔ اول: بردار نیرویی که از طرف هر یک از بارها بر بار هدف وارد می‌شود را رسم می‌کنیم، برای رسم، توجه به چهار نکتهٔ زیر مهم است:

۱. هر دفعه برای رسم نیروی هر یک از بارها بر بار هدف، به بارهای دیگر توجهی نمی‌کنیم.

۲. ابتدای بردار را بر بار هدف قرار می‌دهیم.

۳. راستای بردار نیرو الزاماً روی خطی است که دو بار را به هم وصل می‌کند.

۴. جهت بردار بر اساس نوع دو بار تعیین می‌شود. (جاذبه یا دافعه)



به‌عنوان مثال: در شکل بردار نیروهایی را که q_1 و q_2 بر q_3 وارد می‌کنند مطابق روش ذکر شده رسم کرده‌ایم.

مرحلهٔ دوم: بزرگی هر یک از نیروها را بدون در نظر گرفتن علامت بارها و از رابطهٔ $F=\frac{k|q_1||q_2|}{r^2}$ به دست می‌آوریم (کمیت‌ها در SI باشند.)

مرحلهٔ سوم: در پایان، برایند بردارها را بر اساس قوانین جمع برداری محاسبه می‌کنیم اگر نیروها هم‌راستا باشند، اندازهٔ برایند با جمع جبری اندازهٔ آن‌ها به دست می‌آید و در نهایت بسته به این که در سوی مثبت محور x ها باشد به صورت $F_T\vec{i}$ و اگر خلاف جهت x ها باشد آن را به صورت $-F_T\vec{i}$ می‌نویسیم.

اما اگر ذره‌ها در یک راستا نباشند، بهتر است نیروی هر ذره را بر حسب بردارهای یکه $\vec{i}$ و $\vec{j}$ بنویسیم و جمع برداری کنیم: $\vec{F}_t=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3+...$ که در نهایت به صورت $\vec{F}_t=F_x\vec{i}+F_y\vec{j}$ در می‌آید و بزرگی آن را از رابطهٔ $F_t=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$ محاسبه می‌کنیم.

حالت ۴: یافتن مکان بار الکتریکی سوم به‌طوری که برایند نیروهای وارد بر آن از طرف دو بار دیگر صفر شود.

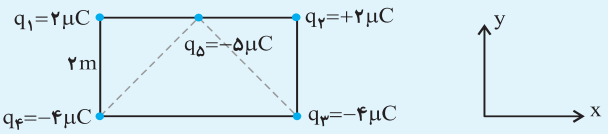
کاربرد این گونه از مسائل بیش‌تر در بحث میدان الکتریکی است که رفتار حل در هر دو حالت یکسان است. در این‌جا فقط به این سه نکته اکتفا می‌کنیم:

۱. هنگامی برایند نیروهای وارد بر باری صفر است که نیروی وارد از طرف دو بار دیگر هم‌اندازه و ناهمسو باشند.

۲. محل بار سوم برای صفر شدن نیرو برای دو بار هم‌نام بین دو بار و نزدیک به بار با اندازهٔ کوچک‌تر است و برای بارهای ناهم‌نام، خارج دو بار و نزدیک به بار با اندازهٔ کوچک‌تر خواهد بود.

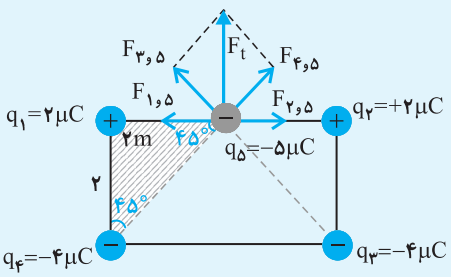
۳. با رسم بردارهای دو نیرو که ناهم‌سو هستند اندازه‌های آن دو را مساوی قرار می‌دهیم.

● **مثال:** مطابق شکل، در چهار رأس یک مستطیل (۲m×۴m)، چهار بار الکتریکی و بر وسط ضلع بالای آن بار $q_5=-5\mu C$ واقع است. برایند نیروهای وارد بر بار q_5 را از طرف چهار بار دیگر بر حسب بردارهای یکه بیابید.



● **پاسخ:** ابتدا با توجه به علامت بارها، بردار نیروی وارد از طرف چهار ذرهٔ دیگر بر بار q_5 را رسم می‌کنیم.

با توجه به شکل، دو بار q_1 و q_2 هم‌اندازه و هم‌فاصله با بار q_5 هستند. بنابراین، بزرگی نیروهای آن‌ها ($F_{2,5}$ ، $F_{1,5}$) یکسان است و چون در خلاف جهت یکدیگرند، برایند آن‌ها صفر است. $F_{2,5}-F_{1,5}=0$



می‌بینیم، فقط بارهای q_3 و q_4 باقی می‌مانند. چون اندازهٔ این دو بار و فاصلهٔ آن‌ها با بار q_5 یکسان است، در نتیجه، نیروهای آن‌ها نیز هم‌اندازه‌اند و داریم:

$$F_{3,5} = F_{4,5} = \frac{k|q_4||q_5|}{r_{4,5}^2}$$

$$= \frac{9\times10^9\times4\times10^{-6}\times5\times10^{-6}}{8} = 2/25\times10^{-2}\ N$$

مطابق شکل، دو نیروی $F_{3,5}$ و $F_{4,5}$ بر هم عمودند و برایندشان رو به بالا $(+y)$ خواهد بود. بنابراین می‌توان نوشت:

$$F_t = \sqrt{F_{3,5}^2 + F_{4,5}^2}$$

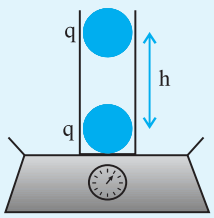
$$\Rightarrow F_t = 2/25\sqrt{2}\times10^{-2}\ N$$

$$\Rightarrow \vec{F_t} = 2/25\sqrt{2}\times10^{-2}\vec{j}$$

تعادل ذره‌های باردار با در نظر گرفتن نیروی گرانش

در این گونه مسائل نیروی کولنی بین بارها و وزن آن‌ها به گونه‌ای است که برایند نیروهای وارد بر بار صفر است و بار ساکن می‌ماند.

حالت ۱: بارها در راستای قائم‌اند:



● **مثال:** مطابق شکل دو گلولهٔ هم‌جرم که دارای بار یکسان هستند در لوله‌ای بدون اصطکاک با دیواره، در فاصله h از یک دیگر در حالت تعادل‌اند:

الف) فاصلهٔ h را بر حسب جرم گلوله به دست آورید.

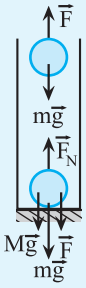
ب) نیروسنج چه عددی را نشان خواهد داد؟ (جرم لوله را M و جرم هر یک از گلوله‌ها را m در نظر بگیرید.)

● **پاسخ:**

الف) چون دوگلوله باردار یکدیگر را دفع کرده اند، لذا همنام هستند. از طرف دیگر، چون ذره بالایی در حالت تعادل است، بنابراین، وزن آن برابر نیروی الکتریکی بین دو گلوله است. در این حالت می‌توان نوشت:

$$F_t = 0 \Rightarrow F = mg \Rightarrow \frac{kq^2}{h^2} = mg$$

$$\Rightarrow h = q\sqrt{\frac{k}{mg}}$$

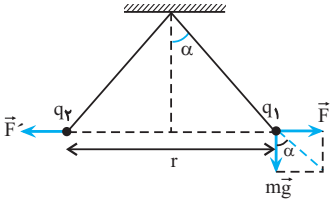


ب) با توجه به شکل مقابل داریم:

$$\text{عدد نیروسنج} = F_N = F + Mg + mg \xrightarrow{F=mg}$$

$$F_N = mg + Mg + mg = (2m + M)g$$

حالت ۲: آونگ الکتریکی در حال تعادل: برای حل این‌گونه مسائل کافی است، مطابق شکل زیر نیروهای وارد بر گلوله را رسم و از رابطه‌های مربوطه استفاده کنیم:



$$\begin{cases} \tan\alpha = \dfrac{F}{mg} \\ F = k\dfrac{|q_1||q_2|}{r^2} \end{cases}$$

قانون کولن و برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی

مفهوم و رابطه قانون کولن و برایند نیروهای الکتروستاتیکی هم‌راستا

۱۰ سؤال | پیمانهٔ ۲

صفحه‌های ۵ تا ۱۰ کتاب درسی مرجع

۱۱. کلمه یا عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب و یا جاهای خالی را کامل کنید.

الف) اگر بارهای الکتریکی دو جسم نابرابر باشند، نیروی الکتریکی وارد شده بر هر یک از جسم‌ها ..... می‌باشد.

ب) دو بارنقطه‌ای هم‌اندازه و هم‌نام یک‌دیگر را با نیروی F می‌رانند. اگر $\frac{۱}{۳}$ بار یکی را به دیگری منتقل کنیم نیروی بین آن‌ها در همان فاصله ..... برابر می‌شود.

پ) اندازهٔ نیروی الکتریکی بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط واصل آن‌ها اثر می‌کند، با ..... آن‌ها متناسب است و با ..... آن‌ها نسبت وارون دارد.

ت) اگر فاصلهٔ بین دو بار (افزایش ــ کاهش) یابد، نیروی الکتریکی افزایش پیدا می‌کند.

ث) نیرویی که دو بارالکتریکی بر هم وارد می‌کنند با (فاصلهٔ ــ مربع فاصلهٔ) بارها از یک‌دیگر نسبت وارون دارد.

ج) با نصف شدن فاصلهٔ میان دو ذرهٔ باردار، نیروی الکتریکی بین آن‌ها ($\frac{۱}{۴}$ ــ ۴) برابر می‌شود.

چ) اندازهٔ نیروی الکتریکی بین دو ذرهٔ باردار به علامت بارها بستگی (دارد ــ ندارد).

ح) بزرگی نیروی الکتریکی بین دو ذرهٔ باردار که در فاصلهٔ r از یک‌دیگر قرار دارند، با مربع فاصله دو ذره از هم نسبت وارون دارد. (درست ــ نادرست)

خ) نیروی الکتریکی که بار q به بار $۴q$ وارد می‌کند، کم‌تر از نیرویی است که بار $۴q$ به بار q وارد می‌کند. (درست ــ نادرست)

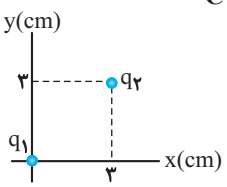
د) در ترازوی پیچشی کولن، نیروی بین بارها از اندازه‌گیری زاویهٔ چرخش تا رسیدن به حالت تعادل به‌دست می‌آید. (درست ــ نادرست)

ذ) نیروی الکتریکی که دو ذرهٔ باردار به یک‌دیگر وارد می‌کنند، هم‌اندازه و هم‌جهت هستند. (درست ــ نادرست)

(صفحه‌های ۵ و ۶، مرتبط با متن درس و رابطهٔ ۱-۲)
الف) اصفهان ــ صائب ــ ۱۴۰۰ (۵ بار تکرار)
ب) اصفهان ــ فرزانگان امین ــ ۱۴۰۰ (۳ بار تکرار)
پ) مریوان ــ نمونه دولتی فرزانگان ــ ۱۴۰۱ (۲ بار تکرار)
ت) تهران ــ فردانش ــ ۱۴۰۰ (۴ بار تکرار)
ث) مشهد ــ ولی‌عصر ــ ۱۴۰۰ (۵ بار تکرار)
ج) آبادان ــ بهجت ــ ۱۴۰۱ (۳ بار تکرار)
چ) کرج ــ فرزانگان ۳ ــ ۱۴۰۰ (۲ بار تکرار)
ح) تهران ــ دخترانه دارالمعلم ــ ۱۴۰۰ (۵ بار تکرار)
خ) ساری ــ فرزانگان ۲ ــ ۱۴۰۰ (۳ بار تکرار)
د) تهران ــ نمونه دولتی فدک ــ ۱۴۰۰ (۲ بار تکرار)
ذ) تهران ــ فاتح ــ ۱۴۰۱ (۴ بار تکرار)

۱۲. الف) دو ذرهٔ با بارهای $q_۱$ و $q_۲ = ۶q_۱$ در فاصلهٔ $۹cm$ از یک‌دیگر ثابت شده‌اند. اگر اندازهٔ نیروی الکتریکی که دو ذره بر هم وارد می‌کنند، $۶۰N$ باشد، اندازهٔ $q_۱$ و $q_۲$ را محاسبه کنید. ($k = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲}$)

ب) در شکل مقابل، بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر بار $q_۱$ را به‌دست آورید و شکل برداری آن را رسم کنید. ($k = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲}$ و $q_۱ = q_۲ = ۲\mu c$)



(صفحهٔ ۵، مرتبط با رابطهٔ ۱-۲)
الف) ارومیه ــ استیلا ــ ۱۴۰۰ (۴ بار تکرار)
(صفحهٔ ۵، مرتبط با رابطهٔ ۱-۲)
ب) کرج ــ استعدادهای درخشان شهید سلطانی ۱ ــ ۱۴۰۰ (۳ بار تکرار)

۱۳. دو بار الکتریکی $q_۱$ و $q_۲$ در فاصلهٔ r از هم واقع شده‌اند و نیروی F را به هم وارد می‌کنند. اگر اندازهٔ هر بار را ۳ برابر و فاصلهٔ بین بارها را نصف کنیم، نیروی بین آن‌ها چند F می‌شود؟

(صفحهٔ ۵، مرتبط با رابطهٔ ۱-۲)
تهران ــ مشوق پرواز ــ ۱۴۰۱ (۶ بار تکرار)

۱۴. الف) دو بار الکتریکی نقطه‌ای هم‌نام $q_۱ = -۲۸C$ و $q_۲$ در فاصلهٔ معینی از هم ثابت شده‌اند و با نیروی F یک‌دیگر را می‌رانند. اگر ۲۵ درصد از بار $q_۱$ را کم کرده و به بار $q_۲$ بیفزاییم، در همان فاصلهٔ قبلی، نیروی الکتریکی بین آن‌ها ۱/۵ برابر می‌شود. بار $q_۲$ چند μc است؟

ب) دو بار نقطه‌ای q در فاصلهٔ r نیروی F را به هم وارد می‌کنند. چند درصد از یکی از بارها را برداریم و به دیگری اضافه کنیم تا وقتی فاصلهٔ دو بار ۲۵ درصد افزایش می‌یابد، نیرویی که به هم وارد می‌کنند، ۵۲ درصد کاهش یابد؟

(صفحهٔ ۵، مرتبط با رابطهٔ ۱-۲)
الف) تهران ــ سرای دانش فلسطین ــ ۱۴۰۱ (۲ بار تکرار)
(صفحهٔ ۵، مرتبط با رابطهٔ ۱-۲)
ب) شیراز ــ فرزانگان ۱ ــ ۱۴۰۰ (۲ بار تکرار)

مرجع

۱۵. الف) دو کرهٔ رسانای مشابه با بارهای الکتریکی $q_1 = 5\mu C$ و $q_2 = -11\mu C$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصلهٔ $r = 30cm$ از هم دور می‌کنیم. نیرویی که این دو کره در فاصلهٔ r بر هم وارد می‌کنند:

۱) از چه نوعی است؟

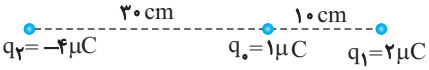
۲) بزرگی آن چند نیوتون است؟ $(k = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$

(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۳)
الف) کوهدشت ـ نمونه پردیس ـ ۱۴۰۰
(۴ بار تکرار)

ب) دو گوی رسانای کوچک و یکسان با بارهای $q_1 = -5nC$ و $q_2 = 9nC$ در فاصلهٔ $20cm$ از یک‌دیگر قرار دارند و به یک‌دیگر نیروی F را وارد می‌کنند. این دو گوی را با سیم رسانای نازکی به هم وصل می‌کنیم و پس از جدا کردن سیم، آن‌ها را در فاصلهٔ $40cm$ از یک‌دیگر قرار می‌دهیم. اگر در این حالت گوی‌ها نیروی F' را به یک‌دیگر وارد کنند، نسبت $\frac{F}{F'}$ چقدر است؟

(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۳)
ب) شیراز ـ استعدادهای درخشان شهید دستغیب ـ ۱۴۰۰
(۴ بار تکرار)

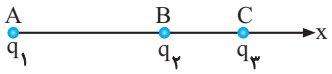
۱۶. در شکل مقابل، برایند نیروهای وارد بر بار $q_0 = 1\mu C$ را به‌دست آورید. $(k = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$



(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۵)
رشت ـ اندیشه‌های شریف ـ ۱۴۰۱
(۵ بار تکرار)

۱۷. در شکل زیر، سه ذرّهٔ باردار $q_1 = -2\mu C$، $q_2 = 1\mu C$ و $q_3 = 3\mu C$ در نقاط A، B و C روی یک خط راست ثابت شده‌اند. برایند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_3 را برحسب بردار یکهٔ $\vec{i}$ بنویسید.

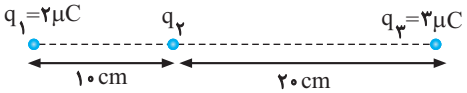
$(k = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$ ، $AC = 30cm$ و $BC = 10cm)$



(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۵)
تبریز ـ صدرای نور ـ ۱۴۰۰
(۵ بار تکرار)

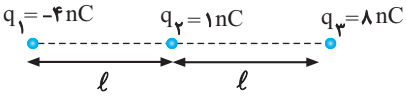
۱۸. مطابق شکل زیر، سه بارالکتریکی q_1، q_2 و q_3 در یک راستا قرار دارند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بارالکتریکی q_2 برابر $(-4/5N)\vec{i}$ باشد، نوع و اندازهٔ بارالکتریکی q_2 را تعیین کنید.

$(k = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$



(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۵)
دهدشت ـ فرزانگان ـ ۱۴۰۰
(۴ بار تکرار)

۱۹. در شکل زیر، اندازهٔ نیروی خالص وارد بر بار q_1، برابر F است. اگر بار q_2 و q_3 را با یک‌دیگر جابه‌جا کنیم، اندازهٔ نیروی خالص وارد بر بار q_1 چند F می‌شود؟



(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۵)
شیراز ـ استعدادهای درخشان شهید دستغیب ـ ۱۴۰۰
(۲۶ بار تکرار)

۲۰. الف) دو بارالکتریکی $q_1 = +2\mu C$ و $q_2 = -8\mu C$ در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری از هم قرار دارند. بار سوم q_3 را در چه محلی قرار دهیم تا برایند نیروهای وارد بر آن صفر شود؟

ب) دو بارالکتریکی $q_1 = 3\mu C$ و $q_2 = 27\mu C$ در فاصله ۸۰ سانتی‌متری از یک‌دیگر قرار دارند. اندازه و نوع بار q_3 را طوری تعیین کنید که هر سه بار در تعادل باشند.

(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۵)
الف) کرمانشاه ـ البرز ـ ۱۴۰۰
(۵ بار تکرار)

(صفحهٔ ۳۶، مرتبط با تمرین ۵)
ب) کرج ـ استعدادهای درخشان شهید سلطانی ۱ ـ ۱۴۰۰
(۲ بار تکرار)

پاسخ‌های تشریحی

فصل ۱

الکتریسیتهٔ ساکن

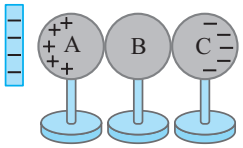
۱. الف) کوانتیده بودن بار ب) منفی
پ) صحیحی ت) پایستگی بار – کوانتیده بودن بار
ث) الکترون‌خواهی- منفی

۲. الف) درست ب) نادرست
پ) نادرست ت) کوانتیده بودن بار الکتریکی
ث) است ج) پایستگی بار

۳. الف) 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.
ب) پلاستیک بار منفی و ابریشم بار مثبت
پ) الکترون از کاغذ به لاستیک منتقل می‌شود. در این حالت، بار خالص کاغذ مثبت و بار خالص لاستیک منفی می‌شود.
ت) کمتر است. زیرا، وقتی بار مثبت دارد، تعدادی الکترون از دست می‌دهد، در نتیجه، نسبت به حالت خنثی که تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها یکسان است، جرم سکه کمتر می‌شود.
ث) منظور از دستگاه منزوی، یعنی این‌که، نه از محیط اطراف خود بار بگیرد و نه به آن بار بدهد. بدیهی است، دستگاه غیرمنزوی با محیط اطراف تبادل بار انجام می‌دهد.

۴. با کشیدن روکش پلاستیکی روی ظرف، بارهای ناهمنام در روکش و ظرف ایجاد می‌گردد و نیروی جاذبهٔ بین آن‌ها باعث می‌شود، روکش در جای خود ثابت بماند.

۵. مطابق شکل، وقتی میلهٔ با بار منفی را به کرهٔ A نزدیک کنیم، الکترون‌های آزاد (همان بارهای منفی) تحت تأثیر نیروی دافعهٔ الکتریکی به دورترین قسمت، یعنی سمت چپ کرهٔ C منتقل می‌شوند و در کرهٔ A بار مثبت ایجاد می‌گردد. در این حالت هیچ باری در کرهٔ B وجود ندارد. بنابراین با خارج کردن کرهٔ B و دور کردن میلهٔ با بار منفی، کرهٔ A دارای بار مثبت، کرهٔ C دارای بار منفی و کرهٔ B بدون بار (خنثی) می‌شود.



۶. الف) بار منفی- زیرا پلاستیک در انتهای منفی سری الکتریسیتهٔ مالشی قرار دارد.
ب) زیرا با تماس میلهٔ منفی اولیه با کلاهک الکتروسکوپ، الکترون‌ها به کلاهک و ورقه‌های الکتروسکوپ منتقل می‌گردد، در نتیجه، الکتروسکوپ دارای بار منفی خواهد شد. بنابراین، با نزدیک کردن میلهٔ دوم «که در اثر تماس با ابریشم بار مثبت پیدا کرده است» به کلاهک الکتروسکوپ، الکترون‌ها از ورقه‌ها به سمت کلاهک حرکت می‌کنند تا جذب میلهٔ با بار مثبت شوند، لذا، بار منفی ورقه‌ها کاهش یافته و به هم نزدیک می‌شوند.
پ) شیشه، زیرا در جدول سری الکتریسیتهٔ مالشی، شیشه به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر است.

۷. با مالش A به C ، جسم A دارای بار مثبت و جسم C دارای بار منفی خواهد شد. هم‌چنین با مالش B و D، جسم B دارای بار مثبت و جسم D دارای بار منفی می‌شود. با توجه به این توضیح داریم:
الف) دافعه - زیرا، هر دو دارای بار مثبت هستند.
ب) جاذبه - زیرا، A دارای بار مثبت و E که در ناحیهٔ انتهای منفی سری الکتریسیتهٔ مالشی است، دارای بار منفی می‌باشد.

۸. الف) $+۱۲/۸\,nC$
ب) با استفاده از رابطهٔ زیر داریم:

$$q = ne \xrightarrow[e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C]{q=۱۲/۸nC=۱۲/۸\times۱۰^{-۹}C}$$

$$۱۲/۸\times۱۰^{-۹} = n\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹} \Rightarrow n = ۸\times۱۰^{۱۰}$$

۹. الف) چون عدد اتمی کربن $^{۱۲}_{۶}C$ برابر $Z=۶$ می‌باشد، تعداد پروتون‌های آن ۶ تا است، لذا، بار هستهٔ اتم کربن که برابر مجموع بار پروتون‌ها می‌باشد، برابر است با:

$$q = +ne \xrightarrow[e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C]{n=۶}$$

$$q_{\text{هسته}} = +۶\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C = +۹/۶\times۱۰^{-۱۹}C$$

بار الکتریکی اتم کربن برابر مجموع بار هسته و بار منفی اتم است. چون اتم خنثی می‌باشد، بار مثبت هسته و بار منفی اتم قرینه‌اند، لذا بار خالص اتم کربن صفر می‌باشد.

$$q_{\text{اتم}} = q_{\text{هسته}} + q_{\text{منفی‌اتم}} = ۰$$

ب) اتم کربن یک بار یونیده (C^{+})، یعنی اتم کربن یک الکترون از دست داده است. بنابراین بار الکتریکی آن برابر است با:

$$q = +ne \xrightarrow{n=۱} q = +۱\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹} = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C$$

۱۰. الف) چون بار اولیهٔ جسم منفی است و به آن الکترون داده‌ایم، بار نهایی آن نیز منفی خواهد بود. بنابراین، با توجه به رابطهٔ $\Delta q = ne$ می‌توان نوشت:

$$\Delta q = q_۲ - q_۱ \xrightarrow[q_۱<۰\ ,\ \Delta q=ne]{q_۲=-۲q_۱} ne = -۲q_۱ - (-q_۱)$$

$$\Rightarrow ne = -q_۱ \xrightarrow[e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C]{n=۶\times۱۰^{۱۳}}$$

$$۶\times۱۰^{۱۳}\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹} = -q_۱$$

$$\Rightarrow q_۱ = -۹/۶\times۱۰^{-۶}C \Rightarrow q_۱ = -۹/۶\mu C$$

بار نهایی جسم برابر است با:

$$q_۲ = ۲q_۱ = ۲\times(-۹/۶) \Rightarrow q_۲ = -۱۹/۲\mu C$$

ب) چون جسم الکترون از دست داده است، بار اولیهٔ آن منفی است و چون بار آن قرینهٔ بار حالت اول می‌شود، بار آن برابر $+q_0$ خواهد شد. بنابراین با استفاده از رابطهٔ $\Delta q = ne$ می‌توان نوشت:

$$\Delta q = q_2 - q_1 \xrightarrow[q_2=q_0]{q_1=-q_0} \Delta q = q - (-q_0) \Rightarrow ne = 2q_0 \xrightarrow[e=1/6\times10^{-19}C]{n=5\times10^{15}}$$

$$5\times10^{15}\times1/6\times10^{-19} = 2\times q_0 \Rightarrow q_0 = 4\times10^{-4}C$$

$$\xrightarrow{1C=10^6\mu C} q_0 = 4\times10^{-4}\times10^6\mu C = 400\mu C$$

$$\xrightarrow{q_1=-q_0} q_1 = -400\mu C$$

---

۱۱. الف) یکسان ب) $\frac{8}{9}$

پ) حاصل‌ضرب – مربع فاصلهٔ

ت) کاهش ث) مربع فاصلهٔ

ج) ۴ چ) ندارد

ح) درست خ) نادرست

د) درست ذ) نادرست

---

۱۲. الف) با استفاده از قانون کولن به صورت زیر q_1 و q_2 را می‌یابیم:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow[r=9cm=9\times10^{-2}m]{|q_2|=6|q_1|\ ,\ F=60N}$$

$$60 = \frac{9\times10^9\times|q_1|\times6|q_1|}{81\times10^{-4}} \Rightarrow$$

$$|q_1|^2 = 9\times10^{-12} \Rightarrow |q_1| = 3\times10^{-6}C = 3\mu C$$

$$|q_2| = 6|q_1| = 6\times3 \Rightarrow |q_2| = 18\mu C$$

ب) ابتدا فاصلهٔ بین دو بار الکتریکی را می‌یابیم. به همین منظور از رابطهٔ فیثاغورس استفاده می‌کنیم:

$$r = \sqrt{3^2+3^2} = 3\sqrt{2}\,cm = 3\sqrt{2}\times10^{-2}m$$

اکنون با استفاده از قانون کولن اندازهٔ نیرو را می‌یابیم:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow[r=3\sqrt{2}\times10^{-2}m]{|q_1|=|q_2|=2\mu C=2\times10^{-6}C}$$

$$F = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{9\times2\times10^{-4}} \Rightarrow F = 20N$$

---

۱۳. با استفاده از رابطهٔ مقایسه‌ای قانون کولن می‌توان نوشت:

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

$$\xrightarrow[|q_1'|=3|q_1|]{|q_2'|=3|q_2|,\ r'=\frac{r}{2}} \frac{F'}{F} = \frac{3|q_1|}{|q_1|}\times\frac{3|q_2|}{|q_2|}\times\left(\frac{r}{\frac{r}{2}}\right)^2$$

$$\Rightarrow \frac{F'}{F} = 9\times4 \Rightarrow F' = 36F$$

---

۱۴. الف) با استفاده از رابطهٔ مقایسه‌ای قانون کولن و با توجه به ثابت بودن فاصلهٔ بین دو بار الکتریکی، داریم:

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

$$\xrightarrow[q_1'=-28-(\frac{25}{100}\times(-28))=-21\mu C]{q_1=-28\mu C\ ,\ q_1'=-28-(\frac{25}{100}\times(-28))=-21\mu C} \xrightarrow[F'=1/5F]{q_2'=-q_2-\frac{1}{4}(-28)=-(q_2+7)\ ,}$$

$$\frac{1/5F}{F} = \frac{21}{28}\times\frac{q_2+7}{q_2} \Rightarrow \frac{3}{2} = \frac{3}{4}\times\frac{q_2+7}{q_2}$$

$$\Rightarrow 2q_2 = q_2+7 \Rightarrow q_2 = 7\mu C \xrightarrow{q_2<0} q_2 = -7\mu C$$

دقت کنید، چون دو بار الکتریکی همنام‌اند و q_1 منفی می‌باشد، باید q_2 نیز منفی باشد.

ب) با استفاده از رابطهٔ مقایسه‌ای قانون کولن درصد تغییر بار را حساب می‌کنیم. اگر x برابر از بار q_1 کم و به بار q_2 اضافه کنیم، می‌توان نوشت:

$$|q_1| = |q_2| = q \quad , \quad |q_1'| = q - xq = q(1-x)$$

$$|q_2'| = q + xq = q(1+x) \ , \ r' = r + \frac{25}{100}r = \frac{5}{4}r$$

$$F' = F - 0/52F = 0/48F$$

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

$$\frac{0/48F}{F} = \frac{q(1-x)}{q}\times\frac{q(1+x)}{q}\times\left(\frac{r}{\frac{5}{4}r}\right)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{48}{100} = (1-x^2)\times\frac{16}{25} \Rightarrow \frac{3}{4} = 1-x^2$$

$$\Rightarrow x^2 = \frac{1}{4} \Rightarrow x = \frac{1}{2} \Rightarrow x = 50\%$$

---

۱۵. الف- ۱) ابتدا بارهای الکتریکی بعد از تماس دو کرهٔ رسانای مشابه را به دست می‌آوریم. وقتی دو کرهٔ رسانای مشابه را به هم تماس می‌دهیم، بار الکتریکی بعد از تماس کره‌ها هم‌نوع، هم‌اندازه و برابر نصف مجموع بارهایی است که دو کره قبل از تماس با یکدیگر داشته‌اند. بنابراین بار هر کره بعد از تماس برابر است با:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1+q_2}{2} \xrightarrow[q_2=-11\mu C]{q_1=5\mu C}$$

$$q_1' = q_2' = \frac{5-11}{2} = -3\mu C$$

می‌بینیم بعد از تماس، بار کره‌ها منفی می‌شود، لذا نیرویی که به یکدیگر وارد می‌کنند از نوع رانشی خواهد بود.

الف- ۲) با استفاده از قانون کولن، بزرگی نیروی بین دو بار برابر است با:

$$F = k\frac{|q'_1||q'_2|}{r^2} \xrightarrow[r=30cm=3\times10^{-1}m]{|q'_1|=|q'_2|=3\mu C=3\times10^{-6}C}$$

$$F = \frac{9\times10^9\times3\times10^{-6}\times3\times10^{-6}}{9\times10^{-2}} \Rightarrow F = 0/9N$$

ب) ابتدا بارهای الکتریکی بعد از تماس دو کرهٔ رسانای مشابه را به دست می‌آوریم. وقتی دو کرهٔ رسانای مشابه را به هم تماس می‌دهیم، بار الکتریکی بعد از تماس کره‌ها هم‌نوع، هم‌اندازه و برابر نصف مجموع بارهایی است که دو کره قبل از تماس با یکدیگر داشته‌اند. بنابراین بار هر کره بعد از تماس برابر است با:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1+q_2}{2} \xrightarrow[q_2=9nC]{q_1=-5nC} q'_1 = q'_2 = \frac{-5+9}{2} = 2nC$$

اکنون با استفاده از رابطهٔ مقایسه‌ای قانون کولن نیروی الکتریکی بعد از تماس دو گوی را حساب می‌کنیم.

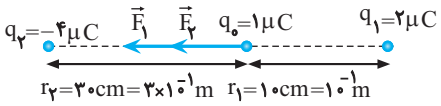
$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{2} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{|q'_1|}{|q_1|}\times\frac{|q'_2|}{|q_2|}\times(\frac{r}{r'})^2$$

$$\xrightarrow[|q_1|=5nC,|q_2|=9nC,r=20cm]{|q'_1|=|q'_2|=2nC,r'=40cm} \frac{F'}{F} = \frac{2}{5}\times\frac{2}{9}\times(\frac{20}{40})^2$$

$$\Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{4}{45}\times\frac{1}{4} \Rightarrow \frac{F}{F'} = 45$$

---

۱۶. مطابق شکل زیر، ابتدا نیروهایی که از طرف بارهای q_1 و q_2 بر بار q_0 وارد می‌شود را رسم می‌کنیم و سپس با استفاده از قانون کولن اندازهٔ هر یک از نیروها را به دست می‌آوریم و در آخر، با توجه به جهت نیروها، اندازهٔ برایند آن‌ها را می‌یابیم:



$$F_2 = k\frac{|q_2||q_0|}{r_2^2} = \frac{9\times10^9\times4\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{9\times10^{-2}} \Rightarrow F_2 = 0/4N$$

$$F_1 = k\frac{|q_1||q_0|}{r_1^2} = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{10^{-2}} \Rightarrow F_1 = 1/8N$$

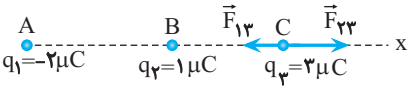
چون نیروهای وارد بر بار q_0 هم‌جهت‌اند، اندازهٔ برایند آن‌ها برابر مجموع اندازهٔ آن‌ها است:

$$F_t = F_1 + F_2 = 1/8 + 0/4 \Rightarrow F_t = 2/2N$$

---

۱۷. مطابق شکل زیر، ابتدا نیروهایی که از طرف بارهای q_1 و q_2 بر بار q_3 وارد می‌شود را رسم می‌کنیم و سپس با استفاده از قانون کولن اندازهٔ هر یک از نیروها را به دست می‌آوریم و با توجه به جهت آن، نیروی برایند را برحسب بردار یکه می‌نویسیم.

رسم نیروها:



$$F_{13} = k\frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} \xrightarrow[|q_1|=2\times10^{-6}C,\ |q_3|=3\times10^{-6}C]{r_{13}=AC=30cm=3\times10^{-1}m}$$

$$F_{13} = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}\times3\times10^{-6}}{9\times10^{-2}} = 0/6N$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{13} = (-0/6N)\vec{i}$$

$$F_{23} = k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} \xrightarrow[|q_2|=1\times10^{-6}C]{r_{23}=BC=10cm=10^{-1}m}$$

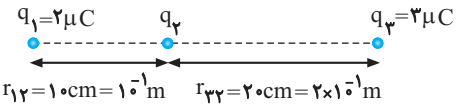
$$F_{23} = \frac{9\times10^9\times1\times10^{-6}\times3\times10^{-6}}{10^{-2}} = 2/7N \Rightarrow \vec{F}_{23} = (2/7N)\vec{i}$$

برایند نیروها برابر است با:

$$\vec{F}_t = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = (-0/6N)\vec{i} + (2/7N)\vec{i} \Rightarrow \vec{F}_t = (2/1N)\vec{i}$$

---

۱۸. ابتدا اندازهٔ نیروهایی را که بارهای q_1 و q_3 بر بار q_2 وارد می‌کنند، بر حسب q_2 به دست می‌آوریم:



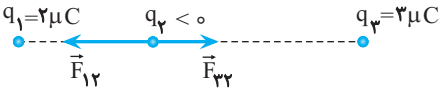
$$F_{12} = k\frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}\times q_2\times10^{-6}}{10^{-2}}$$

$$\Rightarrow F_{12} = 1/8q_2$$

$$F_{32} = k\frac{|q_3||q_2|}{r_{32}^2} = \frac{9\times10^9\times3\times10^{-6}\times q_2\times10^{-6}}{4\times10^{-2}}$$

$$\Rightarrow F_{32} = 0/675q_2$$

می‌بینیم $F_{12} > F_{32}$ است. با توجه به این‌که برایند نیروها $\vec{F}_t = (-4/5N)\vec{i}$، در خلاف جهت محور x قرار دارد و $F_{12} > F_{32}$ است، باید $\vec{F}_{12}$ در جهت برایند نیروها و خلاف جهت محور x باشد. در این صورت، لازم است بار q_2 منفی باشد. بنابراین، جهت نیروی $\vec{F}_{32}$ در جهت محور x خواهد بود.

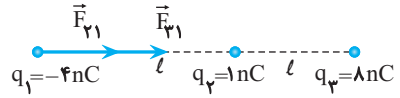


$$F_t = F_{13} - F_{23} \xrightarrow{F_t=4/5N}$$

$$4/5 = 1/8|q_2| - 0/675|q_2|$$

$$\Rightarrow 4/5 = 1/125|q_2| \Rightarrow |q_2| = 4\mu C$$

۱۹. ابتدا با استفاده از قانون کولن اندازه و جهت نیروهای وارد بر بار q_1 را می‌یابیم و سپس برایند آن‌ها را پیدا می‌کنیم:



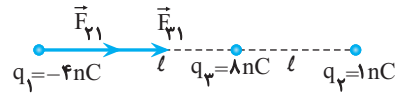
$$F_{21}=k\frac{|q_1||q_2|}{r_{21}^2}\xrightarrow{r_{21}=\ell}F_{21}=\frac{k\times4\times1}{\ell^2}\Rightarrow F_{21}=\frac{4k}{\ell^2}$$

$$F_{31}=k\frac{|q_3||q_1|}{r_{31}^2}\xrightarrow{r_{31}=2\ell}F_{31}=\frac{k\times8\times4}{4\ell^2}$$

$$\Rightarrow F_{31}=\frac{8k}{\ell^2}$$

$$F_t=F_{31}+F_{21}=\frac{4k}{\ell^2}+\frac{8k}{\ell^2}\Rightarrow F_t=\frac{12k}{\ell^2}$$

اکنون برایند نیروهای وارد بر بار q_1 را در حالتی که بار q_2 و q_3 را با یکدیگر جابه‌جا نماییم، به دست می‌آوریم:



$$F_{31}=k\frac{|q_3||q_1|}{r_{31}^2}\xrightarrow{r_{31}=\ell}F_{31}=\frac{k\times8\times4}{\ell^2}\Rightarrow F_{31}=\frac{32k}{\ell^2}$$

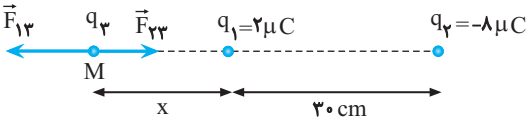
$$F_{21}=k\frac{|q_2||q_1|}{r_{21}^2}\xrightarrow{r_{21}=2\ell}F_{21}=\frac{k\times1\times4}{4\ell^2}\Rightarrow F_{21}=\frac{k}{\ell^2}$$

$$F'_t=F_{31}+F_{21}=\frac{32k}{\ell^2}+\frac{k}{\ell^2}\Rightarrow F'_t=\frac{33k}{\ell^2}$$

$$\frac{F'_t}{F_t}=\frac{\frac{33k}{\ell^2}}{12\frac{k}{\ell^2}}\xrightarrow{F_t=F}\frac{F'_t}{F}=\frac{33}{12}\Rightarrow F'_t=\frac{11}{4}F$$

---

۲۰. الف) چون بارهای q_1 و q_2 ناهمنام‌اند، باید بار q_3 را خارج از فاصلهٔ بین دوبار و روی امتداد خط واصل آن‌ها و نزدیک به باری که اندازهٔ آن کوچک‌تر است، قرار دهیم تا برایند نیروهای وارد بر آن صفر شود، زیرا، در فاصلهٔ بین دو بار، نیروهای وارد بر بار q_3 هم‌جهت‌اند، لذا برایندشان نمی‌تواند صفر شود. دقت کنید، اندازه و علامت بار q_3 در تعادل آن بی تاثیر است. در این‌جا q_3 را مثبت فرض می‌کنیم.



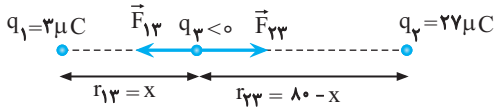
$$F_{13}=F_{23}\xrightarrow{F=k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}}k\frac{|q_1||\cancel{q_3}|}{r_{13}^2}=k\frac{|q_2||\cancel{q_3}|}{r_{23}^2}$$

$$\frac{|q_1|}{r_{13}^2}=\frac{|q_2|}{r_{23}^2}\xrightarrow[r_{23}=30+x]{r_{13}=x}\frac{2}{x^2}=\frac{8}{(30+x)^2}$$

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

$$\frac{1}{x}=\frac{2}{30+x}\Rightarrow 2x=30+x\Rightarrow x=30cm$$

ب) چون بارهای q_1 و q_2، مثبت‌اند، باید بار q_3 بین دو بار قرار گیرد تا هر سه بار در حال تعادل باشند. بنابراین، ابتدا فاصلهٔ بار q_3 از بار q_1 را می‌یابیم. به همین منظور از شرط تعادل بار q_3 استفاده می‌کنیم. دقت کنید، علامت بار q_3 الزاماً باید منفی باشد، در غیر این صورت بارهای q_1 و q_2 تعادل نخواهند داشت.



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

$$\Rightarrow\frac{3}{x^2}=\frac{27}{(80-x)^2}\Rightarrow\frac{1}{x^2}=\frac{9}{(80-x)^2}\Rightarrow\frac{1}{x}=\frac{3}{80-x}$$

$$\Rightarrow 3x=80-x\Rightarrow 4x=80\Rightarrow x=20cm$$

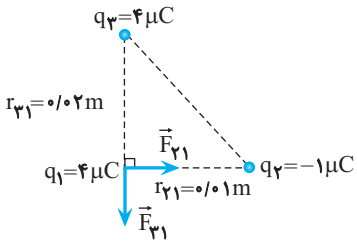
اکنون شرط تعادل را برای بار q_1 (یا q_2) می‌نویسیم و اندازهٔ بار q_3 را می‌یابیم.

$$F_{31}=F_{21}\Rightarrow\frac{k|q_3||\cancel{q_1}|}{r_{31}^2}=k\frac{|q_2||\cancel{q_1}|}{r_{21}^2}\xrightarrow[r_{31}=20cm]{r_{21}=80cm}$$

$$\frac{|q_3|}{400}=\frac{27}{6400}\Rightarrow|q_3|=\frac{27}{16}\xrightarrow{q_3<0}q_3=-\frac{27}{16}\mu C$$

---

۲۱. الف) مطابق شکل زیر، ابتدا نیروهایی که از طرف بارهای q_2 و q_3 بر بار q_1 وارد می‌شود، رسم می‌کنیم و سپس با استفاده از قانون کولن اندازهٔ هر یک از نیروها را به دست می‌آوریم و با توجه به جهت نیروها، هر یک را بر حسب بردار یکه می‌نویسم و در آخر، آن‌ها را جمع برداری می‌کنیم:



$$F_{31}=k\frac{|q_1||q_3|}{r_{31}^2}\xrightarrow[|q_1|=|q_3|=4\times10^{-6}C]{r_{31}=0/02m=2\times10^{-2}m}$$

$$F_{31}=\frac{9\times10^9\times4\times10^{-6}\times4\times10^{-6}}{4\times10^{-4}}\Rightarrow\vec{F}_{31}=(-360N)\vec{j}$$

$$F_{21}=k\frac{|q_2||q_1|}{r_{21}^2}\xrightarrow[|q_1|=4\times10^{-6}C\,,\,|q_2|=1\times10^{-6}C]{r_{21}=0/01m=10^{-2}m}$$