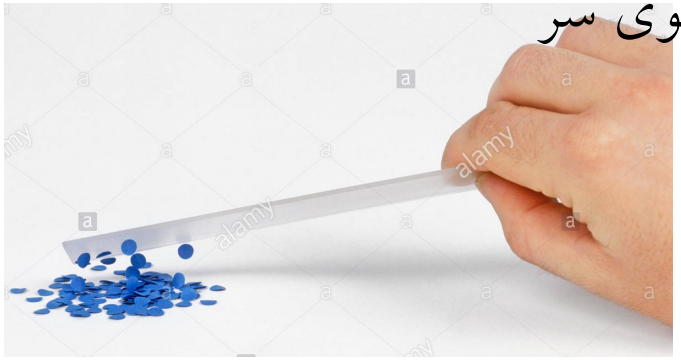
بسم الله الرحمن الرحيم

فصل اول

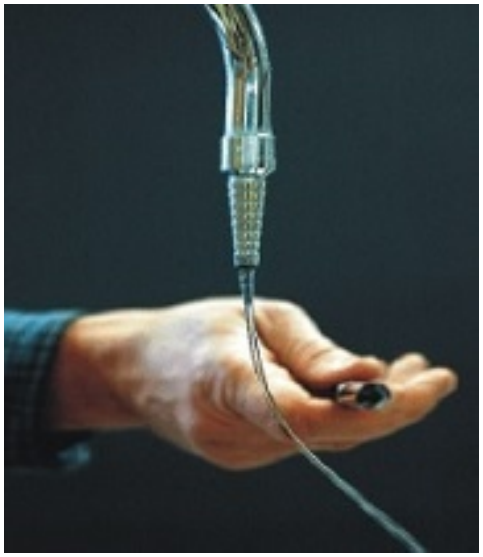
قانون کولن

بار به عنوان واقعیتی در پیرامون ما

- برداشتن خورده های کاغذ توسط شانه مالش داده با پارچه یا موی سر



- انحراف باریکه آب توسط میله مالش داده



- رعد و برق

مشاهده وجود بار

درمواد خنثی مشاهده بار غیر ممکن است

در عدم توازن بار می توان وجود بار را احساس نمود

در ماده خنثی:

تعداد بارهای مثبت = تعداد بارهای منفی

در ماده باردار:

تعداد بارهای مثبت ≠ تعداد بارهای منفی

منشاء بار الکتریکی در دیدگاه اتمی

اجزای تشکیل دهند اتمها

- الکترون ها با بار منفی
- پروتون ها با بار مثبت
- نوترون ها با بار خنثی

$$1\ e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$$

بار الکترون

باردار بودن یا نبودن یک جسم مرتبط است با کیفیت اتم ها

در اتم خنثی:

تعداد پروتون های مثبت = تعداد الکترون های منفی

در اتم غیر خنثی:

تعداد پروتون های مثبت ≠ تعداد الکترون های منفی

یون با بار منفی یا مثبت

اگر جسم دارای الکترون اضافی باشد دارای بار منفی خواهد بود

اگر جسم دارای پروتون اضافی باشد دارای بار مثبت خواهد بود

سازوکار باردار کردن اجسام:

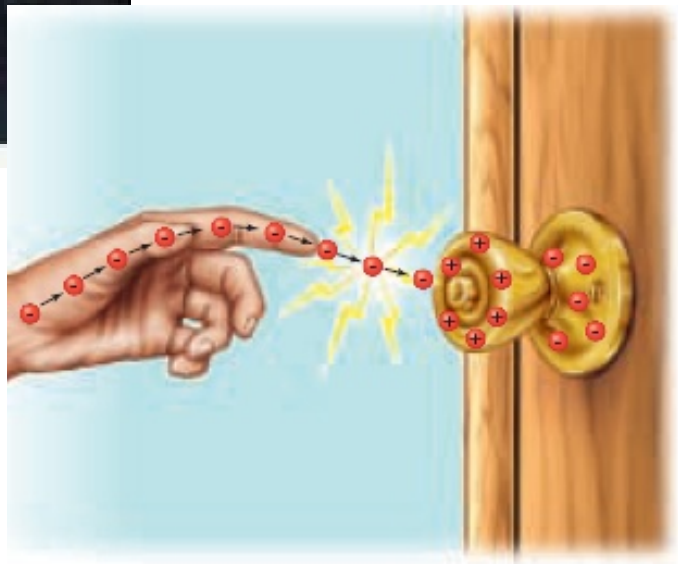
الکترونها ذراتی با قابلیت تحرک

پروتون ها ذراتی بدون تحرک

الکترون ها با جابه جایی خود در ماده می تواند توازن بار را در آن بهم بزنند

سازوکار باردار کردن اجسام :

- روش مالشی
- روش تماسی
- روش القاء



روش مالشی

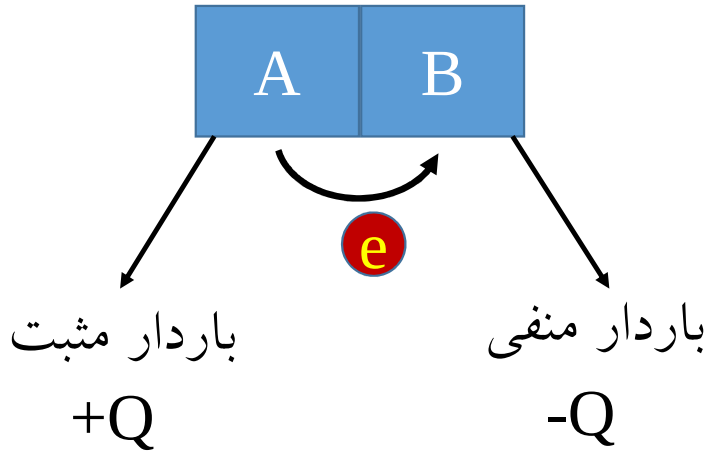
این روش بر اثر تریبوالکتریک (triboelectric) استوار است

اثر تریبوالکتریک:

در تماس یا مالش دو جسم غیرهم جنس و خنثی، الکترون از یکی به دیگری منتقل می شود که منجر به باردار شدن آنها می گردد.

«انتقال بار نه تولید بار»

دو جسم غیرهم جنس جدا از هم و خنثی



در تماس دو جسم در تماس با همدیگر
با انتقال الکترون بین آنها تبدیل به دو جسم باردار می شوند

نکات:

۱- میزان بار اجسام باردار با همدیگر یکسان می باشد

۲- نوع بار قرار گرفته روی دو جسم متفاوت است

۳- نوع و شدت بار تزریق شده بر اجسام وابسته به عوامل زیر است:

- ❑ جنس اجسام در تماس (براساس جدول تربیو الکتریک)
- ❑ زبری سطح آنها
- ❑ دما و رطوبت در محل تماس
- ❑ نوع تماس (ساکن یا در حال مالش)

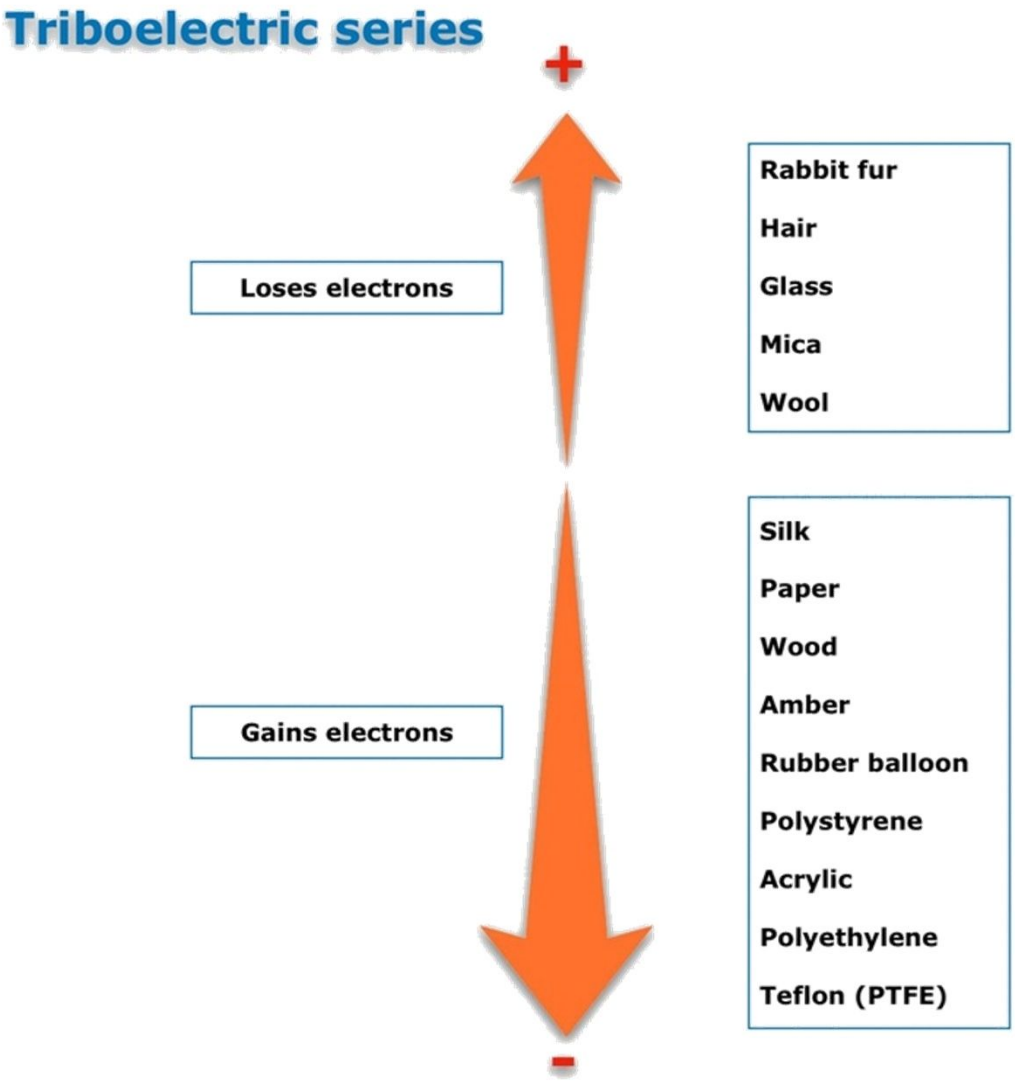
سری تربیوالکتریک

شیشه – پشم

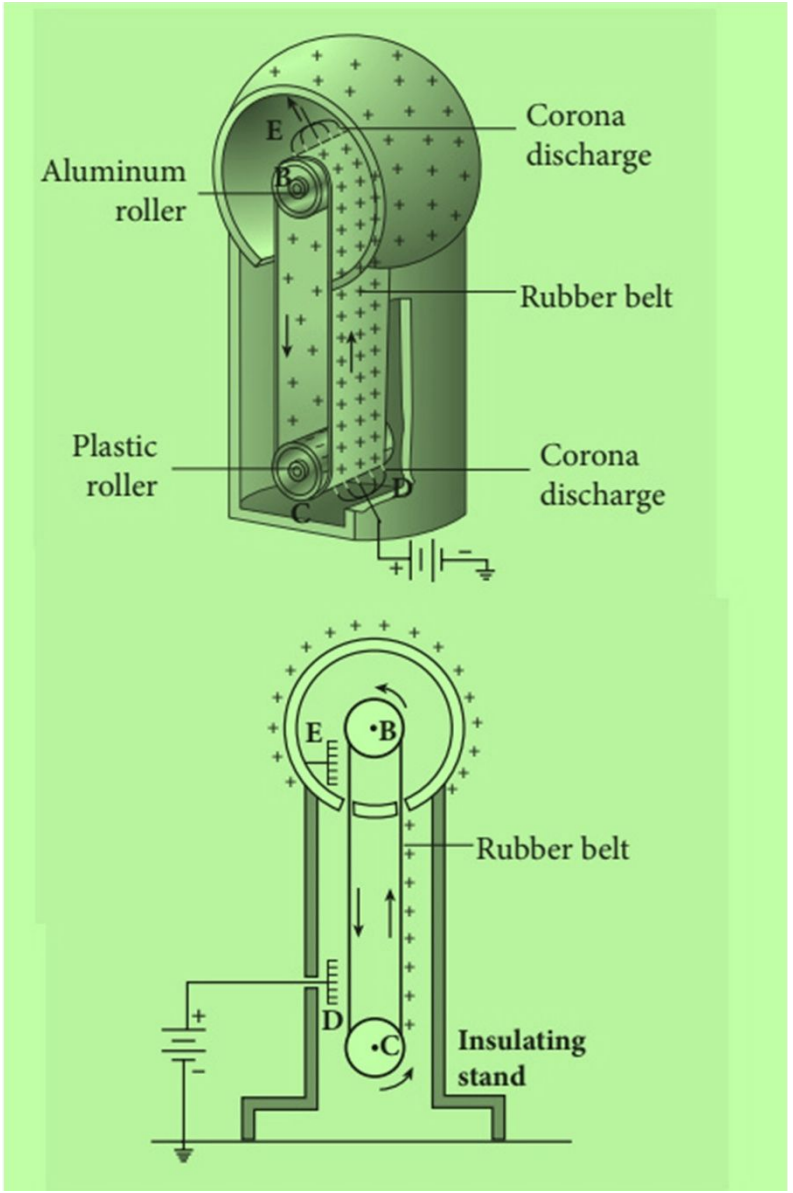
(–) (+)

موی سر – شانه پلاستیکی

(–) (+)



van de Graaf generator

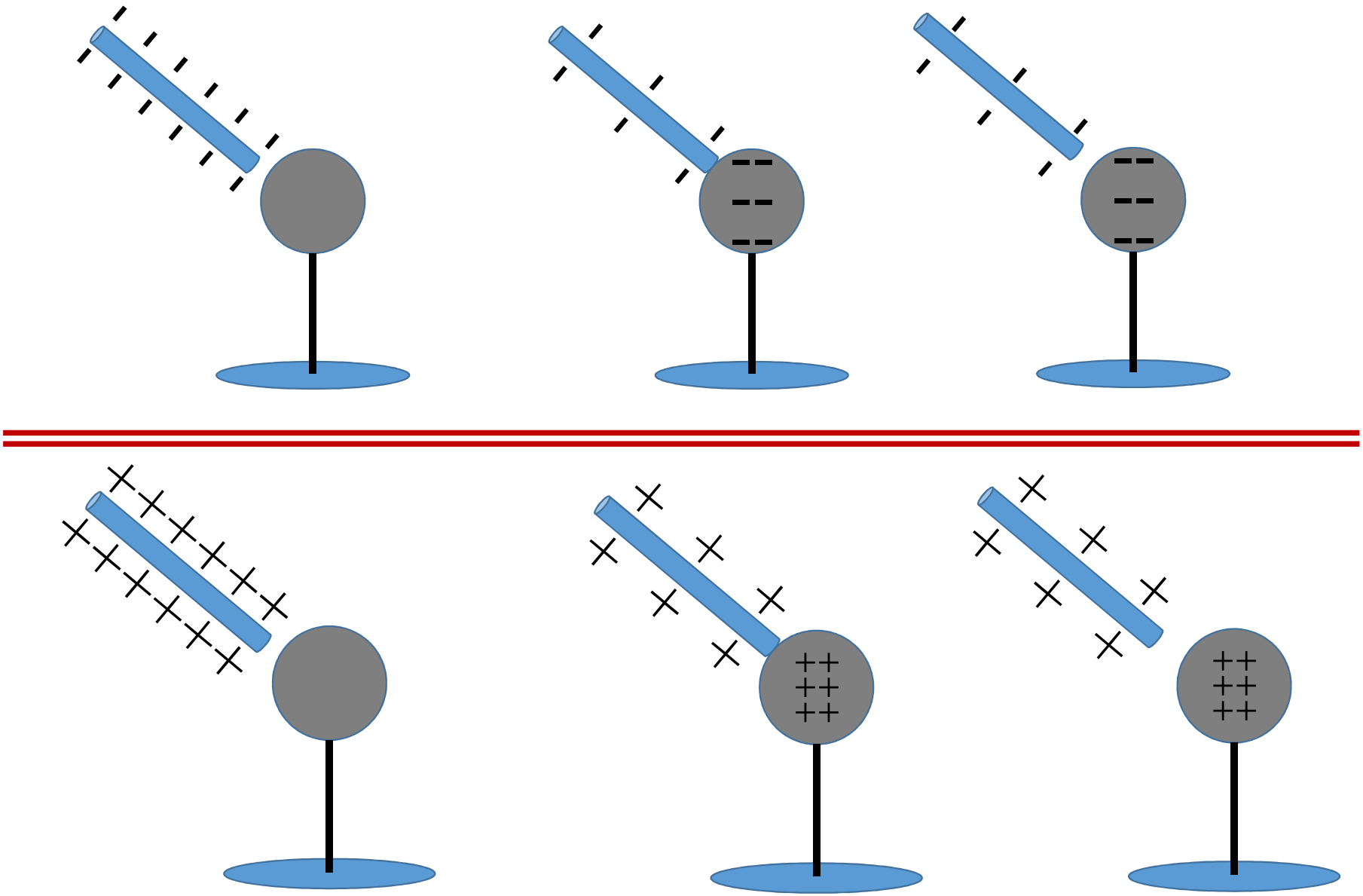


روش تماسی

در این روش دو جسم فلزی (یکی نها باردار و دیگری خنثی) در تماس با همدیگر قرار می گیرند با انتقال الکترونها از یکی به دیگری، جسم باردار، بار خود را با جسم دیگر در اشتراک می گذارد

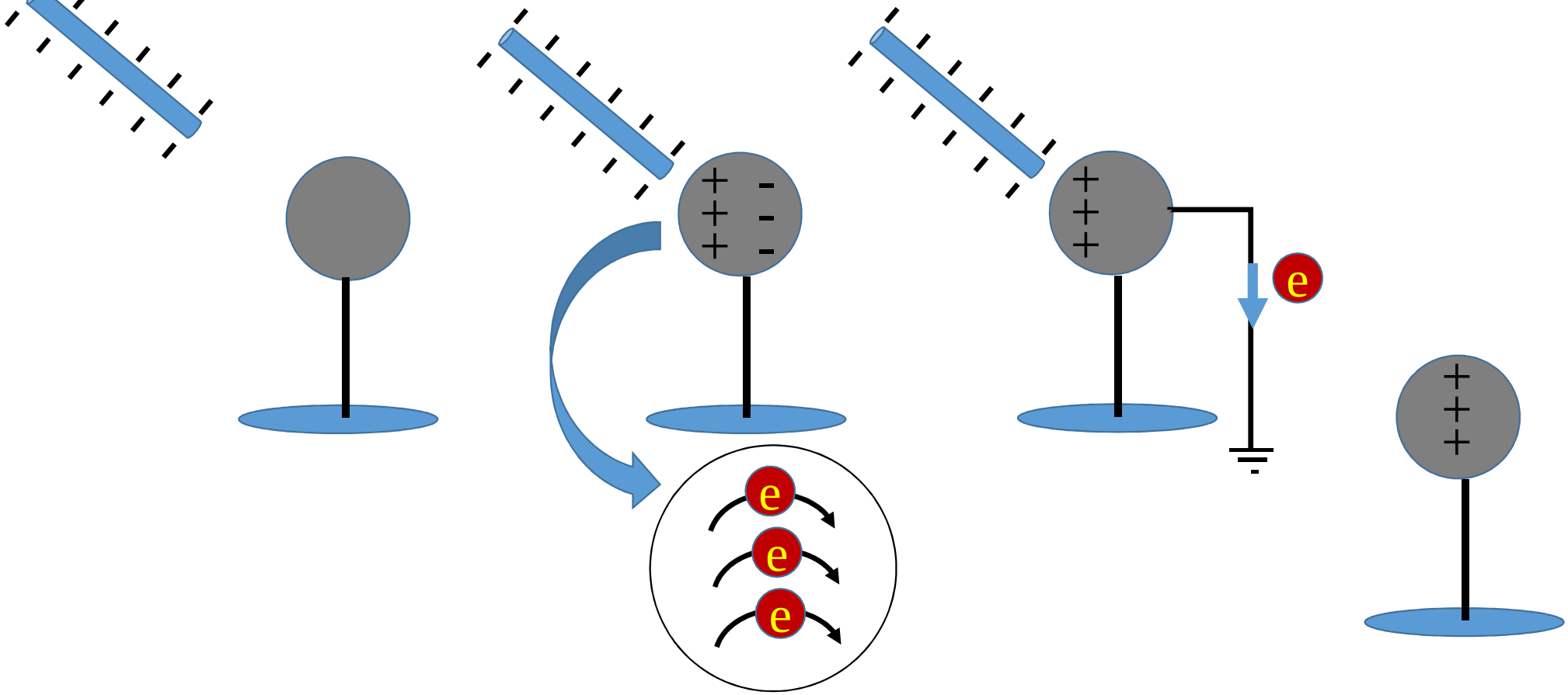
در این روش بار اولیه روی یک جسم برابر با حاصل جمع بار روی دو جسم در حالت نهایی

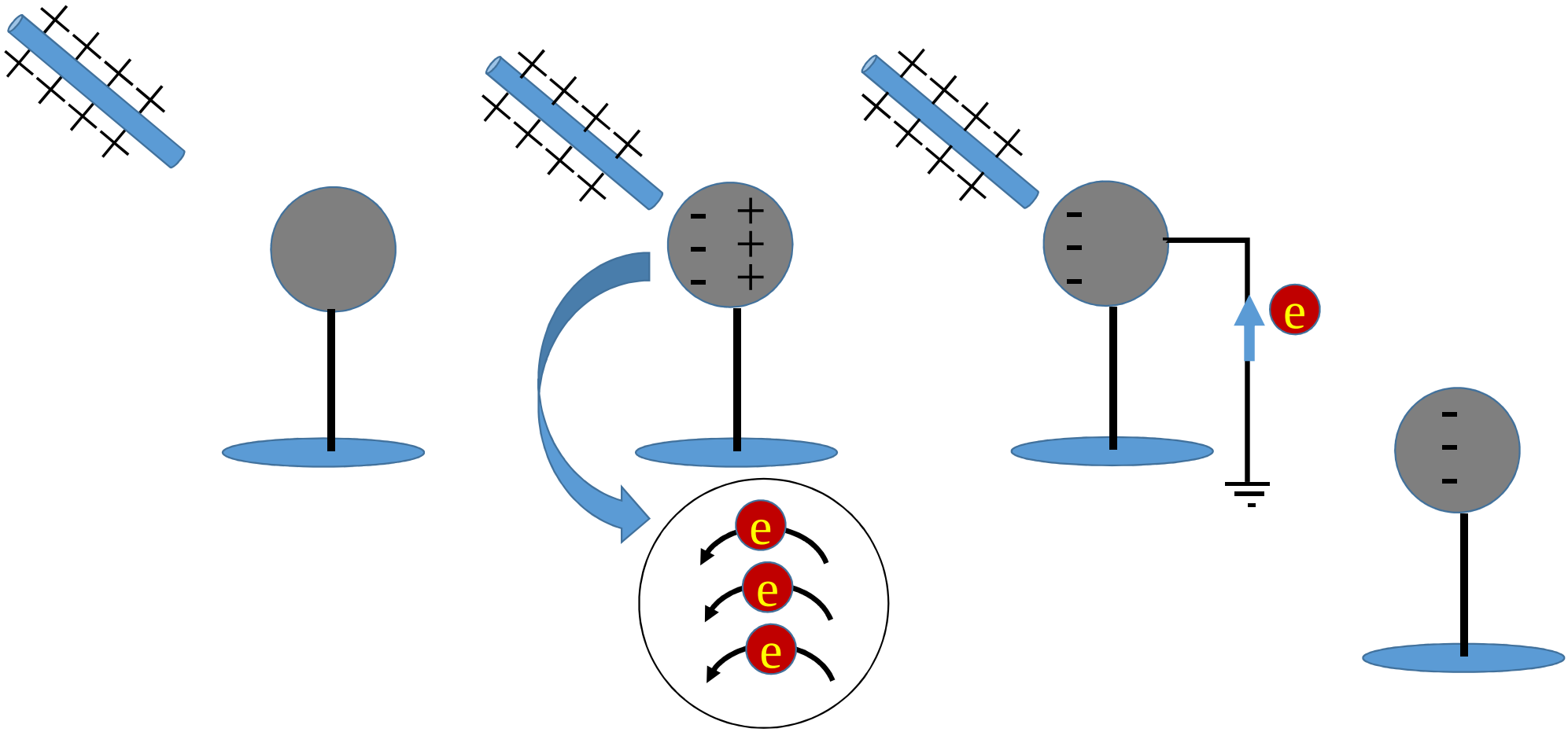
نوع بار روی دو جسم یکسان است

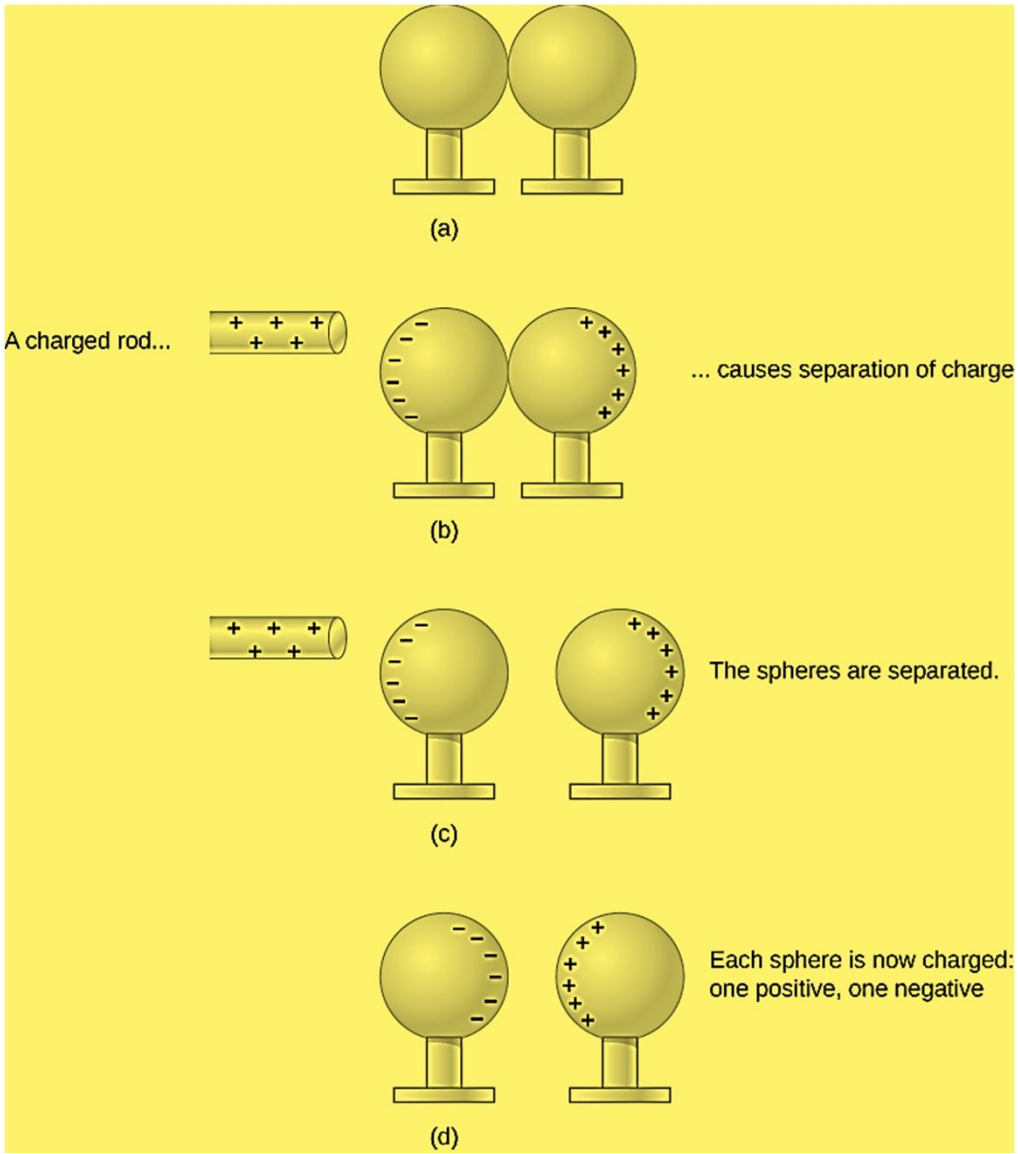


روش القاء

در نزدیک کردن یک جسم (نه تماس) با به صورت موضعی در جسم القاء می شود.




e
e
e
e


(a)
A charged rod...
... causes separation of charge
(b)
The spheres are separated.
(c)
Each sphere is now charged:
one positive, one negative
(d)

ویژگیهای اجسام باردار

۱- بار در آنها کوانتیده است. بار هر جسم بارداری مضرب صحیحی از بار الکترون می باشد

n تعداد الکترونهای گرفته شده یا از دست داده می باشد

$$Q = -ne$$

$$Q = +ne$$

مثال: تعدا الکترونها در یک جسم باردار با بار 1C- چقد است

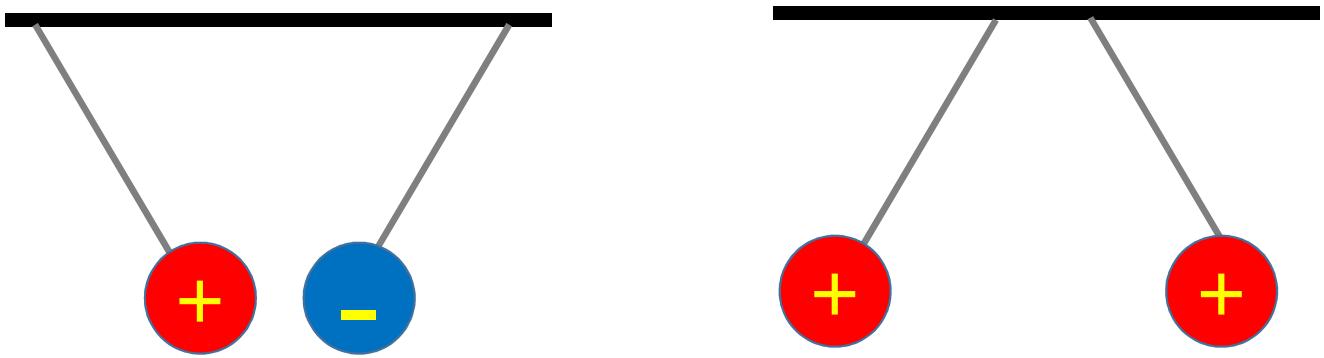
$$Q = -ne \rightarrow -1\ C = -n \times 1.6 \times 10^{-19}\ C \rightarrow n = 6.25 \times 10^{18}$$

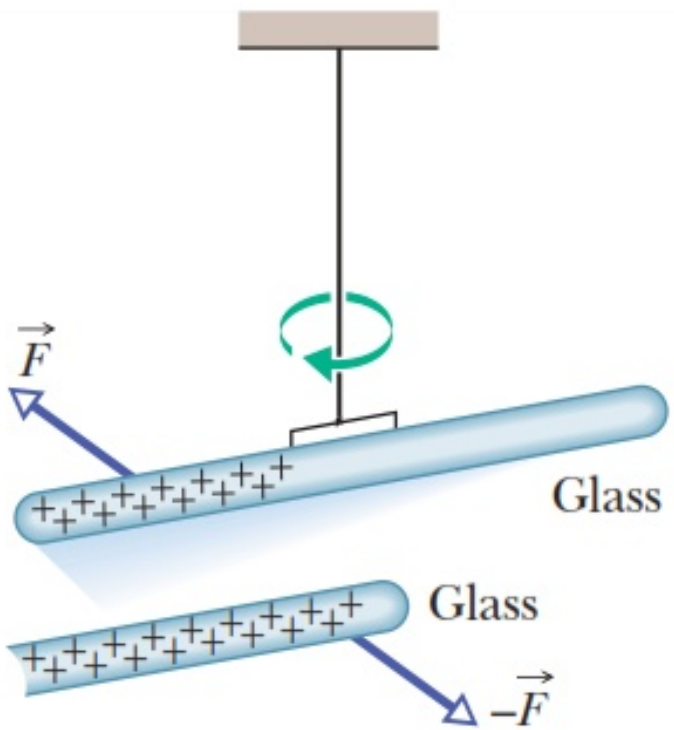
یک کولن بار، بار نسبتا بزرگی است
در یک رعد و برق قوی یک انتقال باری در حدود ۲۰-۳۰C بین ابر و زمین ردوبدل می شود
در آزمایشگاه بار تزریق شده روی جسم در حدود میکروکولن است

۲- بار پایسته است. بار تولید نمی شود.

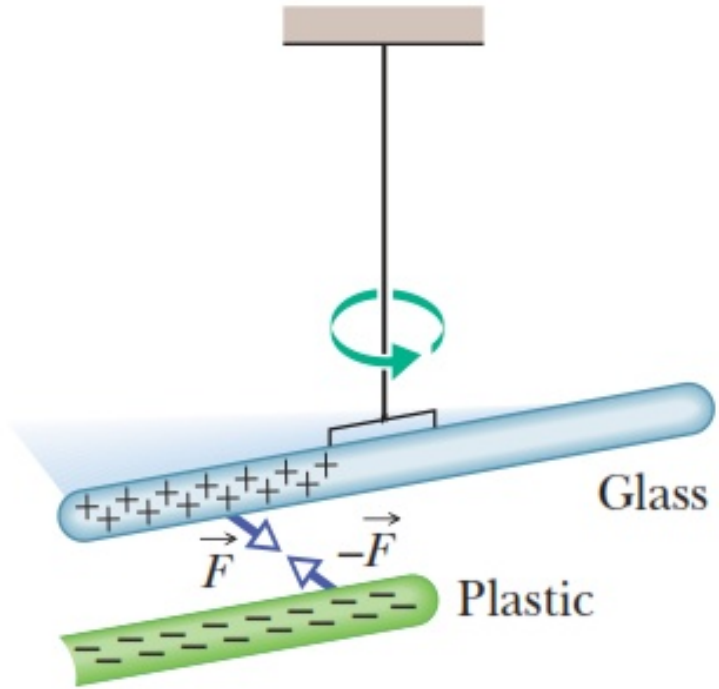
در هر فرآیندی بار از جسمی به جسم دیگر منتقل می شود که منجر به باردار شدن اجسام می گردد

۳- اجسام باردار به همدیگر نیرو وارد می سازند





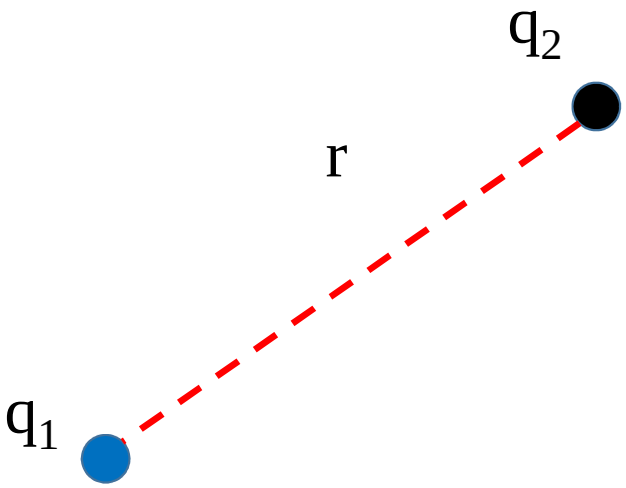
(a)



(b)

قانون کولمب

بین ذرات باردار نیروی ردوبدل می شود که به نیروی الکتریکی گفته می شود



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

نکات

۱- بردار نیروی الکتروستاتیک

اندازه: $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$

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

راستا: در امتداد خط واصل بین دو بار

جهت:

بارهای همنام ← نیروی دافعه

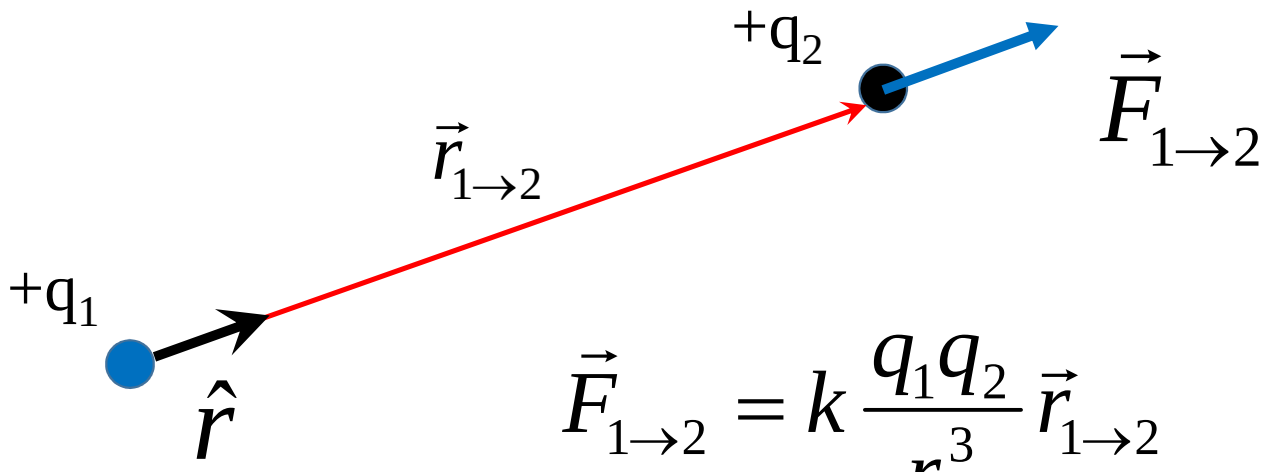
بارهای غیر همنام ← نیروی جاذبه

۲- شکل برداری قانون کولن

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

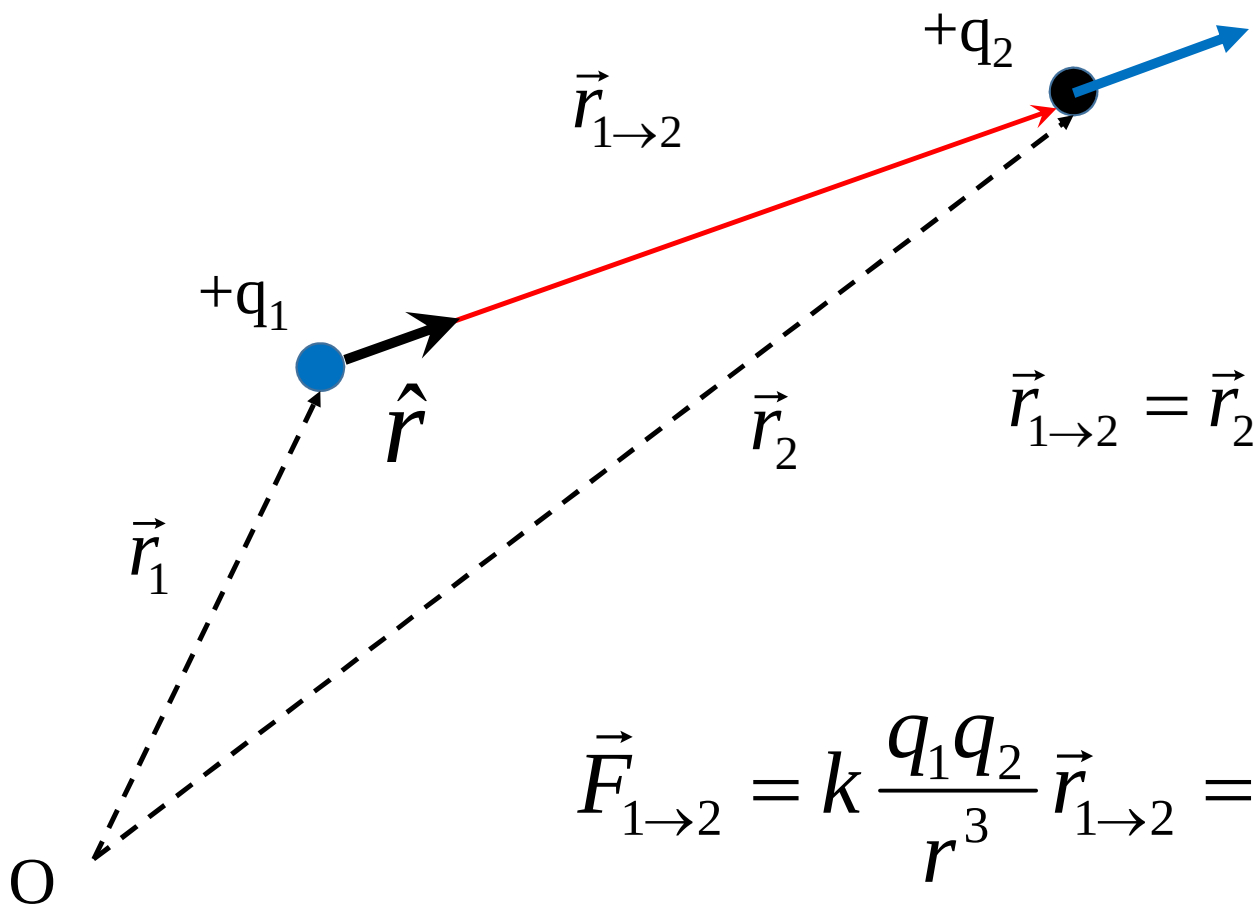
$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$$

$$\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{r^3}\vec{r}$$



$$\vec{F}_{1\to2} = k\frac{q_1 q_2}{r^3}\vec{r}_{1\to2}$$

۳- قانون کولن نسبت به یک مبدا

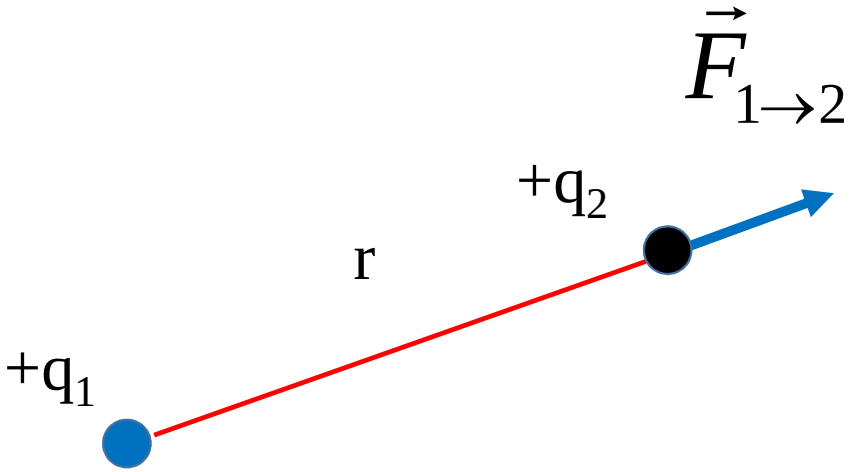


$$\vec{r}_{1\to2} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

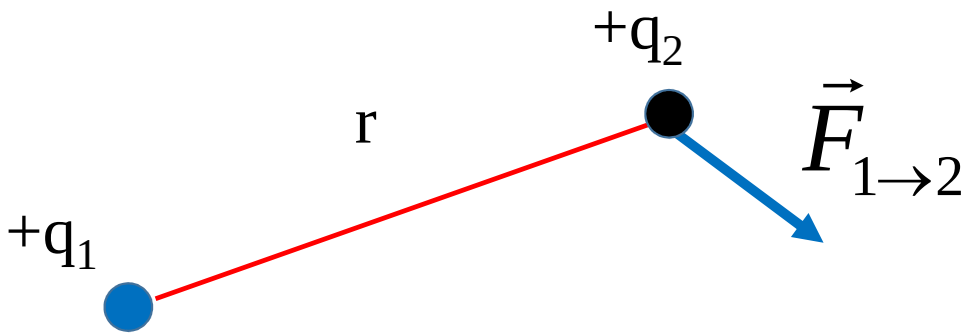
$$\vec{F}_{1\to2} = k\frac{q_1 q_2}{r^3}\vec{r}_{1\to2} = k\frac{q_1 q_2}{\left|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right|^3}(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$$

٤- نیروی الکتریکی یک نیروی شعاعی است.

نیروی در امتداد خط واصل بین دوبار است. حالا اگر یک بار مبدا مختصات درنظر گرفته شود نیروی وارد بر بارهای دیگر در اطراف آن از طرف این ذره در امتداد شعاع خارج شده از این ذره قرار دارد.



درست

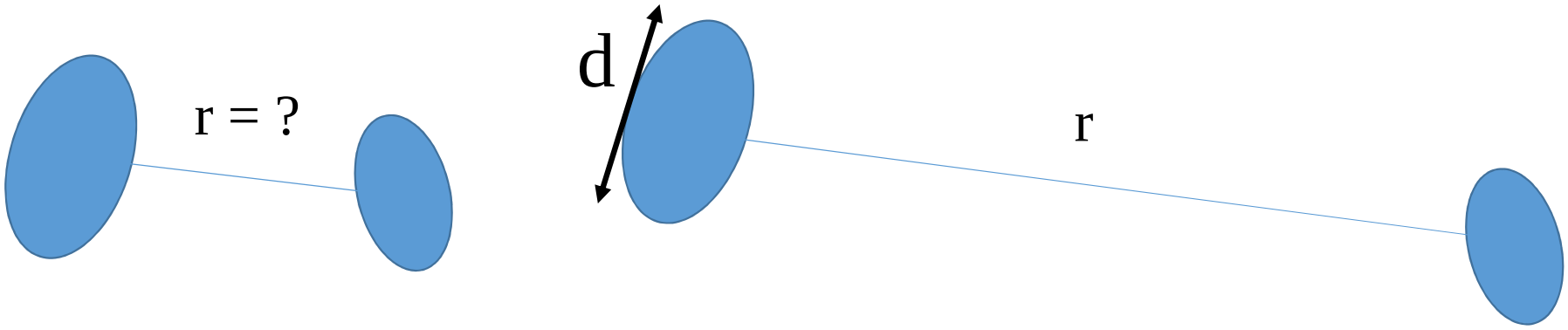


نادرست

۵- قانون کولن جایی معتبر است که بار نقطه ای داشته باشیم.

و در مورد اجسام باردار جایی معتبر است که ابعاد آنها در مقایسه با فاصله بین دو جسم خیلی کمتر باشد.

استثناء: ای قانون برای کرات باردار با چگالی بار یکنواخت بار برقرار است.

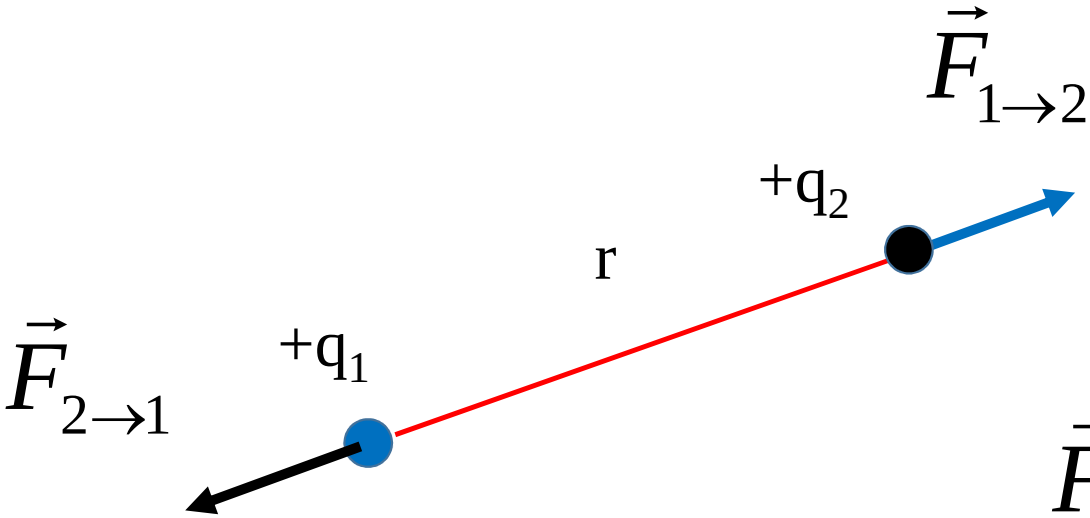


فاصله نزدیک

فاصله دور

$d << r$

٦- قانون سوم نیوتن در مورد این نیرو برقرار است



$$\vec{F}_{2\to1} = -\vec{F}_{1\to2}$$

۷- قانون دوم نیوتن:

یک ذره باردار به جرم m و تحت تاثیر نیروی F می تواند یک حرکت شتابدار با شتاب a را انجام دهد.

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

$$F = ma$$

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

شتاب متغیر

۸- در دستگاه بین المللی SI

واحد بار کولن C

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

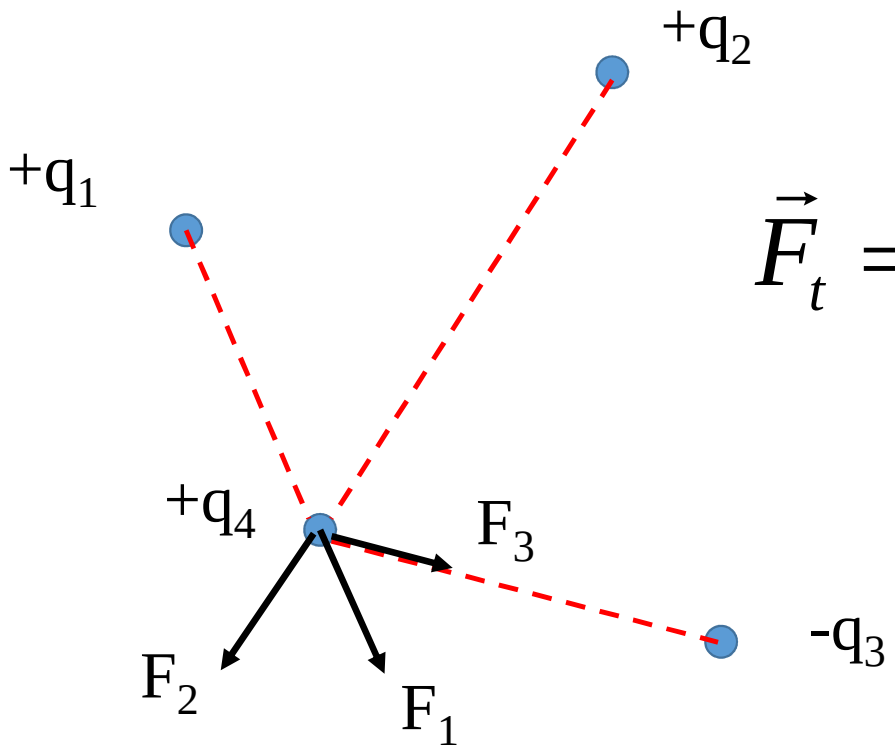
$$\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\ {C^2}/{N.m^2}$$

$$k = 8.899\times10^{9} \approx 9\times10^{9}\ {N.m^2}/{C^2}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

۸- نیرویی که چند بار نقطه ای به یک ذره باردار وارد می سازند:

نیروی کل وارد بر ذره برابر با جمع برداری نیروی وارد بر ذرات است.



$$\vec{F}_t = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \cdots$$

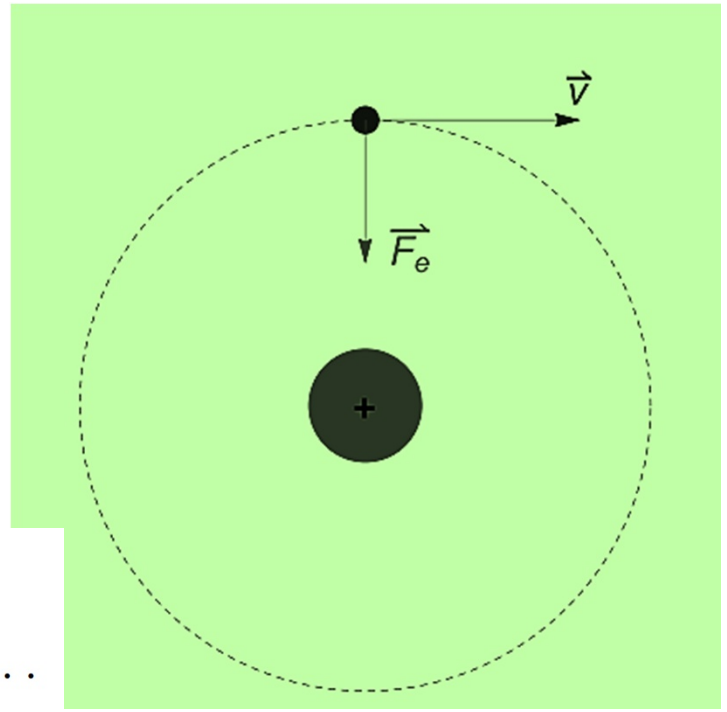
مثال۱) نیروی الکتریکی بین دو بار یک کولنی در فاصله یک کیلومتری

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} = 9\times10^9 \times \frac{1\times1}{(10^3)^2} = 9000\ N$$

$$F = mg \quad \rightarrow \quad 9000 = m\times10 \quad \rightarrow \quad m = 900\ kg$$

مثال۲) نیروی الکتریکی در اتم هیدروژن و تخمین سرعت چرخش الکترون

$$F = k\frac{e^2}{r^2} \simeq 9 \cdot 10^9 \frac{(1.6 \cdot 10^{-19})^2}{(0.53 \cdot 10^{-10})^2} \approx 8.2\,10^{-8}\,N$$



$$m\frac{v^2}{r} = k\frac{e^2}{r^2}$$

$$v = \sqrt{ke^2/(m_e \cdot r)} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9\,(1.6 \cdot 10^{-19})^2}{9.1 \cdot 10^{-31} \times 0.53 \cdot 10^{-10}}} \cdots$$

$$v = 2.19 \times 10^6 \text{ m/s}$$

کره های رسانای باردار:

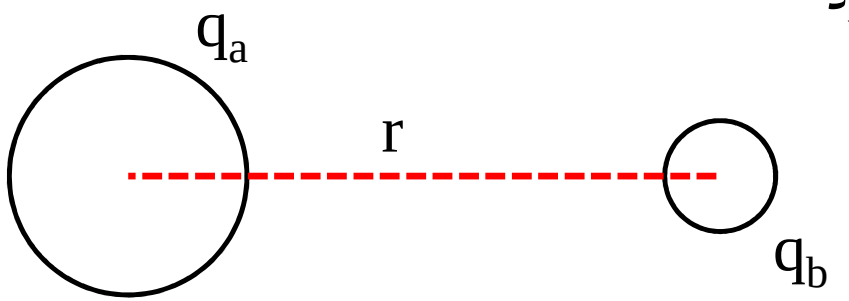
قانون کولن برای بارهای نقطه ای صادق است به استثناء کرات رسانای باردار

ویژگی توزیع بار روی کره های رسانای باردار:

۱- بار روی سطح آنها توزیع می شود

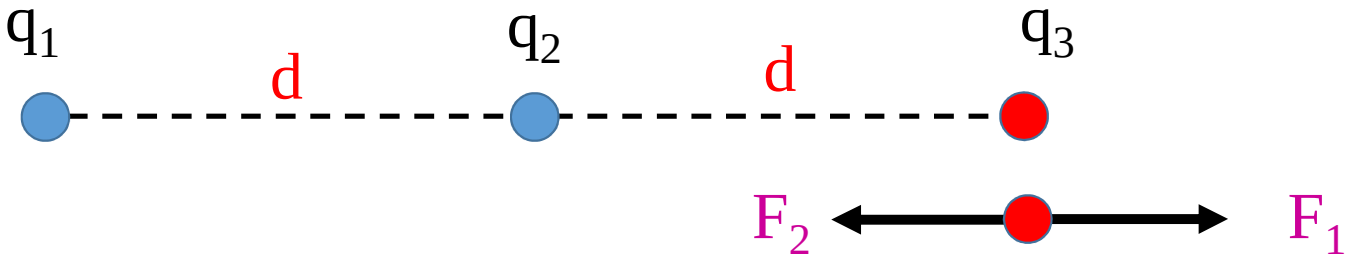
۲- توزیع بار یکنواخت است چون کره کاملا متقارنند

۳- در استفاده از قانون کولن فرض می شود تا تمام بار هر کره در مرکز آن تجمع یافته و فاصله بین مراکز به عنوان فاصله دو بار در نظر گرفته می شود



$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_a q_b}{r^2}$$

مثال۳) سه بار روی خط مستقیم قرار دارند و فاصله آنها از هم d است. بارهای q_1 و q_2 ثابت و بار q_3 امکان تحرک دارد. بار q_3 تحت تاثیر نیروهای الکتریکی در حال تعادل است. q_1 را برحسب q_2 بدست آورید.

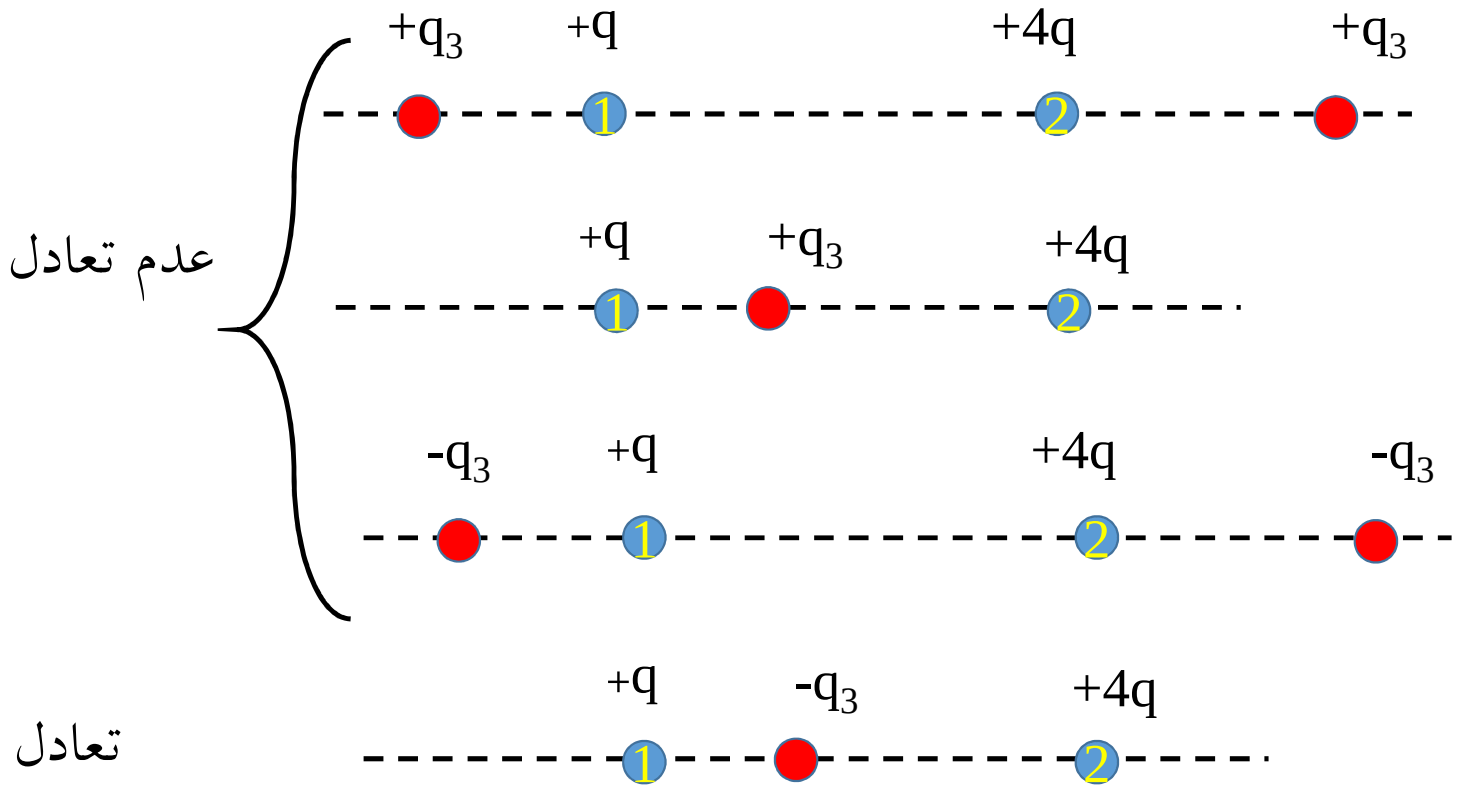


$$F_1 = F_2 \quad \rightarrow \quad \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_3}{(2d)^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2 q_3}{d^2} \quad \rightarrow \quad \frac{q_1}{4d^2} = \frac{q_2}{d^2}$$

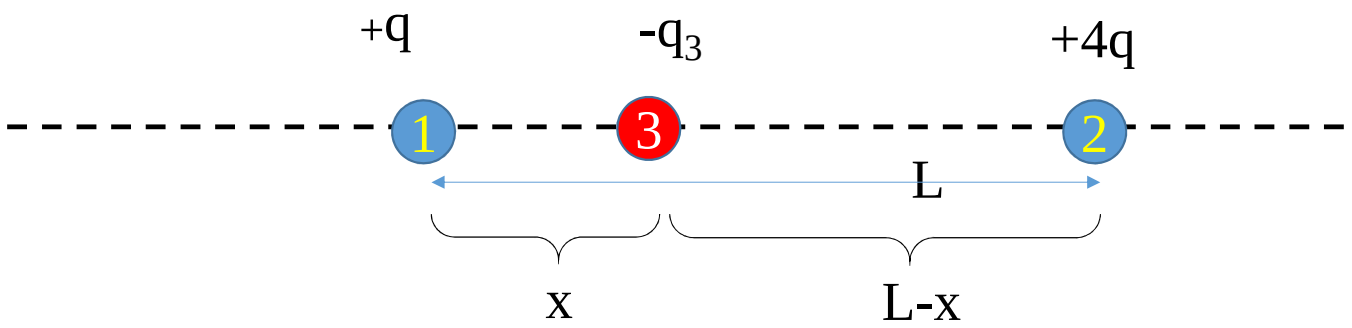
$$\rightarrow \quad \frac{q_1}{q_2} = \frac{4d^2}{d^2} = 4$$

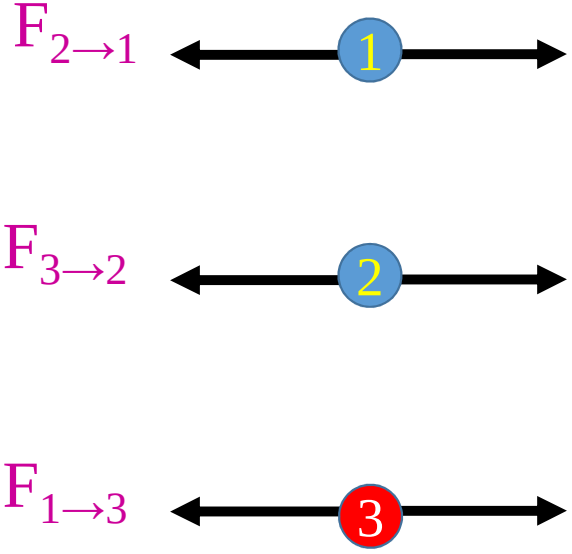
$$\rightarrow \quad \frac{q_1}{q_2} = -4$$

مثال٤) دوبار آزاد $+q$ و $+4q$ در فاصله L از همدیگر روی خط مستقیم قرار دارند. بار سومی را طوری روی خط واصل بین دو ذره باردار قرار می دهیم تا کل مجموعه بارهای در تعادل باشند



برای هر سه جسم شرط تعادل یعنی خنثی شدن نیروها بررسی باید شود





$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(q).(4q)}{(L)^2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(q).(q_3)}{x^2}$$ (1)

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(q).(4q)}{(L)^2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(4q).(q_3)}{(L-x)^2}$$ (2)

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(q_3).(q)}{(x)^2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(4q).(q_3)}{(L-x)^2}$$ (3)

1 2

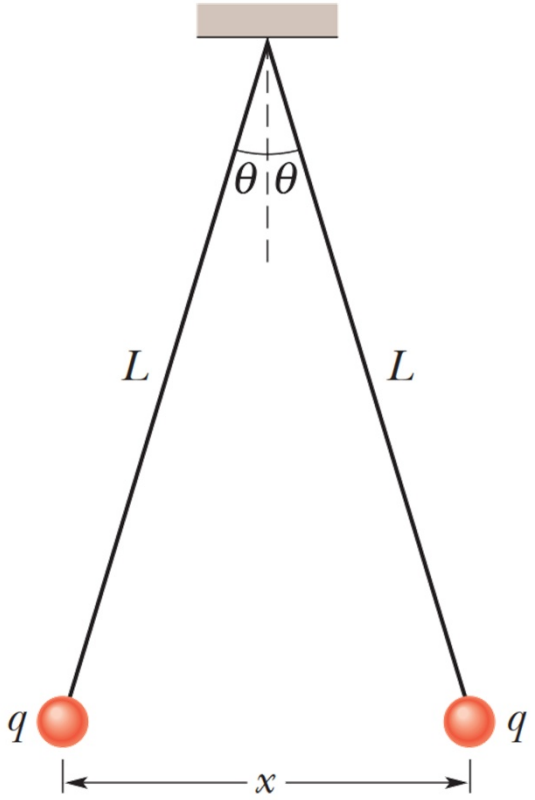
$$\frac{(q).(q_3)}{x^2}=\frac{(4q).(q_3)}{(L-x)^2} \quad \rightarrow \quad \frac{(L-x)^2}{x^2}=4$$

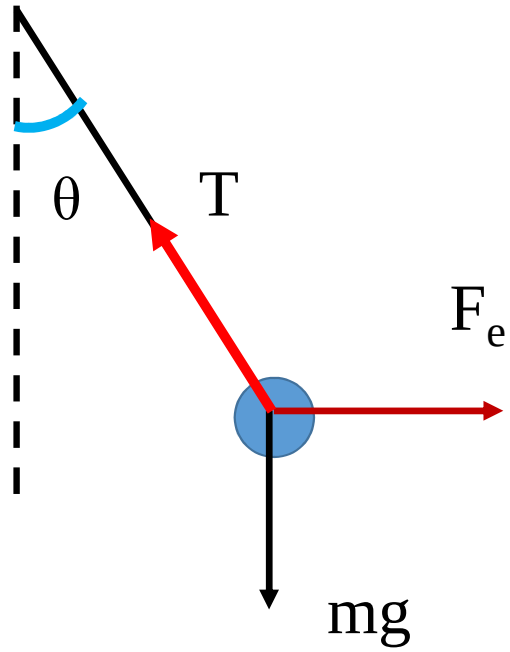
$$\rightarrow \quad L-x=2x \quad \rightarrow \quad x=\frac{1}{3}L$$

1

$$\frac{(q).(4q)}{(L)^2}=\frac{(q).(q_3)}{x^2} \quad \rightarrow \quad (\frac{x}{L})^2=\frac{q_3}{4q} \quad \rightarrow \quad q_3=4q(\frac{1}{3})^2=\frac{4}{9}q$$

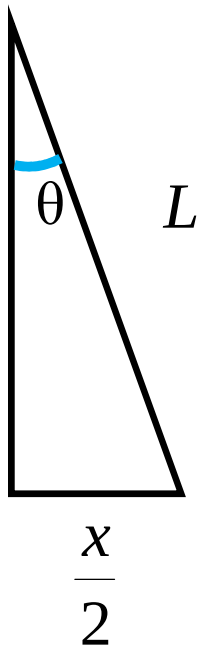
مثال۵) دو گوی مشابه کوچک به جرم m از دو رشته نخ ابریشمی به طول L آویزان شده اند. و هر یک حامل بار یکسان q می باشند. نشان دهید در حد زاویای کوچک و در تعادل رابطه زیر برقرار است





$$\begin{cases} T\sin\theta = F_e = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q^2}{x^2} \\ T\cos\theta = mg \end{cases}$$

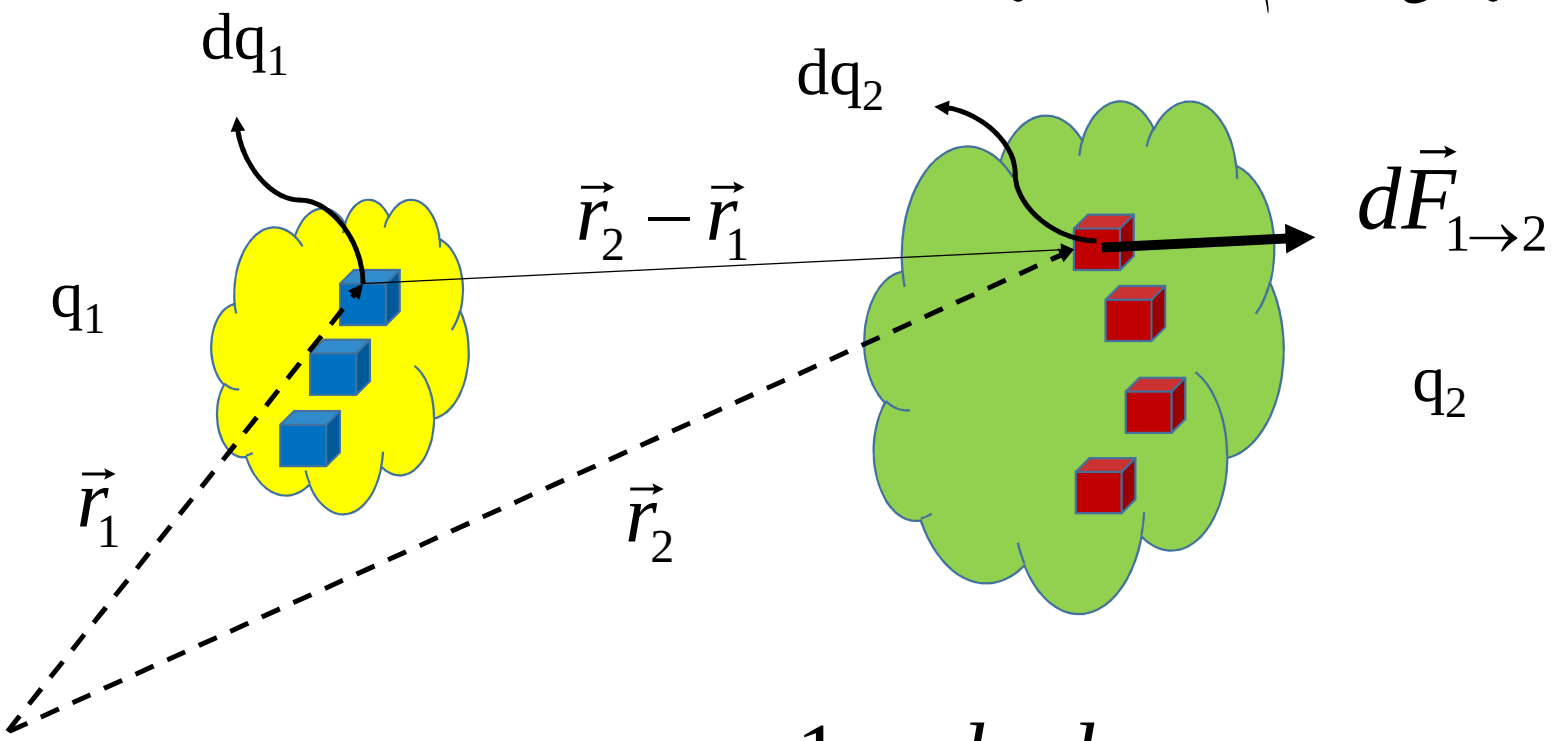
$$\frac{T\sin\theta}{T\cos\theta} = \frac{\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q^2}{x^2}}{mg} \quad \rightarrow \quad \tan\theta = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 mgx^2}$$



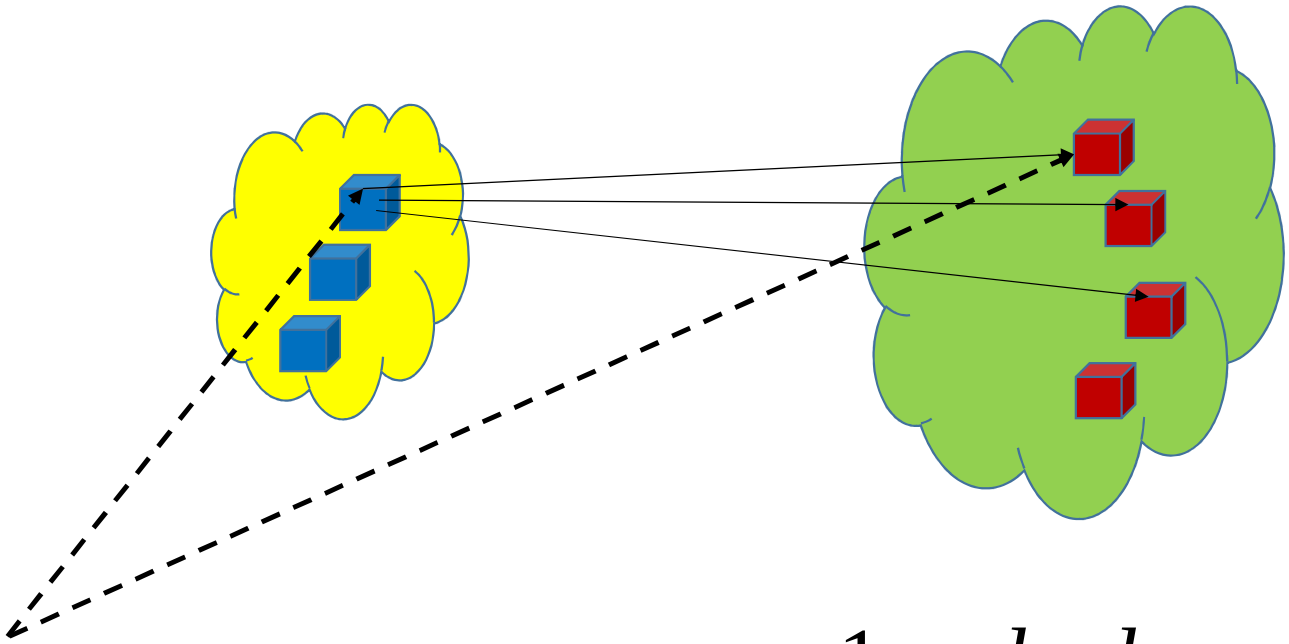
$$\theta < 6^\circ \quad \rightarrow \quad \tan\theta = \sin\theta = \theta \quad , \quad \sin\theta = \frac{\dfrac{x}{2}}{L} = \frac{x}{2L}$$

$$\rightarrow \quad \tan\theta = \frac{x}{2L} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 mgx^2} \quad \rightarrow \quad x = \left(\frac{q^2 L}{2\pi\varepsilon_0 mg}\right)^{\frac{1}{3}}$$

محاسبه نیروی الکتریکی اجسام باردار گسترده



$$d\vec{F}_{1\to 2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq_1 dq_2}{\left|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right|^3}(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$$



$$\vec{F}_{1\to 2} = \iint\limits_{q_1,q_2} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{dq_1 dq_2}{\left|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right|^3} (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$$