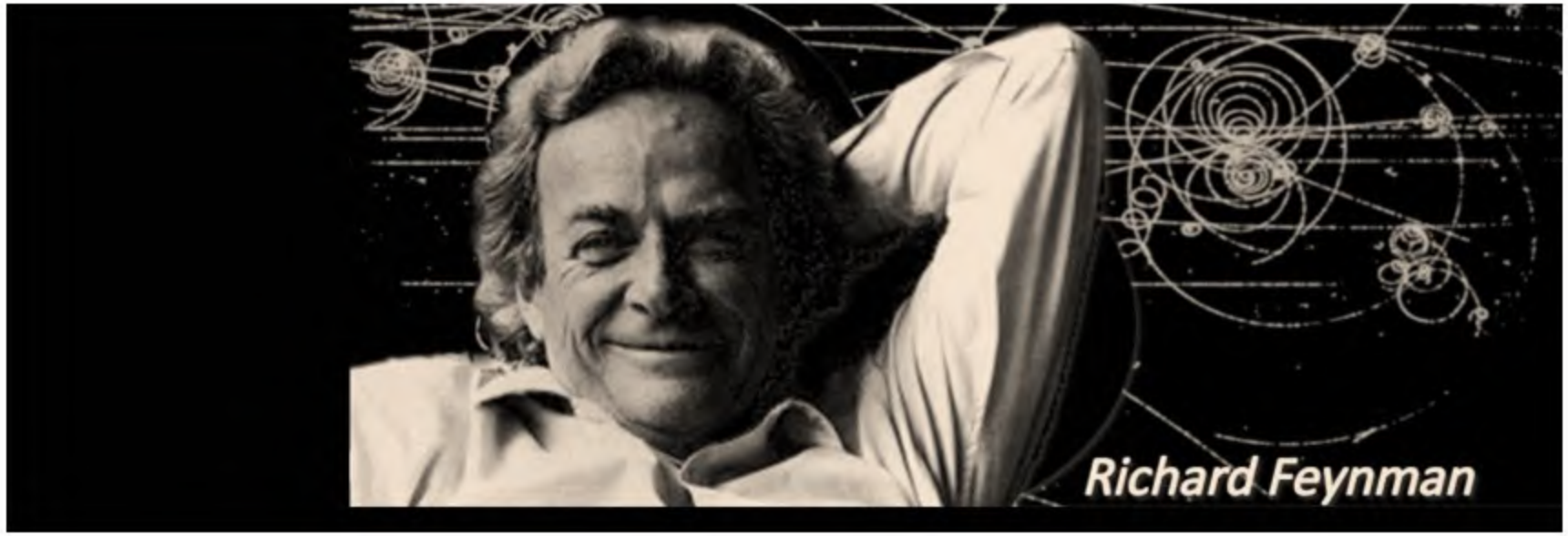
Electrodynamics

Faculty of Physics-Kharazmi University

Dr. Faramarz Kanjouri

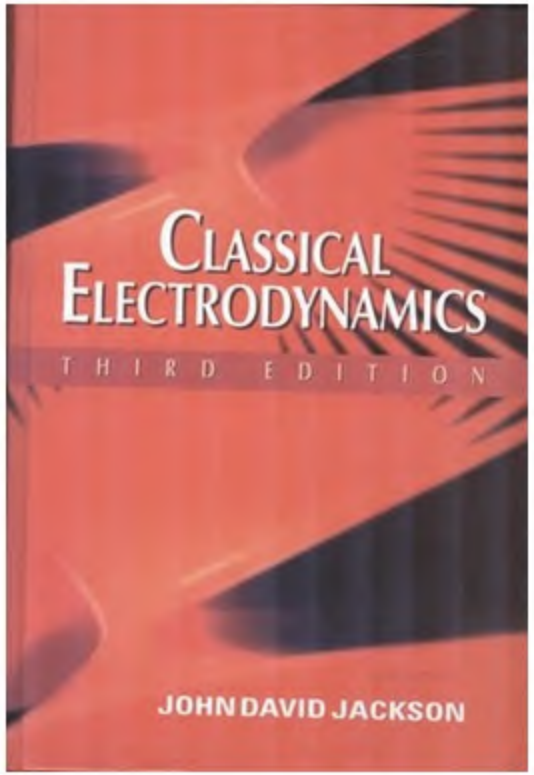
https://kanjouri.com

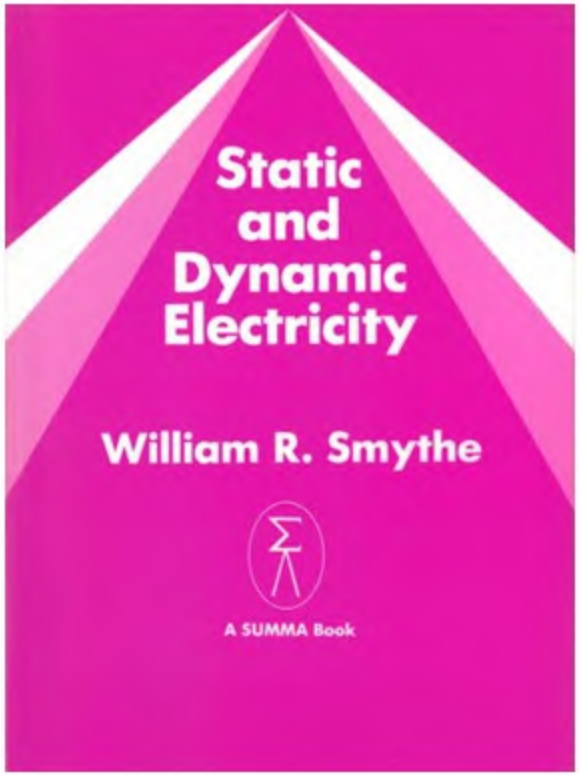
دانشگاه خوارزمی

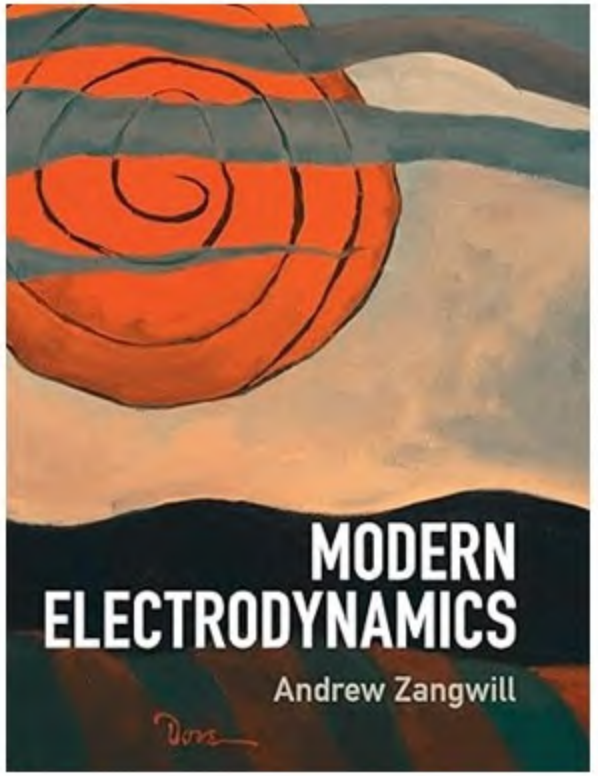


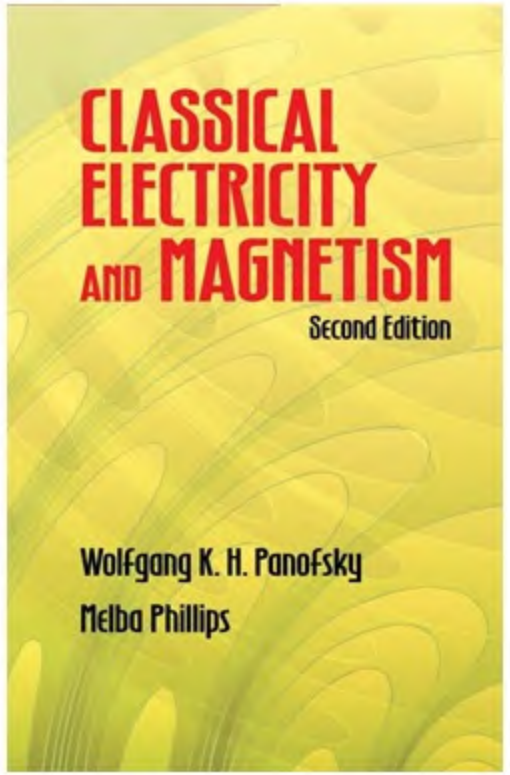
اگر همواره مانند گذشته بیندیشید، همیشه همان چیزهایی را به‌دست می‌آورید که تا کنون کسب کرده‌اید

فاینمن


CLASSICAL
ELECTRODYNAMICS
THIRD EDITION
JOHN DAVID JACKSON


Static
and
Dynamic
Electricity
William R. Smythe
A SUMMA Book


MODERN
ELECTRODYNAMICS
Andrew Zangwill


CLASSICAL
ELECTRICITY
AND MAGNETISM
Second Edition
Wolfgang K. H. Panofsky
Melba Phillips

۱- تکالیف هفتگی: ۲۰ درصد از کل نمره

تحویل تکالیف در زمان تعیین شده الزامی است.

۲- آزمون‌های هفتگی: ۱۰ درصد از کل نمره

۳- آزمون جامع اول (میان‌ترم): ۳۰ درصد از کل نمره

۴- آزمون جامع دوم (پایان‌ترم): ۴۰ درصد از کل نمره

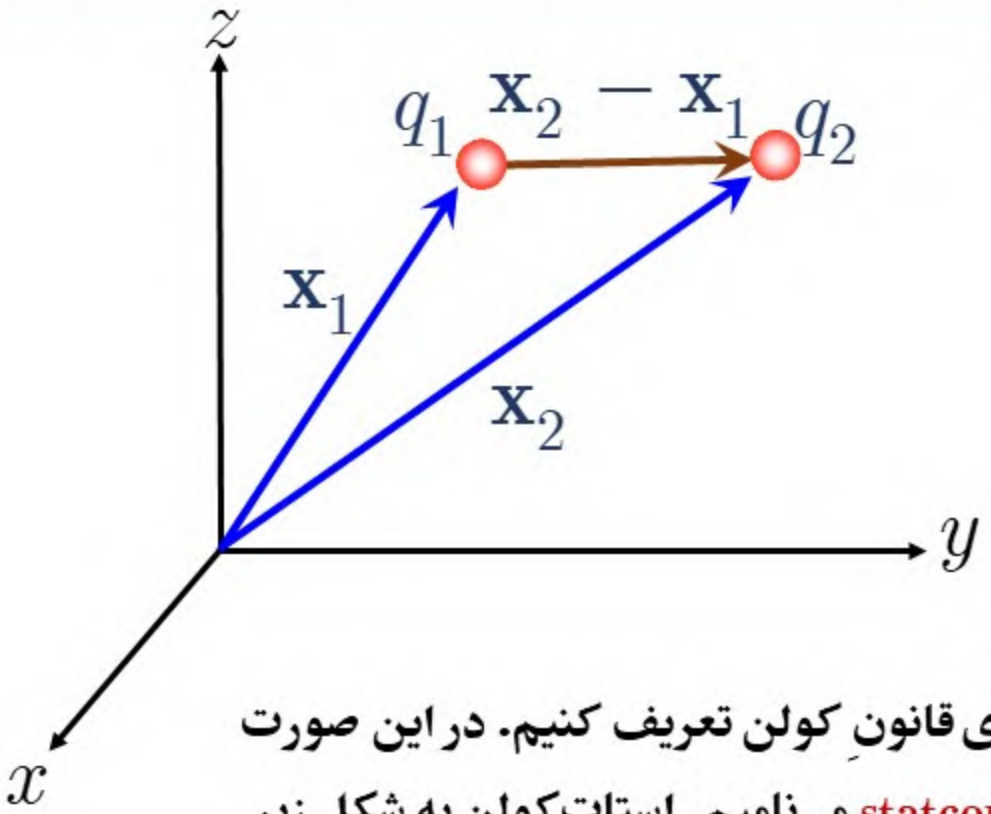
۵- در صورت نیاز آزمون‌های شفاهی نیز برگزار خواهد شد

درس اول
بار الکتریکی و قانون کولن

Electric Charge and Coulomb's Law

- Conservation of charge
- Quantization of charge
- Coulomb's Law
- The principle of superposition

- اصل پایستگی بار الکتریکی
- کوانتش بار الکتریکی
- قانون کولن
- اصل برهم نهی



قانون کولن برهم‌کنش بین دو بار نقطه‌ای را به شکل زیر بیان می‌کند

$$\mathbf{F}_{q_2} = kq_1q_2 \frac{\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1}{\left|\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1\right|^3}$$

k مقدارِ ثابتی است که بستگی به انتخاب یکایِ بارِ الکتریکی دارد.

ساده‌ترین انتخاب این است که مقدارِ k را برابر با ۱ بگیریم و یکای بار الکتریکی را از روی قانونِ کولن تعریف کنیم. در این صورت یکای الکتروستاتیکی بار الکتریکی (Electrostatic unit (esu)) را استات‌کولن statcoulomb می‌نامیم. استات‌کولن به شکلِ زیر تعریف می‌شود:

دو بارِ الکتریکی با اندازه‌ی یکسانِ یک استات‌کولن که در فاصله‌ی یک سانتی‌متر از هم قرار دارند، به هم‌دیگر نیروی الکتریکی معادلِ یک دین dyne وارد می‌کنند.

انتخاب دیگر، دستگاه یکاهای **MKS** است. در این دستگاهِ یکاها، یکایِ بارِ الکتریکی کولن است. و مقدارِ k برابر است با:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 10^{-7}\,c^2 = 8.987551788 \times 10^9\ \frac{\mathrm{N.m^2}}{\mathrm{C^2}}$$

(c سرعت نور است)

$$\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12}\ \frac{\mathrm{C^2}}{\mathrm{N.m^2}} \quad \left(\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}}\right)$$

permittivity of free space **ضریب گذردهی خلأ**

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

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

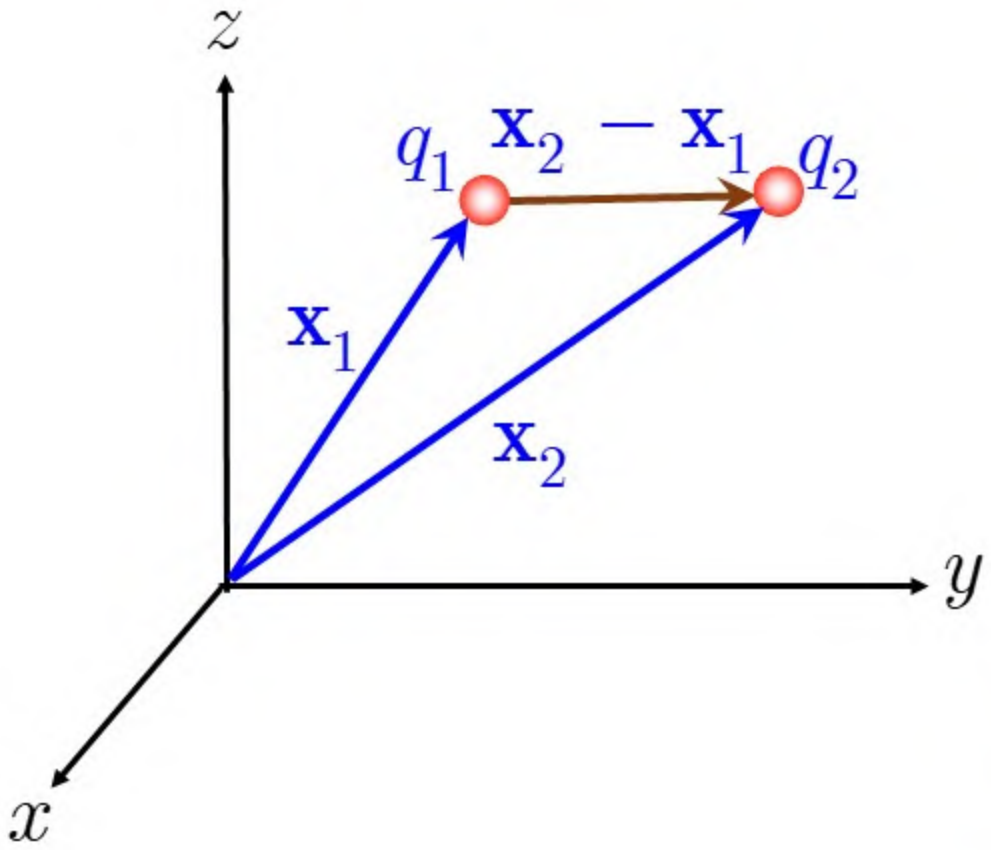
که معمولاً آن را به شکلِ تقریبیِ زیر می‌نویسیم:

$$e = 1.6 \times 10^{-19}\mathrm{C} = 4.8 \times 10^{-10}\mathrm{esu}$$

رابطه‌ی بین یکای الکتروستاتیکی بار و کولن $1\mathrm{C} = 3 \times 10^{9}\mathrm{esu}$

یک کولن بار، بر حسبِ بارِ الکترون : $1\mathrm{C} = 6.25 \times 10^{18}e$

نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی یکسانِ یک کولنی که در خلأ به فاصله‌ی یک متر از هم قرار دارند، تقریباً برابر با 9×10^{14} دین یا 9×10^{9} نیوتن است.

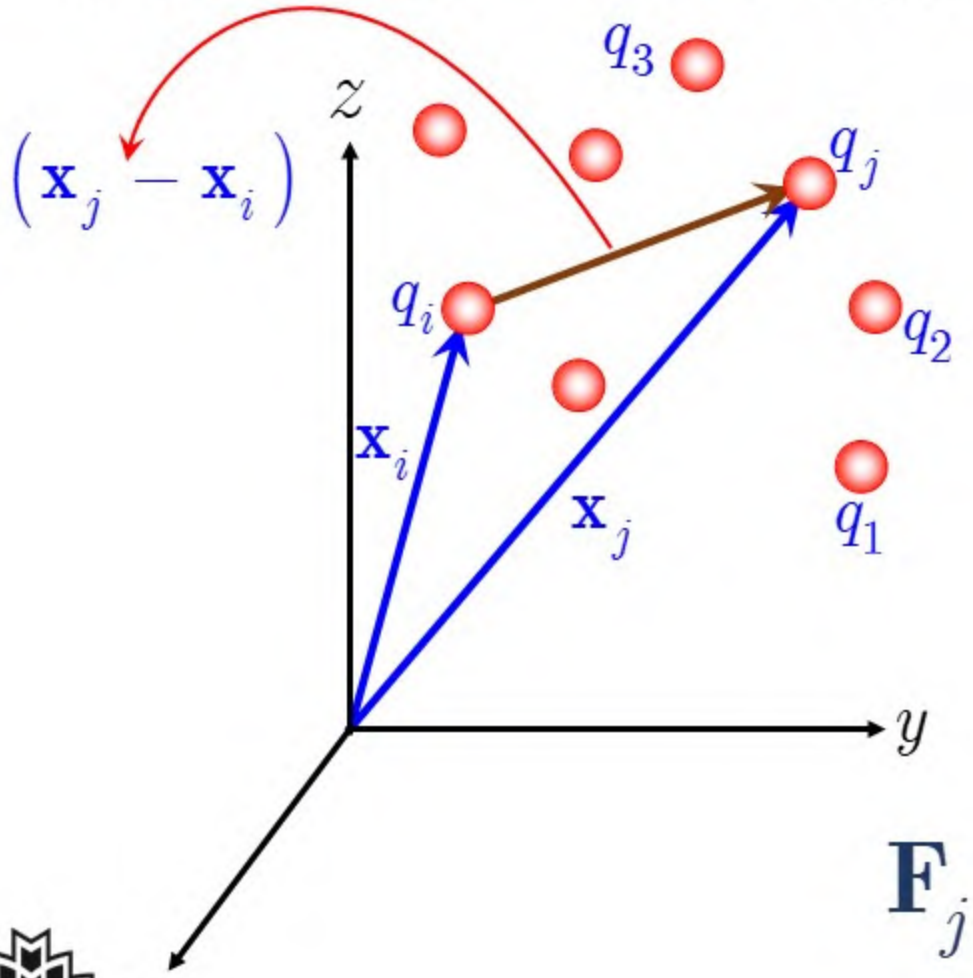


$$\mathbf{F}_{q_2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1}{\left|\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1\right|^3}$$

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

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

هرگاه چند بار نقطه‌ای داشته باشیم، نیروی وارد بر هر یک از آن‌ها از طرفِ بارهای دیگر، به شکل زیر محاسبه می‌شود

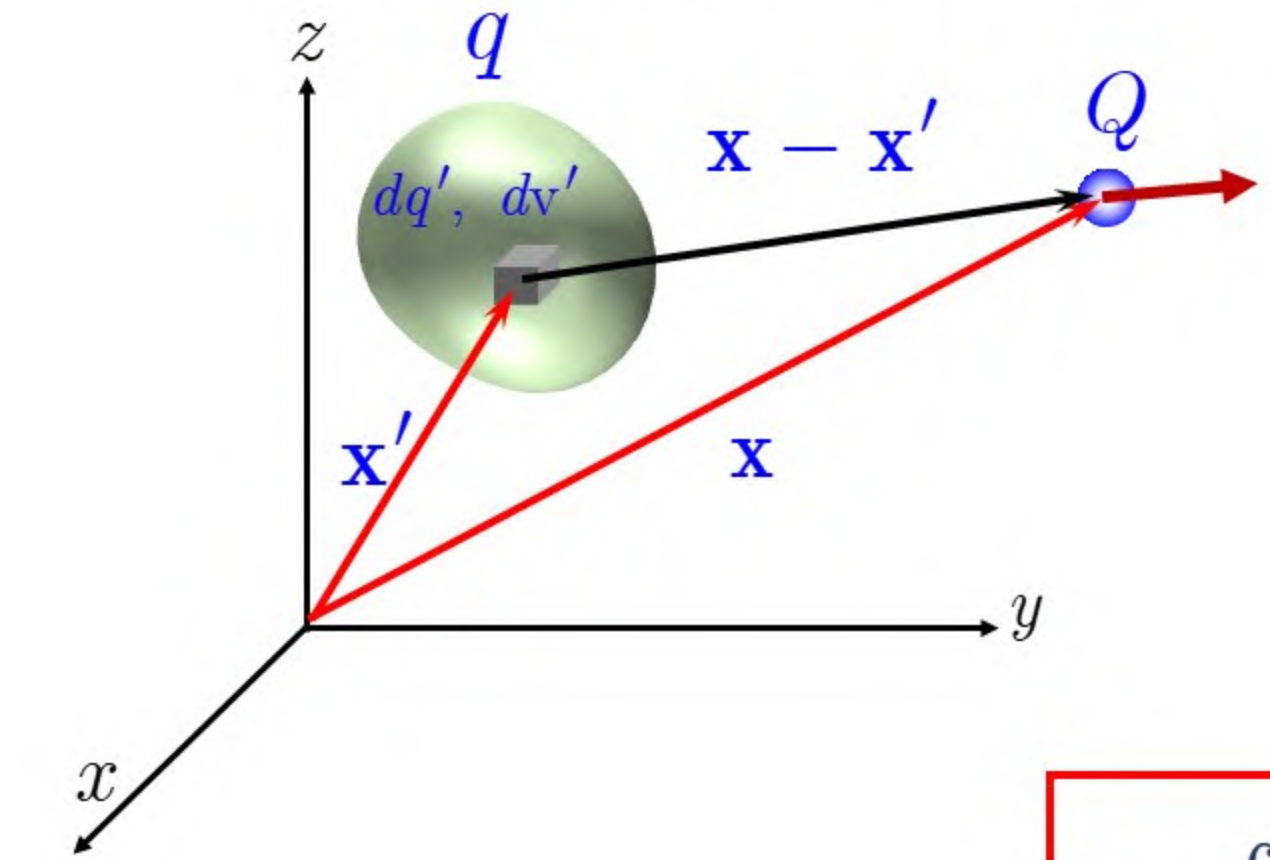


$$\mathbf{F}_{ji} = \frac{q_j q_i}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i}{\left|\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i\right|^3}$$

$$\mathbf{F}_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{n} \mathbf{F}_{ji} = \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{n} \frac{q_j q_i}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i}{\left|\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i\right|^3}$$

دانشگاه خوارزمی

نیرویی که یک بارِ پیوسته به بارِ نقطه‌ای Q وارد می‌کند، طبق اصل برهم‌نهی برابر است با



$$d\mathbf{F} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_\circ}\frac{dq'\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right|^3}$$

$$dq' = \rho(\mathbf{x}')d\mathrm{v}'$$

$$\mathbf{F} = \int d\mathbf{F} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_\circ}\int d\mathrm{v}'\ \rho(\mathbf{x}')\frac{\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right|^3}$$

دانشگاه خوارزمی

نیروی وارد بر بار Q از طرف مجموعه‌ای از بارهای نقطه‌ای، چگالی خطی، چگالی سطحی و چگالی حجمی بار الکتریکی

$$\mathbf{F} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_\circ}\int dv'\rho_v(\mathbf{x}')\frac{\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right|^3} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_\circ}\int da'\sigma_s(\mathbf{x}')\frac{\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right|^3} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_\circ}\int dl'\lambda_l(\mathbf{x}')\frac{\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right|^3} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_\circ}\sum_i q_i\frac{\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}_i\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}_i\right|^3}$$

برای یک توزیع حجمی بار داریم: $dq = \rho_v(\mathbf{x}')dv'$

برای یک توزیع سطحی بار داریم: $dq = \sigma_s(\mathbf{x}')da'$

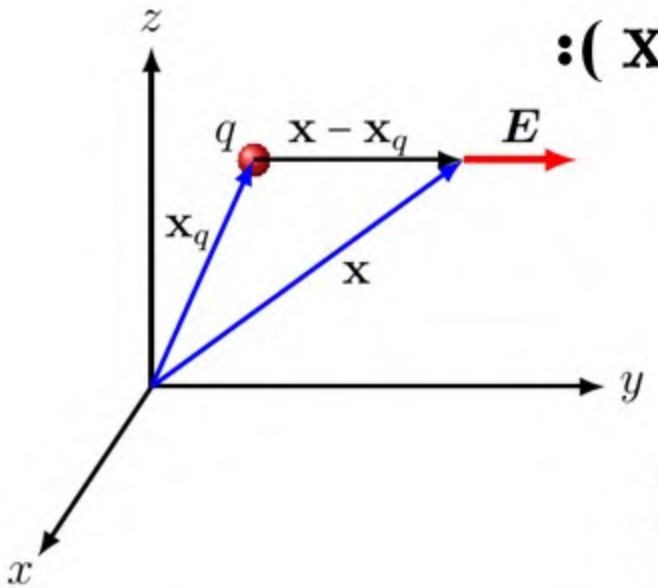
برای یک توزیع خطی بار داریم: $dq = \lambda_l(\mathbf{x}')dl'$

میدانِ الکتریکی در هر نقطه از فضا بر حسب نیروی وارد بر واحدِ بار در آن نقطه تعریف می‌شود:

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}_0) = \frac{\mathbf{F}_{q_0}}{q_0} \qquad \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}$$

$\mathbf{x}_0$ بردارِ مکانِ بار q_0 است

میدانِ الکتریکی در در نقطه‌ی $\mathbf{x}$ ناشی از بارِ نقطه‌ای q (واقع در نقطه‌ی $\mathbf{x}_q$):



$$\mathbf{E}(\mathbf{x}) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{x} - \mathbf{x}_q}{\left|\mathbf{x} - \mathbf{x}_q\right|^3}$$

میدان الکتریکی ناشی از یک بار یک کولنی در فاصله‌ی یک متری برابر است با:

$$\left|\mathbf{E}\right| \approx 8.9874 \times 10^9 \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}} = 8.9874 \frac{\mathrm{GV}}{\mathrm{m}}$$

میدان الکتریکی ناشی از یک الکترون در فاصله‌ی یک متری برابر است با:

$$\left|\mathbf{E}\right| \approx 1.44 \times 10^{-9} \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}} = 1.44 \frac{\mathrm{nV}}{\mathrm{m}}$$

دانشگاه خوارزمی

میدان الکتریکی ناشی از مجموعه‌ای از بارهای نقطه‌ای، چگالی خطی، چگالی سطحی و چگالی حجمی بار الکتریکی

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_\circ}\int dv'\rho_v(\mathbf{x}')\frac{\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right|^3} + \frac{1}{4\pi\epsilon_\circ}\int da'\sigma_s(\mathbf{x}')\frac{\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right|^3} + \frac{1}{4\pi\epsilon_\circ}\int dl'\lambda_l(\mathbf{x}')\frac{\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right|^3} + \frac{1}{4\pi\epsilon_\circ}\sum_i q_i\frac{\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}_i\right)}{\left|\mathbf{x}-\mathbf{x}_i\right|^3}$$

شاد و مهربان باشید