



بار الکتریکی

کارت ۱

فصل ۱

تجربه نشان داده است که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. این دو نوع بار الکتریکی توسط دانشمند آمریکایی فرانکلین، بار مثبت و بار منفی نام گذاری شد. مزیت این نوع نام گذاری این است که زمانی که جسمی خنثی باشد جمع جبری بارهای آن جسم صفر می شود. دو بار هم نام به یکدیگر نیروی دافعه وارد می کنند.

دو بار غیرهم نام به یکدیگر نیروی جاذبه وارد می کنند.

نکته ۱: جسم باردار (فارغ از نوع بار الکتریکی اش) به جسم رسانای خنثی نیروی جاذبه وارد می کند.

یکای بار الکتریکی در دستگاه SI، کولن است و آن را با نماد C نمایش می دهند با توجه به این که یک کولن مقدار بار بزرگی است، از این رو در این فصل ما اغلب با بارهایی از مرتبه میکروکولن (μC) و نانو کولن (nC) سروکار داریم.



بار الکتریکی

کارت ۱

فصل ۱

۱) سه جسم A, B, C را دو به دو به یکدیگر نزدیک می‌کنیم. وقتی A و B به یکدیگر نزدیک می‌شوند، هم‌دیگر را با نیروی الکتریکی جذب می‌کنند و اگر B و C را به یکدیگر نزدیک کنیم، یکدیگر را با نیروی الکتریکی دفع می‌کنند. کدام یک از گزینه‌های زیر می‌تواند صحیح باشد؟

(سراسری خارج از کشور تجربی ۹۰)

- ۱) A, C بارهای هم‌نام و هم اندازه دارند.
- ۲) C, B بارهای غیرهم‌نام دارند.
- ۳) B بدون بار و C باردار است.
- ۴) A بدون بار و B باردار است.

پاسخ

۱) گزینه‌ی «۴»

اگر دو جسم یکدیگر را دفع کنند، در این صورت هر دو جسم باردار و دارای بارهای هم‌نام هستند. بنابراین B و C هر دو باردار و دارای بارهای هم‌نام هستند. اگر دو جسم یکدیگر را جذب کنند دو حالت وجود دارد: یا هر دو باردار و دارای بارهای غیرهم‌نام هستند و یا یکی باردار و دیگری خنثی است بنابراین جسم A یا خنثی است و یا دارای باری غیرهم‌نام با B است.



روش‌های باردار کردن اجسام

کارت ۲ فصل ۱

روش‌های باردار کردن اجسام:

۱- مالش: از این روش برای باردار کردن اجسام نارسانا استفاده می‌کنند. در هنگام انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسمی دیگر تعادل بارها در اتم خنثی بر هم می‌خورد و جسمی که الکترون از دست می‌دهد بار مثبت پیدا می‌کند و بر عکس، جسمی که الکترون اضافی دریافت می‌کند بار آن منفی می‌گردد.

نکته: به دست آوردن یا از دست دادن الکترون دو جسم در تماس با یکدیگر را بر اساس جدولی موسوم به سری تریبوالکتریک (Tribos) مشخص می‌کنند. در این جدول مواد پایین‌تر، الکترون خواهی بیش‌تری دارند.

یعنی اگر دو ماده را با یکدیگر مالش دهیم، الکترون‌ها از ماده بالاتر جدول به ماده‌ای که در قسمت پایین‌تر جدول قرار دارد منتقل می‌شوند.

۲- تماس: از این روش برای باردار کردن اجسام رسانا استفاده می‌کنند. اگر میله دارای بار را به جسمی رسانا تماس دهیم، تعدادی الکترون بین میله و جسم رسانا منتقل می‌شود. این روش ایجاد بار را روش تماس می‌نامند.

۳- القای الکتریکی: از این روش برای باردار کردن اجسام رسانا استفاده می‌کنند. این روش را در بخش‌های بعدی معرفی خواهیم کرد.

انتهای حمایت سری

سری انسان

سینه

پایین

شعر

سوی‌گره

سرب

سرب

آلومینم

روستای

کافور

چوب

پارچه کتان

کهریا

روح قره

الاستیک، پلی‌اتیلن

الاستیک

پلاستیک

انتهای مطلق سری



روش‌های باردار کردن اجسام

کارت ۲
فصل ۱

۱) در شکل زیر گلوله فلزی بارداری آویزان است. کره فلزی خنثی را که دارای دسته نارسانا است به گلوله تماس می‌دهیم. سپس کره را جدا می‌کنیم و دوباره به آرامی به آن گلوله نزدیک می‌کنیم. در این صورت بار کره و گلوله می‌شود.

(سراسری تجربی ۸۶ با اندکی تغییر)



- ۱) مثبت - جذب
- ۲) مثبت - دفع
- ۳) منفی - جذب
- ۴) منفی - دفع

پاسخ

۱) گزینه «۲»

زمانی که کره را با گلوله تماس می‌دهیم بار الکتریکی بین آن‌ها تقسیم می‌شود. پس بار کره مثبت خواهد شد. زمانی که دوباره کره را به گلوله نزدیک می‌کنیم چون بارهای آن‌ها هم نوع هستند یکدیگر را دفع می‌کنند.



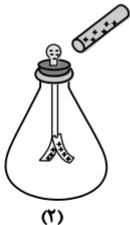
تشخیص باردار بودن جسم

کارت ۳ فصل ۱

باردار بودن یک جسم و نوع بار آن را می‌توانیم با الکتروسکوپ (برق‌نما) تعیین کنیم.

تشخیص باردار بودن یک جسم:

- ۱- جسم را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک می‌کنیم.
- ۲- در صورتی که ورقه‌های الکتروسکوپ از هم دور شوند جسم باردار است در غیر این صورت جسم باردار نیست.





تشخیص باردار بودن جسم

کارت ۳

فصل ۱

۱) میله‌ای با بار مثبت را کنار کلاهک الکتروسکوپ بدون باری قرار می‌دهیم و دست خود را لحظه‌ای با کلاهک تماس داده و سپس دست و میله را از کلاهک دور می‌کنیم. در این حالت بار کلاهک و بار ورقه‌ها می‌باشد.

۲) منفی - مثبت

۱) منفی - منفی

۴) مثبت - مثبت

۳) مثبت - منفی

پاسخ

۱) گزینه‌ی «۱»

با نزدیک کردن میله با بار مثبت به کلاهک الکتروسکوپ، بارهای منفی روی کلاهک الکتروسکوپ و بارهای مثبت روی ورقه‌های الکتروسکوپ القا می‌شود. وقتی با دست خود کلاهک را لمس می‌کنیم بار هم‌نام میله تخلیه می‌شود. یعنی در این حالت بار مثبت تخلیه می‌شود. بنابراین در نهایت بار کلاهک و بار ورقه‌ها منفی خواهد شد.

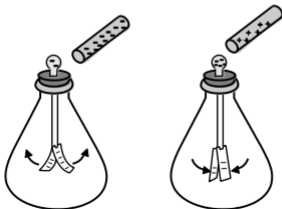


تشخیص نوع بار

کارت ۴ فصل ۱

تشخیص نوع بار یک جسم:

مرحله ۱: به روش تماس، الکتروسکوپ را باردار می‌کنیم.
 مرحله ۲: جسم را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم.
 مرحله ۳: در صورتی که ورقه‌های الکتروسکوپ از هم دور شوند بار جسم، هم‌نام با بار الکتروسکوپ و در صورتی که ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک شوند، بار جسم، مخالف بار الکتروسکوپ می‌باشد.





تشخیص نوع بار

کارت ۴

فصل ۱

۱) اگر میله‌ای با بار مثبت را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپی که بار منفی دارد نزدیک کنیم. (بار میله بیش‌تر از بار الکتروسکوپ است.) در این حالت ورقه‌های الکتروسکوپ:

۱) به هم نزدیک می‌شوند.

۲) از هم دور می‌شوند.

۳) ابتدا به هم نزدیک و سپس از هم دور می‌شوند.

۴) ابتدا از هم دور و سپس به هم نزدیک می‌شوند.

پاسخ

۱) گزینه‌ی «۳»

وقتی میله با بار مثبت را به کلاهک الکتروسکوپ با بار منفی نزدیک می‌کنیم تعدادی از بارهای منفی روی ورقه‌ها به سمت کلاهک الکتروسکوپ جذب می‌شوند بنابراین ورقه‌ها بار منفی کم‌تری دارند و انحراف آن‌ها کم می‌شود ولی بعد از خنثی شدن بار ورقه‌ها، چون بار میله بیش‌تر از بار کلاهک الکتروسکوپ است بنابراین بار ورقه‌ها مثبت می‌شود و مجدداً ورقه‌ها از هم دور می‌شوند.



پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

کارت ۵ فصل ۱

بار بنیادی: اندازه بار منفی الکترون دقیقاً برابر با اندازه بار مثبت پروتون است. این مقدار بار، بار بنیادی نامیده می‌شود که آن را با نماد e نمایش می‌دهند و در یکای SI برابر است با:

$$e = 1/60217663 \times 10^{-19} \text{C} \approx 1/6 \times 10^{-19} \text{C}$$

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

اصل کوانتیده بودن بار: همواره بار الکتریکی یک جسم مضرب صحیحی از بار بنیادی (e) می‌باشد یعنی:

$$q = \pm ne \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

نکته ۱: در رابطه فوق علامت $+$ به معنای از دست دادن الکترون و علامت $-$ به معنای به دست آوردن الکترون می‌باشد.

نکته ۲: هیچ‌گاه امکان ندارد بار جسمی از بار الکترون کمتر باشد.



پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

کارت ۵
فصل ۱

۱) چند الکترون باید از یک سکهٔ خنثی خارج شود تا بار الکتریکی آن $1\mu\text{C}$ شود؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19}\text{C}$)

(سراسری ریاضی - ۹۵)

$$1/6 \times 10^{12} \quad (۲)$$

$$1/6 \times 10^6 \quad (۱)$$

$$6/25 \times 10^{12} \quad (۴)$$

$$6/25 \times 10^6 \quad (۳)$$

۲) برای آن که بار الکتریکی جسمی را از $-3/2$ میکروکولن به $+6/4$ میکروکولن تغییر دهیم تبادل الکترون چگونه باید صورت گیرد؟

(آزمون کانون ۹۲)

پاسخ

۱) گزینه‌ی «۴»

$$q = +ne \xrightarrow{q=10^{-6}\text{C}} 10^{-6} = n \times 1/6 \times 10^{-19}$$

$$\rightarrow n = \frac{1}{1/6} \times 10^{13} = 6/25 \times 10^{12}$$

۲) برای آن که بار جسم مثبت شود، جسم باید الکترون از دست بدهد. با توجه به رابطهٔ $q = ne$ تعداد الکترون تبدالی را به دست می‌آوریم:

$$q = ne \xrightarrow{q=6/4 - (-3/2) = 9/6\mu\text{C}} \rightarrow$$

$$9/6 \times 10^{-6} = n \times 1/6 \times 10^{-19}$$

$$\rightarrow n = \frac{9/6}{1/6} \times 10^{13} = 6 \times 10^{13}$$



قانون کولن

کارت ۶

فصل ۱

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

$$F_E = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \quad \text{معکوس دارد:}$$

در رابطه فوق q_1 و q_2 بارهای الکتریکی بر حسب (C)، r فاصله بین دو بار نقطه‌ای بر حسب متر (m) و F_E بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر بار بر حسب نیوتون (N) است. در این رابطه k که ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد برابر است با:

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$$

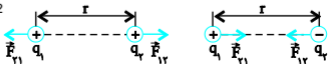
نکته ۱: ثابت کولن را می‌توان بر حسب یک ضریب و ثابت دیگر به

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \text{نام ضریب گذردهی الکتریکی خلاء (ϵ_0) نیز نوشت:}$$

$$\text{که در آن } \epsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N.m}^2} \text{ است.}$$

نکته ۲: دو نیروی \vec{F}_{12} (نیروی که بار q_1 به q_2 وارد می‌کند) و \vec{F}_{21} (نیروی که بار q_2 به q_1 وارد می‌کند). بنابر قانون سوم نیوتون هم اندازه، هم راستا و در خلاف جهت یکدیگر هستند.

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$





قانون کولن

کارت ۶

فصل ۱

۱) دو بار الکتریکی نقطه‌ای q_1 و $q_2 = 2q_1$ در فاصله r از هم قرار دارند و به هم نیروی دافعه وارد می‌کنند. چند درصد از بار q_2 را به q_1 منتقل کنیم تا در همان فاصله، نیروی دافعه بین بارهای الکتریکی بیشینه شود؟

(سراسری خارج از کشور ریاضی ۹۵)

۱) ۱۵ ۲) ۲۵ ۳) ۴۰ ۴) ۵۰

پاسخ

۱) گزینه‌ی «۲»

در فاصله ثابت، نیروی بین بارهای الکتریکی هم‌نام زمانی بیشینه است که اندازه دو بار با هم برابر باشد. اگر بار نهایی را با q'_1 و q'_2 نشان دهیم بنابر اصل پایستگی بار داریم:

$$\begin{cases} q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \\ q_2 = 2q_1 \rightarrow 3q_1 = 2q'_1 \rightarrow q'_1 = \frac{3}{2}q_1 \\ q'_1 = q'_2 \end{cases}$$

بنابراین بار $\frac{q_1}{2}$ از بار q_2 به بار q_1 منتقل شده است.

$$\frac{q_2 - q'_2}{q_2} \times 100 = \frac{2q_1 - \frac{3}{2}q_1}{2q_1} \times 100 = 25\%$$



بردارها

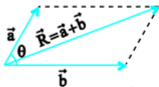
کارت ۷
فصل ۱

بردار: بردار پاره خط جهت داری می باشد که آن را به صورت پیکان نمایش می دهند. جهت پیکان جهت کمیت برداری و بزرگی طول آن (بر اساس مقیاس) بزرگی کمیت را نشان می دهد.
برآیند دو بردار:

تعیین جهت برآیند: دو بردار را از یک نقطه رسم می کنیم به طوری که این دو بردار دو ضلع متوازی الاضلاع باشند. قطری از متوازی الاضلاع که از محل دو بردار رسم می شود، برآیند دو بردار است.

تعیین بزرگی برآیند: در صورتی که اندازه بردارها a و b باشد، زاویه بین دو بردار θ و اندازه بردار برآیند R باشد، داریم:

$$R^2 = a^2 + b^2 + 2ab \cos \theta$$

**تفاضل دو بردار:**

تعیین جهت تفاضل: در صورتی که دو بردار از یک نقطه رسم شده باشند، تفاضل دو بردار برداری است که انتهای بردار دوم را به انتهای بردار اول متصل کند.

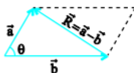


بردارها

کارت ۷ فصل ۱

تعیین بزرگی تفاضل: در صورتی که اندازه بردارها a و b باشد، زاویه بین دو بردار θ و اندازه تفاضل بردارها R' باشد، داریم:

$$R'^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$



تجزیه بردارها: هر بردار دلخواه مانند \vec{A} را می‌توان به ۲ بردار در راستای x و y تجزیه کرد:

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

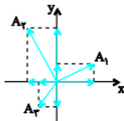


محاسبه بردارها با استفاده از تجزیه بردارها:

- ۱- تک تک بردارها را در راستای x و y تجزیه می‌کنیم.
- ۲- برایند در راستای محور x را به دست می‌آوریم. (R_x)
- ۳- برایند در راستای محور y را به دست می‌آوریم. (R_y)
- ۴- برایند بردارها را از رابطه $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ به دست می‌آوریم.

$$\begin{cases} R_x = A_{1x} - A_{2x} - A_{3x} \\ R_y = A_{1y} + A_{2y} - A_{3y} \end{cases}$$

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





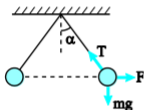
آونگ الکتریکی

کارت ۸

فصل ۱

فرض کنید دو گلوله به جرم‌های m_1 و m_2 که بار آن‌ها q_1 و q_2 است را توسط دو نخ هم طول عایق به نقطه‌ای از سقف بسته‌ایم. در صورتی که بارها هم‌نام باشند، هر یک از گلوله‌ها تحت اثر نیروی وزن (mg)، کشش نخ (T) و نیروی دافعه کولنی (F) قرار می‌گیرد. با توجه به شکل زیر داریم:

در صورتی که آونگ در تعادل باشد:



$$\begin{cases} \text{نیرو در } x = 0 \\ \text{راستای } y = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} F - T \sin \alpha = 0 \\ mg - T \cos \alpha = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} F = T \sin \alpha \\ mg = T \cos \alpha \end{cases}$$

بنابراین اندازه نیروی کشش طناب بر حسب mg و F برابر است با:

$$T = \sqrt{(mg)^2 + F^2}$$



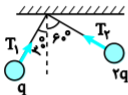
آونگ الکتریکی

کارت ۸

فصل ۱

۱) در شکل زیر آونگ الکتریکی باردار و هم طول، در حالت تعادل قرار دارند. کشش نخ T_1 چند برابر کشش نخ T_2

است؟ (سراسری ریاضی - ۹۵)

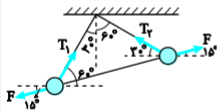


- (۱) $\frac{1}{2}$
 (۲) $\frac{\sqrt{3}}{3}$
 (۳) $\sqrt{3}$
 (۴) ۲

پاسخ

۱) گزینه‌ی «۳»

ابتدا نیروها را در راستای x تجزیه می‌کنیم. برای هر بار شرط آن که آونگ در تعادل باشد این است که برآیند در راستای محور x و y صفر شوند، بنابراین:



$$\begin{cases} \text{برای بار اول} & F \cos 15 = T_1 \cos 60 \\ & F \cos 15 = T_2 \cos 30 \end{cases}$$

برای دوم

$$\rightarrow \frac{T_1 \times \frac{1}{2}}{T_2 \times \frac{\sqrt{3}}{2}} = 1 \rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{3}$$



برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی

کارت ۹ فصل ۱

اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی: نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره برآیند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کنند. این موضوع را اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی می‌گویند.

فرض کنید n ذرهٔ باردار داشته باشیم که در نزدیکی بار نقطه‌ای q_0 قرار دارند. نیروی خالص (برآیند) وارد بر بار نقطه‌ای q_0 از جمع برداری زیر به دست می‌آید:

$$\vec{F}_{T_0} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \vec{F}_{30} + \dots + \vec{F}_{n_0}$$

نکته ۱: در صورتی که بارها در یک راستا قرار داشته باشند، برآیند نیروی الکتریکی وارد بر بار نقطه‌ای q_0 برابر است با جمع جبری نیروها

$$F_{T_0} = F_{10} + F_{20} + F_{30} + \dots + F_{n_0}$$

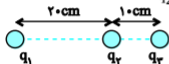
نکته ۲: در صورتی که برآیند دو نیرو صفر باشد آن‌گاه آن دو نیرو الزاماً هم اندازه و در خلاف جهت هم هستند.



برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی

کارت ۹
فصل ۱

۱) در شکل زیر، برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر هر یک از بارهای نقطه‌ای برابر صفر است. $\frac{q_3}{q_2}$ کدام است؟



(سراسری تجربی-۹۳)

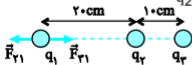
- ۱) -4 (۲) +4
۳) $-\frac{9}{4}$ (۴) $+\frac{9}{4}$

پاسخ

۱) گزینه‌ی «۳»

برآیند دو نیروی الکتریکی وارد بر بار q_1 برابر صفر است بنابراین نیروهای F_{21} و F_{31} هم اندازه و در خلاف جهت هم هستند. با توجه به خلاف جهت هم بودن دو نیرو، بارهای

q_2 و q_3 ناهم‌نام هستند یعنی $\frac{q_3}{q_2}$ منفی خواهد شد.



$$|\vec{F}_{21}| = |\vec{F}_{31}| \xrightarrow{\text{قانون کولن}} \frac{kq_2q_1}{r_2^2} = \frac{kq_3q_1}{r_3^2} \rightarrow \frac{q_2}{q_3} = \frac{r_2^2}{r_3^2}$$

$$\frac{r_2=20\text{cm}}{r_3=30\text{cm}} \rightarrow \frac{q_3}{q_2} = \frac{9}{4} \xrightarrow{\text{با توجه به علامت بارها}} \frac{q_3}{q_2} = -\frac{9}{4}$$



برآیند نیروهای الکتریکی ناشی از بارهای غیر همراستا

کارت ۱۰ فصل ۱

در صورتی که بارها در یک راستا قرار نداشته باشند، برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار نقطه‌ای q_0 را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

- ۱- تک تک نیروها را در راستای محور x و y تجزیه می‌کنیم.
- ۲- برآیند نیروها را در راستای محور x به دست می‌آوریم.
(F_x)
- ۳- برآیند نیروها را در راستای محور y به دست می‌آوریم.
(F_y)
- ۴- برآیند نیروهای وارد بر q_0 برابر است با:

$$F_T = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

۱) در شکل زیر سه بار نقطه‌ای در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای ثابت شده‌اند. اگر برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_3 موازی خط واصل q_2, q_1 باشد، F_3 چند نیوتون است؟

(سراسری تجربی - ۹۶)



$$(k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2})$$

$$8\sqrt{5} \quad (۱)$$

$$12\sqrt{5} \quad (۲)$$

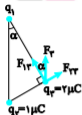
$$16\sqrt{5} \quad (۳)$$

$$20\sqrt{5} \quad (۴)$$



برآیند نیروهای الکتریکی ناشی از بارهای غیر همراستا

کارت ۱۰
فصل ۱



۱) گزینهی «۴»؛ ابتدا نیروهای F_{13} و F_{23} را در راستای x و y تجزیه می‌کنیم:

$$\vec{F}_{13} = -F_{13} \sin \alpha \vec{i} + F_{13} \cos \alpha \vec{j}$$

$$\vec{F}_{23} = F_{23} \cos \alpha \vec{i} + F_{23} \sin \alpha \vec{j}$$

از رابطه فیثاغورس استفاده می‌کنیم تا طول پاره‌خط واصل بین q_2, q_1 را به دست آوریم:

$$\sqrt{6^2 + 3^2} = 3\sqrt{5} \text{ cm}$$

با توجه به تعریف $\sin \alpha, \cos \alpha$ در مثلث قائم‌الزاویه داریم:

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{5}}{5}, \quad \cos \alpha = \frac{2\sqrt{5}}{5}$$

برآیند دو نیروی F_{13} و F_{23} روی محور y قرار دارد بنابراین برآیند دو نیروی مذکور در راستای x برابر صفر و در راستای y برابر F_3 است.

پس: $-F_{13} \sin \alpha + F_{23} \cos \alpha = 0$ در راستای x :

$$\rightarrow \frac{kq_1q_3}{10^{-4} \times 6^2} \times \frac{\sqrt{5}}{5} = \frac{kq_2q_3}{3^2 \times 10^{-4}} \times \frac{2\sqrt{5}}{5} \quad \begin{matrix} q_3 = 2\mu\text{C} \\ q_2 = 1\mu\text{C} \end{matrix} \rightarrow q_1 = 8\mu\text{C}$$

در راستای y : $F_{13} \cos \alpha + F_{23} \sin \alpha = F_3$

$$\rightarrow k \frac{q_1q_3}{6^2 \times 10^{-4}} \times \frac{2\sqrt{5}}{5} + k \frac{q_2q_3}{3^2 \times 10^{-4}} \times \frac{\sqrt{5}}{5} = F_3 \rightarrow$$

$$F_3 = 9 \times 10^9 \times \frac{16 \times 10^{-12}}{36 \times 10^{-4}} \times \frac{2\sqrt{5}}{5} + 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-12}}{9 \times 10^{-4}} \times \frac{\sqrt{5}}{5} = 20\sqrt{5} \text{ N}$$