

Fundamentals of Physics II

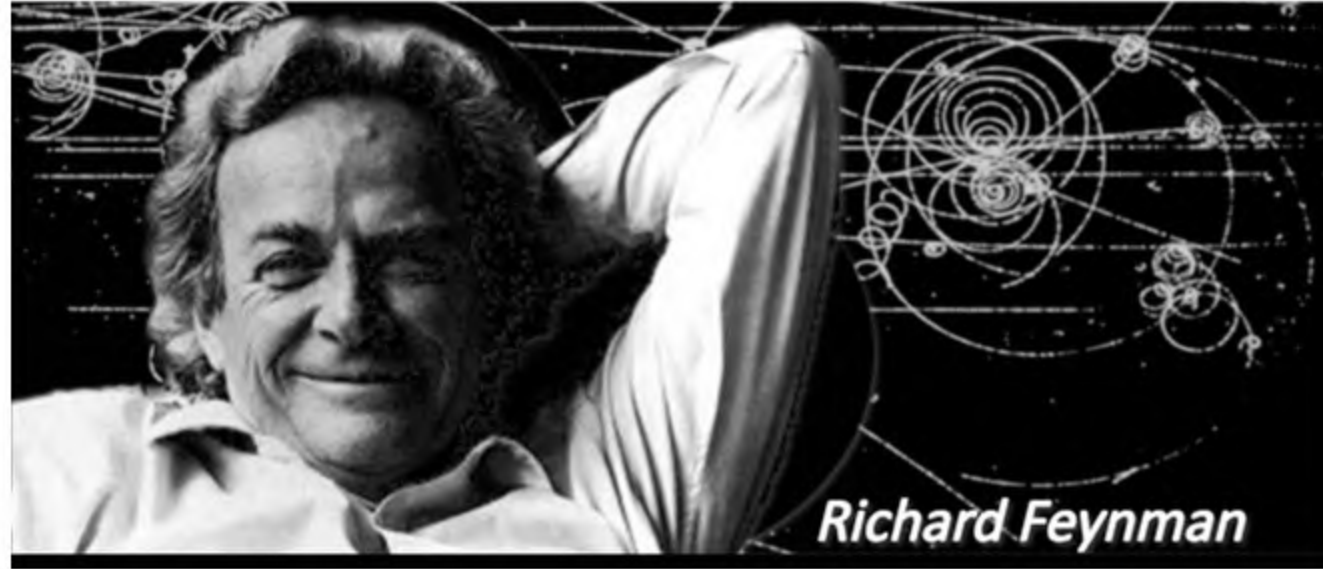
Faculty of Physics-Kharazmi University

Dr. Faramarz Kanjouri

Spring 2023

دانشگاه خوارزمی





اگر همواره مانند گذشته بیندیشید، همیشه همان چیزهایی را
به دست می آورید که تا کنون کسب کرده اید

فاینمن

درس هشتم

قانون کولن

Coulomb's Law



□ Conservation of charge

□ اصل پایداری بار الکتریکی

□ Quantization of charge

□ کوانتیزاسیون بار الکتریکی

□ Coulomb's Law

□ قانون کولن

□ The principle of superposition

□ اصل برهم نهی



Charles Augustin Coulomb (1785)



در این قسمت می‌توانیم گشتاور نیرو (و با استفاده از آن)، نیروی بین دو بار را برآورد کنیم.

این درجه بندی، فاصله بین بارها را تعیین می‌کند.

دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 که به فاصله‌ی r از هم قرار دارند، به هم نیرو وارد می‌کنند.
این نیرو

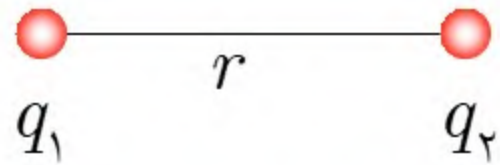
(الف) با حاصل ضرب اندازه‌ی بارها متناسب است: $F \propto q_1 q_2$

(ب) با مجذور فاصله‌ی بارهای الکتریکی نسبت عکس دارد $F \propto \frac{1}{r^2}$

(ج) راستای نیرو بر خط واصل دو بار قرار دارد.

(د) اگر بارها هم نام باشند، نیرو دافعه و اگر غیر هم نام باشند، نیرو جاذبه است.





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

k مقدار ثابتی است که بستگی به انتخاب یکای بار الکتریکی دارد.

ساده‌ترین انتخاب این است که مقدار k را برابر با ۱ بگیریم و یکای بار الکتریکی را از روی قانون کولن تعریف کنیم. در این صورت یکای الکتروستاتیکی بار الکتریکی (**Electrostatic unit**) را استات کولن (**statcoulomb**) می‌نامیم.

استات کولن به شکل زیر تعریف می‌شود:

دو بار الکتریکی با اندازه‌ی یکسان یک استات کولن که در فاصله‌ی یک سانتی‌متر از هم قرار دارند، به هم دیگر نیروی الکتریکی معادل **یک دین (dyne)** وارد می‌کنند.

انتخاب دیگر، دستگاه یکاهای SI است. در این دستگاه، یکای بار الکتریکی، کولن است. و مقدار k برابر است با:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 10^{-7} c^2 = 8.987551788 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \quad (c \text{ سرعت نور است})$$

$$\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N.m}^2} \left(\frac{\text{F}}{\text{m}} \right) \quad \begin{array}{l} \text{ضریب گذردهی خلأ} \\ \text{permittivity of free space} \end{array}$$

بار الکتریکی بنیادی در طبیعت، بار الکترون (یا پروتون) است که مقدار آن برابر است با:

$$e = 1.6021917 \times 10^{-19} \text{C} = 4.803250 \times 10^{-10} \text{esu}$$

که معمولاً آن را به شکل تقریبی زیر می نویسیم: $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C} = 4.8 \times 10^{-10} \text{esu}$

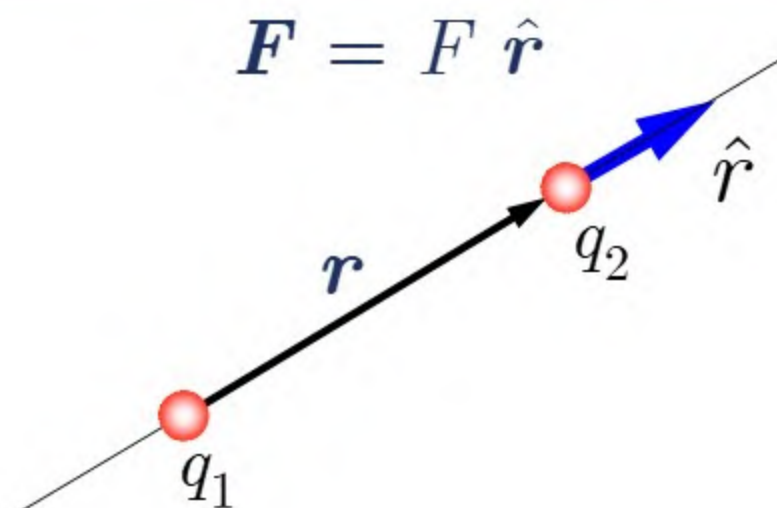
یک کولن بار، بر حسب بار الکترون:

$$1\text{C} = 6.25 \times 10^{18} e$$

رابطه‌ی بین یکای الکتروستاتیکی بار و کولن

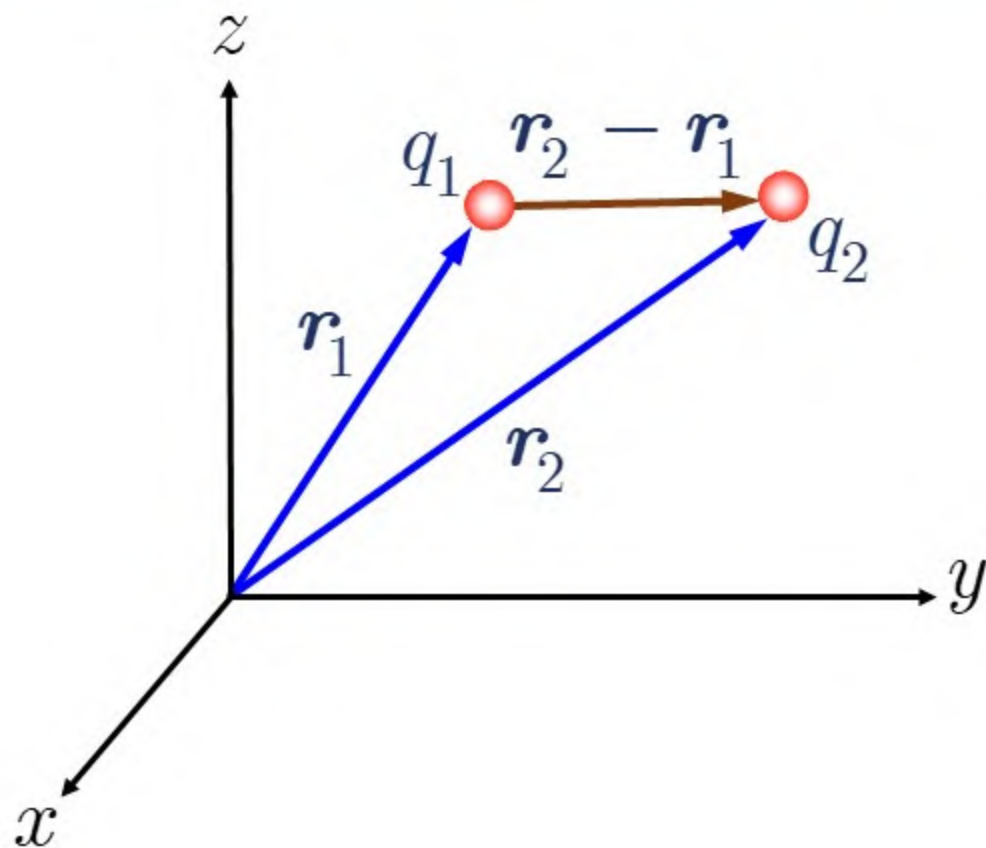
$$1\text{C} = 3 \times 10^9 \text{esu}$$





$$\mathbf{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{\mathbf{r}}, \quad \hat{\mathbf{r}} = \frac{\mathbf{r}}{r}$$

$$\mathbf{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}}{r^3}$$



$$\mathbf{F}_{q_2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1}{|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|^3}$$

$$\mathbf{F}_{q_1} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|^3} = -\mathbf{F}_{q_2}$$

$$\mathbf{F}_{q_1} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|^3} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\hat{\mathbf{r}}_{12}}{|\mathbf{r}_{12}|^2}$$



$$\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\mathbf{r}_{12}|^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

✓ جاذبه یا دافعه

✓ عکس مجذور فاصله

✓ قوی

✓ در ابعاد کوچک اهمیت می‌یابد. در اتم‌ها و

مولکول‌ها

$$\mathbf{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{|\mathbf{r}_{12}|^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

✓ همیشه جاذبه

✓ عکس مجذور فاصله

✓ ضعیف

✓ در ابعاد بزرگ اهمیت می‌یابد. در ستاره‌ها و

سیارات و ساختار کیهان



مقادیر نیروی جاذبه‌ی گرانشی و نیروی جاذبه‌ی الکتریکی بین الکترون و پروتون درون اتم هیدروژن را با هم مقایسه کنید. شتاب الکترون مطابق مکانیک نیوتونی چقدر است؟ فاصله‌ی بین پروتون و الکترون را $0.53 \times 10^{-10} \text{m}$ بگیرید.

حل:

$$m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg}, \quad m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$$

نیروی گرانشی بین الکترون و پروتون برابر است با

$$\begin{aligned} F_G &= \frac{Gm_p m_e}{r^2} \\ &= \frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2 / \text{kg}^2)(1.67 \times 10^{-27} \text{kg})(9.11 \times 10^{-31} \text{kg})}{(0.53 \times 10^{-10} \text{m})^2} \\ &= 3.6 \times 10^{-47} \text{N} \end{aligned}$$



و نیروی الکتریکی بین الکترون و پروتون برابر است با

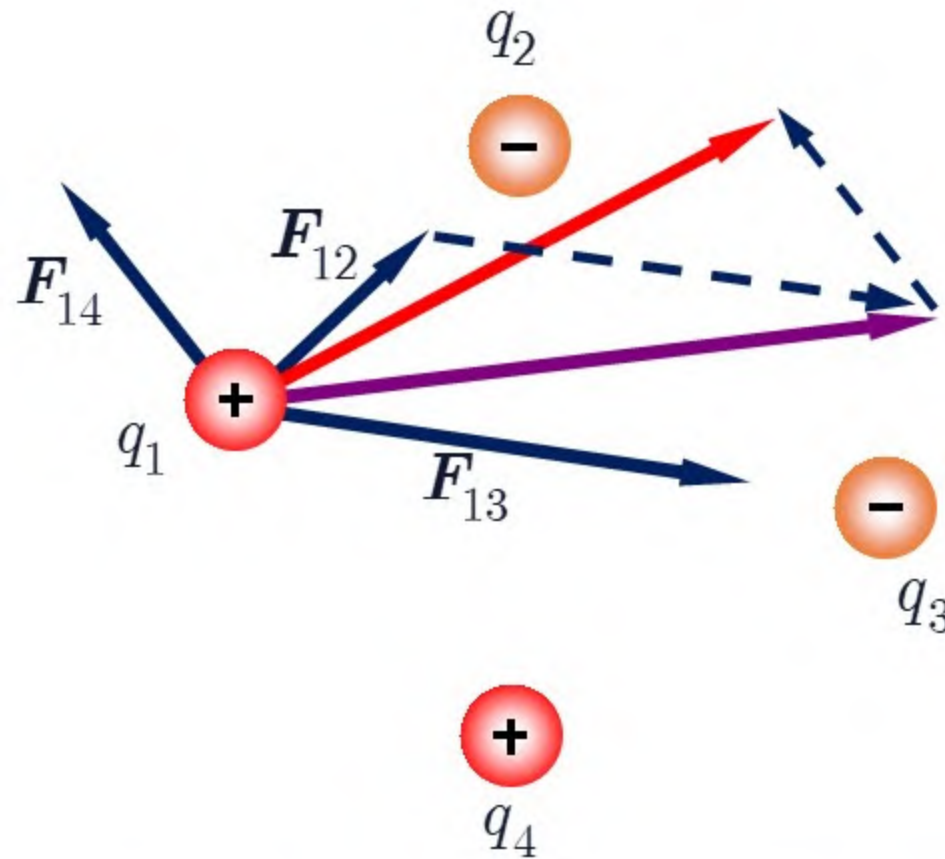
$$\begin{aligned}
 F_E &= \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \\
 &= \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(0.53 \times 10^{-10} \text{ m})^2} \\
 &= 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{8.2 \times 10^{-8} \text{ N}}{3.6 \times 10^{-47} \text{ N}} = 2.3 \times 10^{39}$$

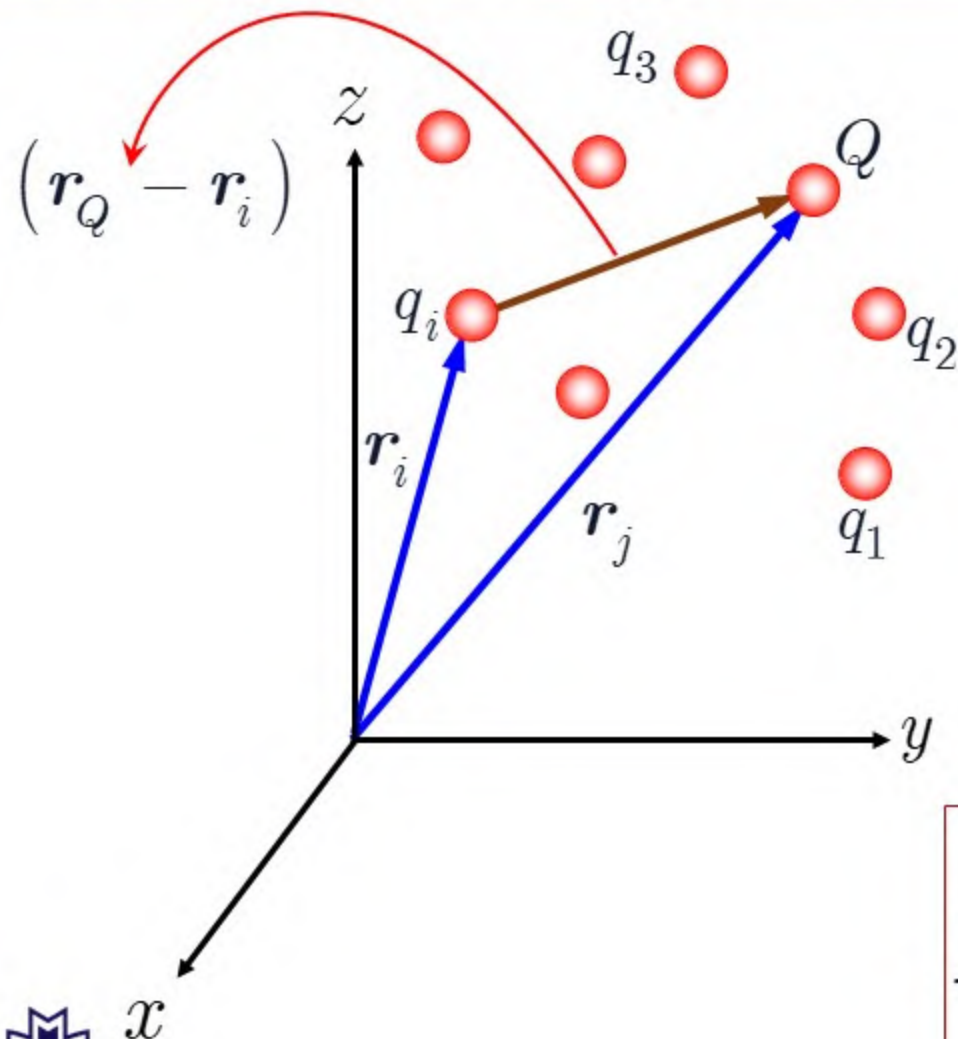
این رابطه نشان می‌دهد که نیروی الکتریکی بین الکترون و پروتون (در اتم هیدروژن) به مراتب بزرگ‌تر از نیروی گرانشی بین آن‌هاست. بنابراین برای پیدا کردن شتاب الکترون می‌توان از نیروی گرانشی چشم‌پوشی کرد.
بنابراین

$$a = \frac{F_E}{m_e} = \frac{8.2 \times 10^{-8} \text{ N}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}} = 9.0 \times 10^{22} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



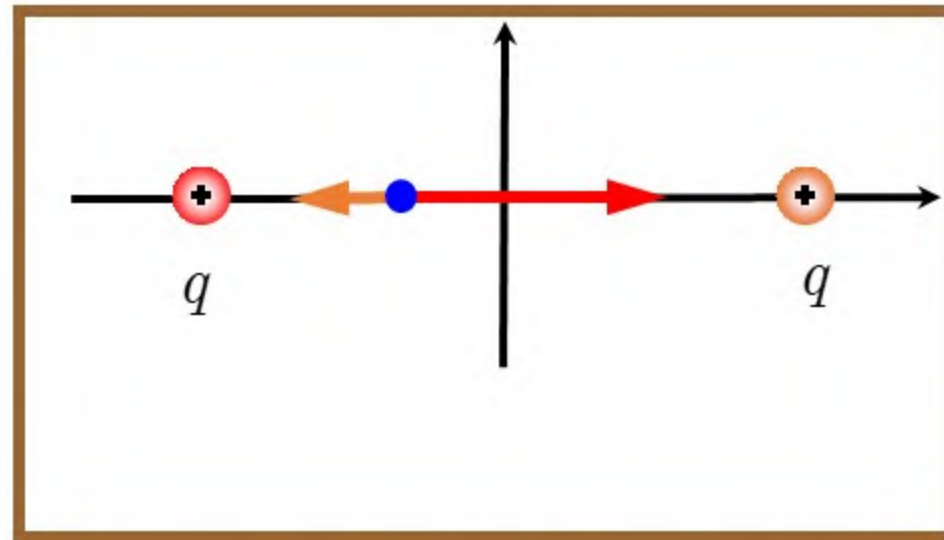
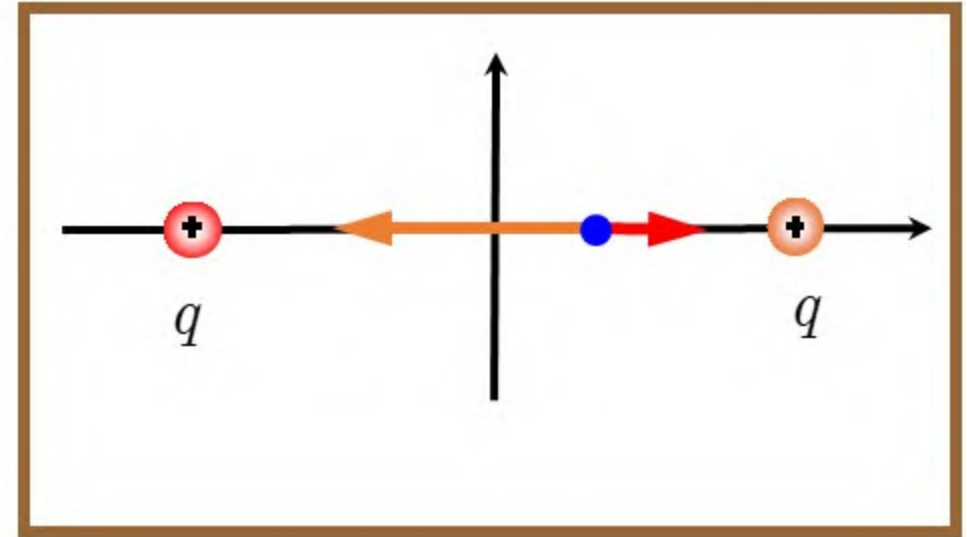
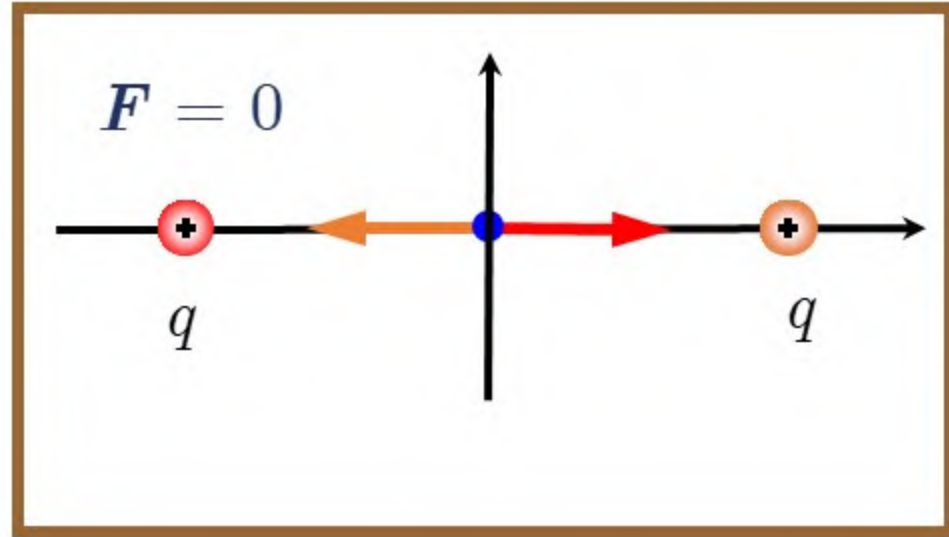


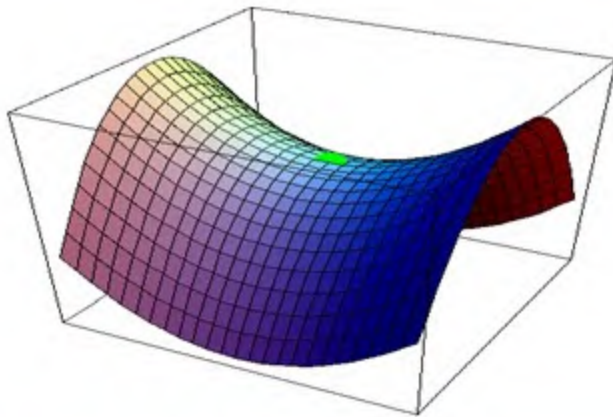
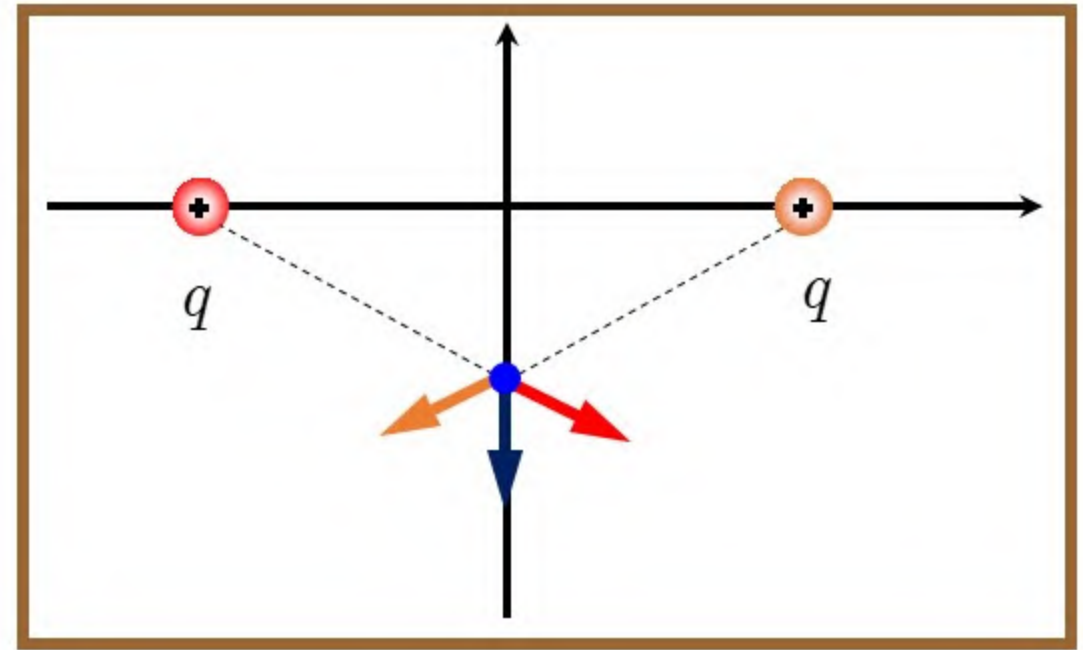
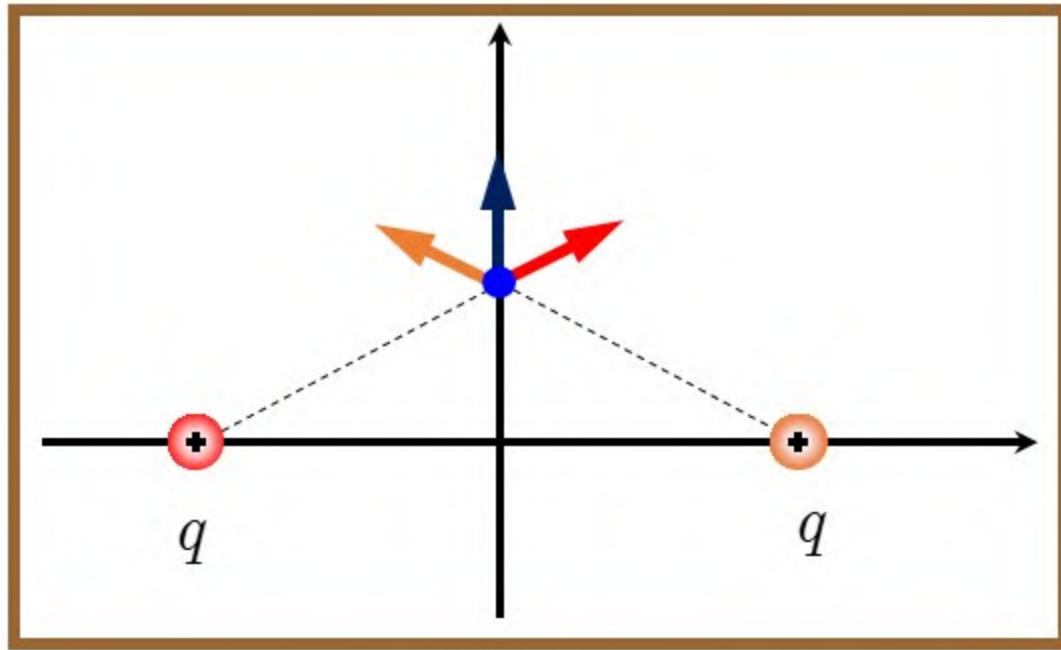
$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{14}$$



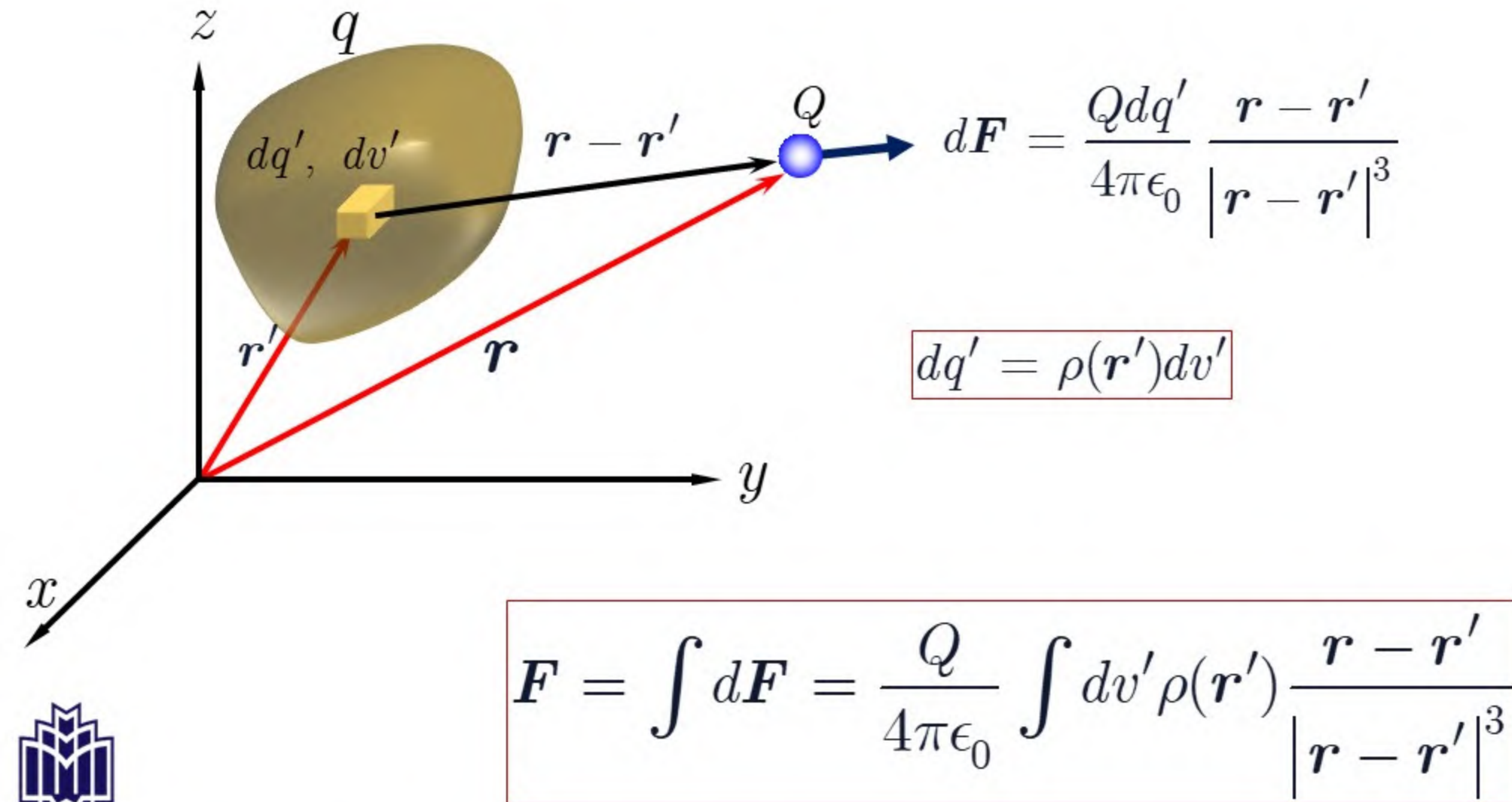
$$\mathbf{F}_{Qq_i} = \frac{Qq_i}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_Q - \mathbf{r}_i}{|\mathbf{r}_Q - \mathbf{r}_i|^3}$$

$$\mathbf{F}_j = \sum_i \mathbf{F}_{Qq_i} = \sum_i \frac{Qq_i}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_Q - \mathbf{r}_i}{|\mathbf{r}_Q - \mathbf{r}_i|^3}$$





چنین نقطه‌ای را نقطه‌ی زینی گوئیم



شاد و مهربان باشید

