# Лекція №6

## Електричне поле у вакуумі і речовині

Викл Коваль В.В.

ФОК

2021р.

# Питання

Явище електризації. Електричний заряд. Елементарний електричний заряд. Дискретність заряду. Закон збереження електричного заряду. Закон Кулона. Принцип суперпозиції електричних сил. Одиниці виміру заряду. Електричне поле. Напруженість електричного поля. Принцип суперпозиції електричних полів. Робота з переміщення заряду в електростатичному полі. Теорема про циркуляцію електростатичного поля. Потенціал електричного поля. Потенціал системи зарядів. Силові лінії і еквіпотенціальні поверхні. Потік вектора. Теорема Гаусса для вектора напруженості електричного поля. Диференціальна форма електростатичної теореми Гаусса. Значення теореми Гаусса в теорії електрики. Поляризація діелектриків. Зв’язані заряди. Механізми поляризації. Вектор поляризації. Поверхнева густина зв’язаних зарядів. Вектор електричної індукції. Теорема Гаусса для діелектриків. Поляризованість і діелектрична проникність. Умови на межі поділу двох діелектриків

# ОСНОВИ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ

## ЕЛЕКТРОСТАТИКА

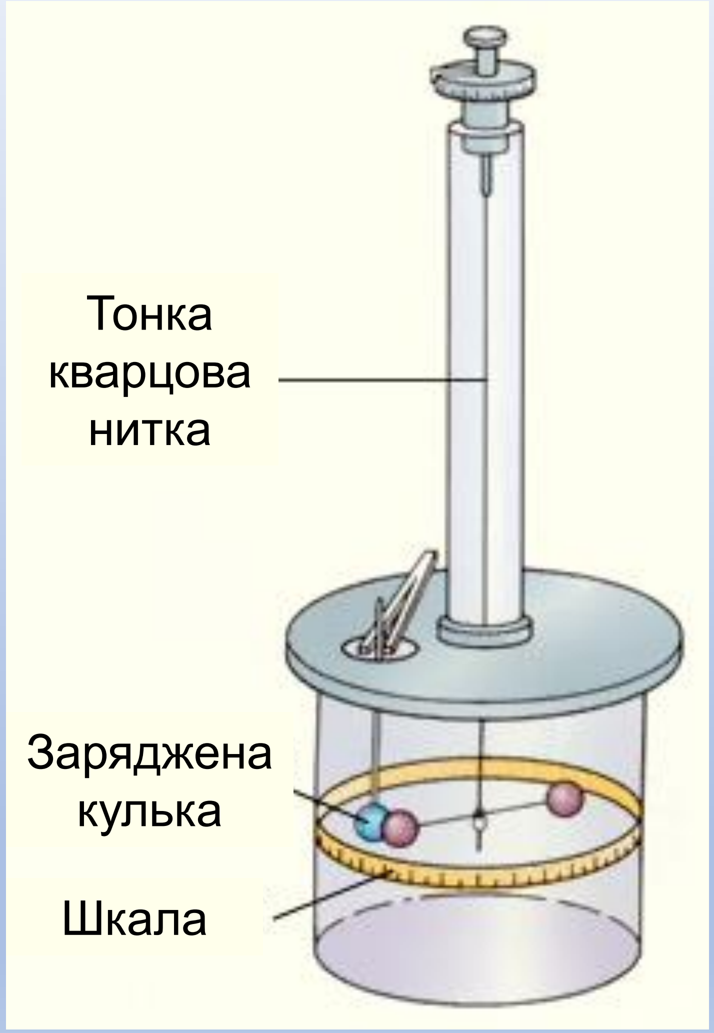
*ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ*

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19}\,Кл$$

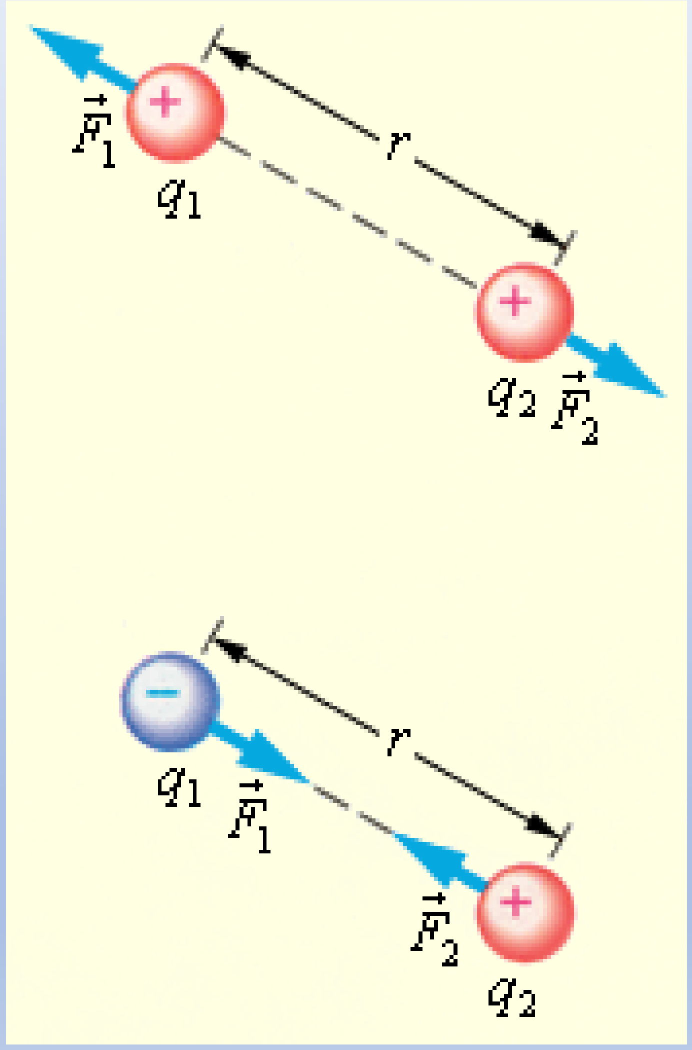
$$\sum_{i=1}^{n} q_i = const$$

**[q]=1 Кл.**

# Прилад Кулона



# ЗАКОН КУЛОНА




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

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\cdot\vec{e}_{12}$$

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

$$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot 10^{-12}\,\frac{\boldsymbol{\Phi}}{\boldsymbol{м}}$$

$$\tau = \frac{dq}{dl} \qquad [\tau] = \frac{Кл}{м}$$

$$\sigma = \frac{dq}{dS} \qquad [\sigma] = \frac{Кл}{м^2}$$

$$\rho = \frac{dq}{dV} \qquad [\rho] = \frac{Кл}{м^3}$$

# ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ І ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

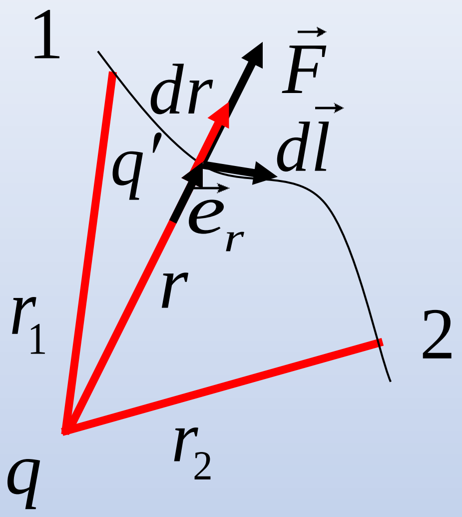
$$[E] = 1\frac{Н}{Кл} = 1\frac{В}{м}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$\vec{E} = const$$

$$A_{12} = \int_1^2 F(r)\vec{e}_r d\vec{l}$$




$$\vec{e}_r d\vec{l} = e_r dl \cos\alpha = dr$$

$$A_{12} = \int_1^2 F(r) dr$$

$$A_{12} = \frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{qq'}{r_1} - \frac{qq'}{r_2}\right)$$

$$A_{12} = W_{p_1} - W_{p_2}$$

$$W_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq'}{r} + const$$

$$r \to \infty \quad W \to 0$$

$$\phi = \frac{W_\Pi}{q} \qquad [\phi] = 1B$$

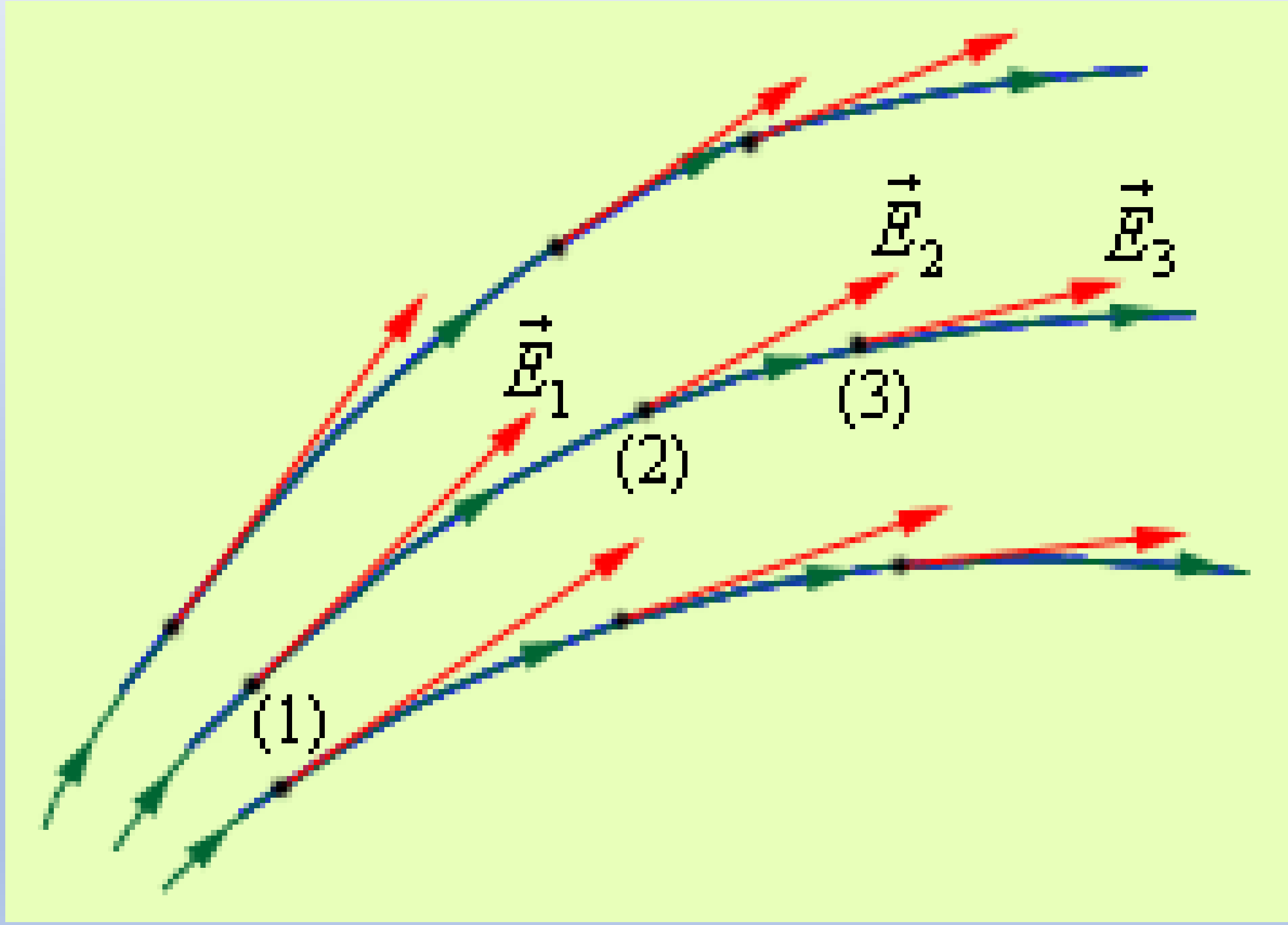
**Енергія взаємодії системи зарядів**

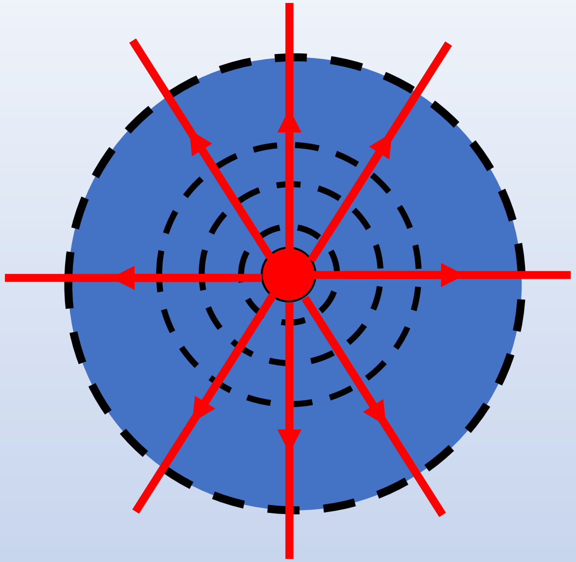
$$W_p = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} q_i \varphi_i$$

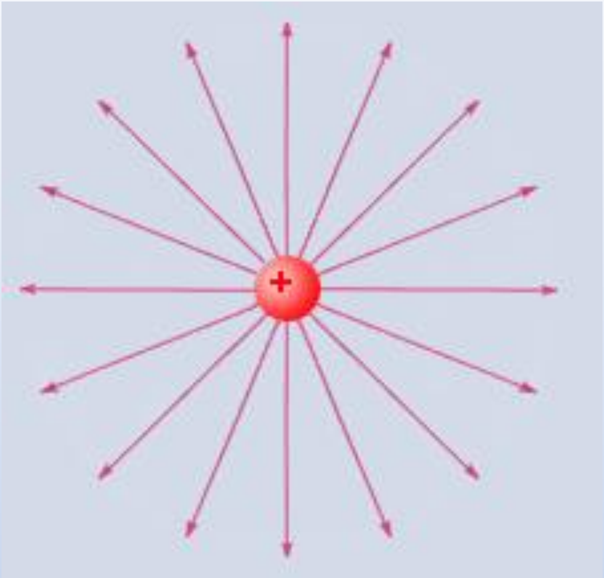
$$A_\infty = q\varphi$$

$\Delta\varphi$ **U** $\phi_2 - \phi_1 = \Delta\phi = \frac{A_{12}}{q} = U$

# Силові лінії електричного поля





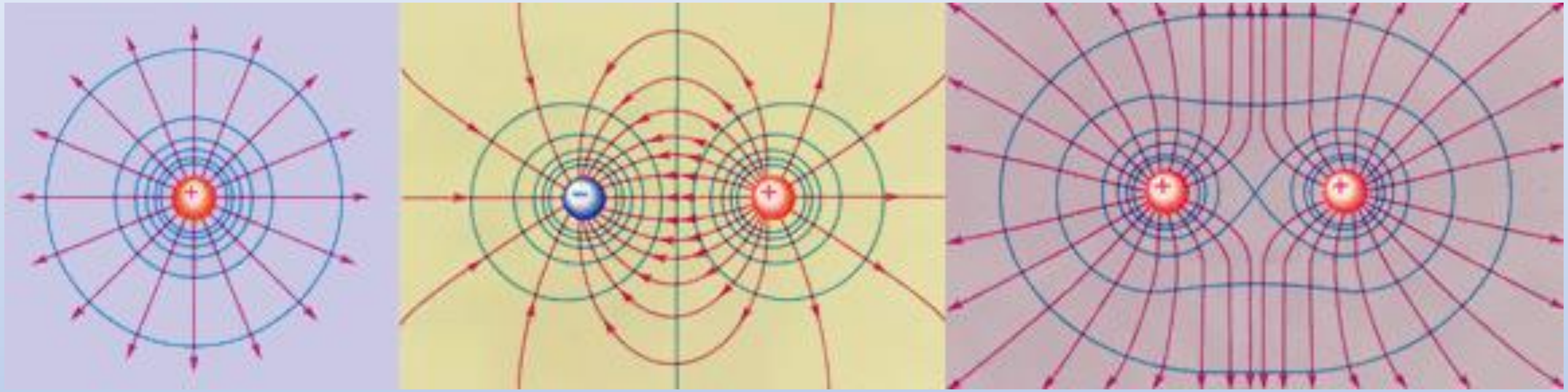


$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

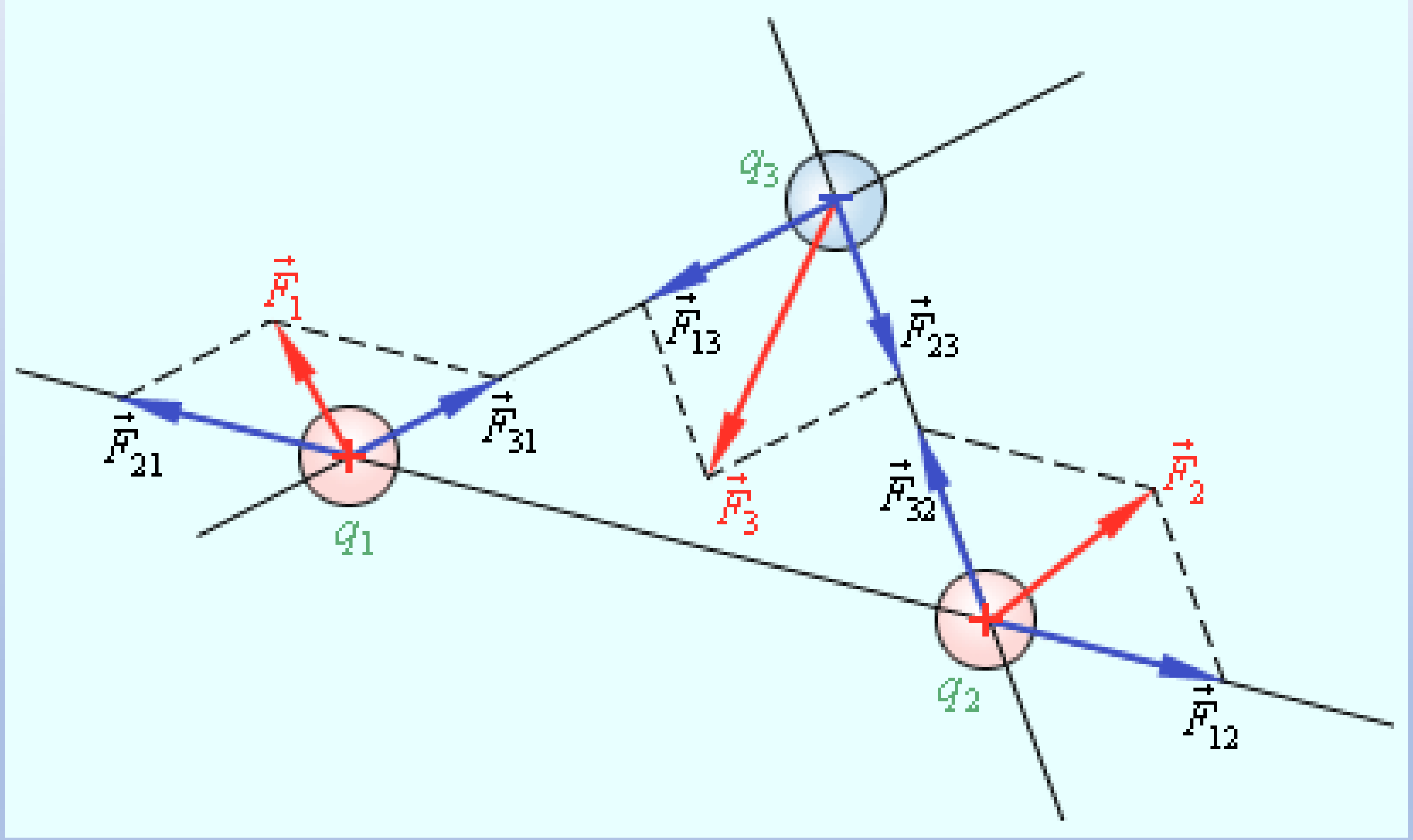
$$A = Fx\cos\alpha = qEx\cos\alpha$$

$$q(\varphi_1 - \varphi_2) = qEx\cos\alpha$$

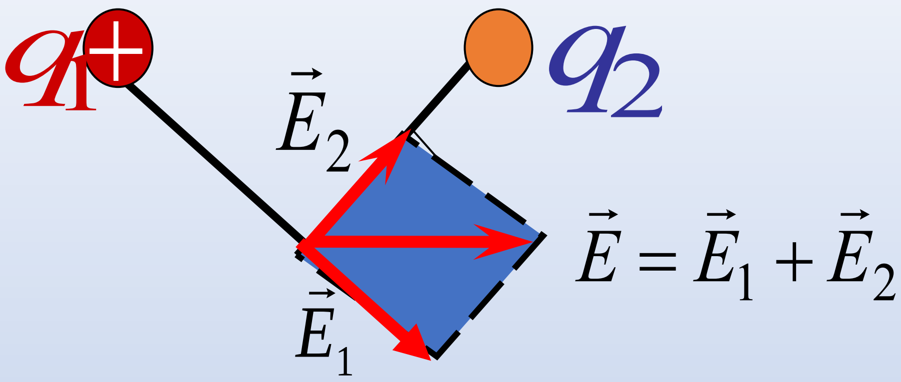
$$\alpha = 90^0$$



# Принцип суперпозиції



$$\vec{F} = \sum_{j=1}^{N} \vec{F}_{ij}$$




$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int_{(q)} \frac{dq}{r^3} \vec{r}$$

# ЗВ'ЯЗОК МІЖ НАПРУЖЕНІСТЮ І ПОТЕНЦІАЛОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$W_{П} = q\varphi$$

$$\vec{F} = -\mathrm{grad}\, W_{П}$$

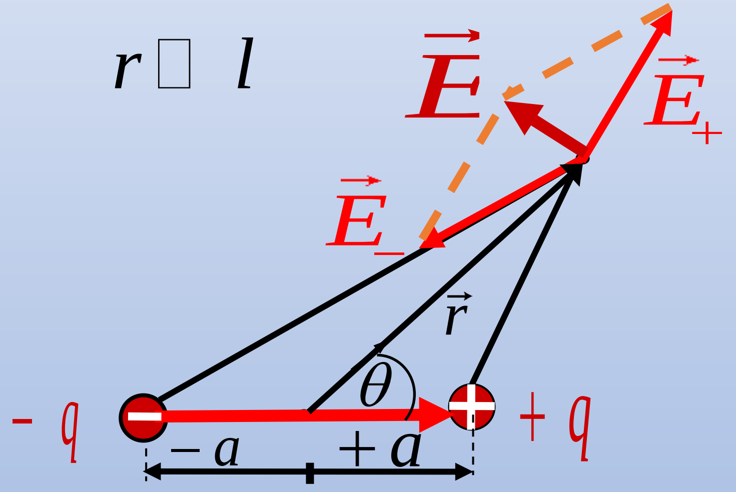
$$\mathrm{grad}\left(q\varphi\right) = q \cdot \mathrm{grad}\,\varphi$$

$$\vec{E} = -\mathrm{grad}\phi$$

# Диполь в електричному полі

$+q \quad -q \quad l$

$\vec{l} \qquad \vec{l} = 2\vec{a}$




$\vec{p} = q\vec{l}$ **- електричний момент диполя**

***l*** - плече диполя

$$\phi(r,\theta) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p\cos\theta}{r^2}$$

$$E(r,\theta) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p}{r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$$

$$\varphi(r,\theta) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p\cos\theta}{r^2} \qquad E(r,\theta) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p}{r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$$

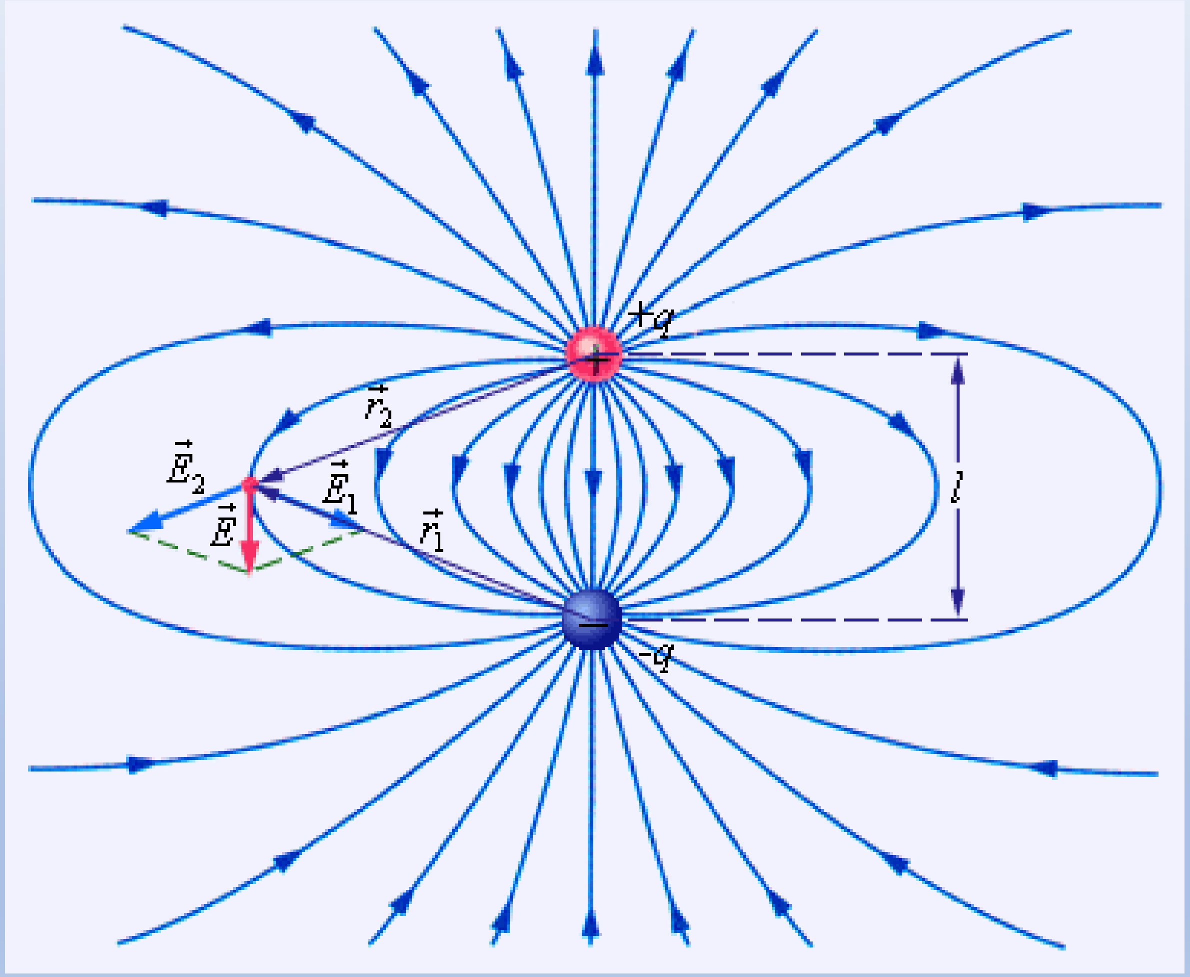
$$(\theta = 0)$$

$$\varphi_{II} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p}{r^2} \qquad E_{II} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2p}{r^3}$$

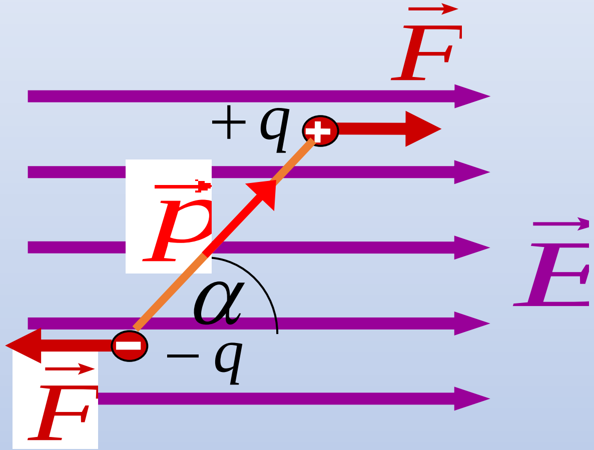
$$\left(\theta = \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\varphi_{\perp} = 0 \qquad E_{\perp} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p}{r^3}$$

# Силові лінії поля електричного диполя



$$M = pE\sin\alpha$$




$$W_{\Pi} = \vec{p}\vec{E}$$

$$\vec{p} = q\vec{l}$$

$$\vec{l}$$

# ПОТІК ВЕКТОРА

$$d\Phi_a = a_n ds = \vec{a}\vec{n} ds$$

$$\Phi_a = \int_S \vec{a} d\vec{s} = \int_S a_n ds$$

$$\operatorname{div}\vec{a} = \lim_{V \to P} \frac{\Phi_a}{V} = \lim_{V \to P} \frac{1}{V} \oint \vec{a} d\vec{s}$$

$$\operatorname{div}\vec{a} = \frac{\partial a_x}{\partial x} + \frac{\partial a_y}{\partial y} + \frac{\partial a_z}{\partial z}$$

# ТЕОРЕМА ОСТРОГРАДСЬКОГО-ГАУССА

$$\oint_S \vec{a} d\vec{s} = \int_V \operatorname{div}\vec{a} dV$$

$$\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial}{\partial z}\vec{k} \right)$$

# ТЕОРЕМА СТОКСА

$$\oint_\Gamma \vec{a} d\vec{l} = \int_S \operatorname{rot}\vec{a} d\vec{s}$$

$$\operatorname{grad}\varphi = \nabla \varphi$$

$$\operatorname{div}\vec{a} = \nabla \vec{a}$$

$$\operatorname{rot}\vec{a} = \nabla \times \vec{a}$$

# ЦИРКУЛЯЦІЯ І РОТОР ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

$$\oint_{\Gamma} \vec{E} d\vec{l} = 0$$

$$\vec{E}$$

$$\int_{S} \mathrm{rot}\vec{E}\, d\vec{S} = \oint_{\Gamma} \vec{E} d\vec{l}$$

$$\mathrm{rot}\vec{E} = 0$$

# ТЕОРЕМА ГАУСА ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

$$\vec{E}$$

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} d\vec{S}$$

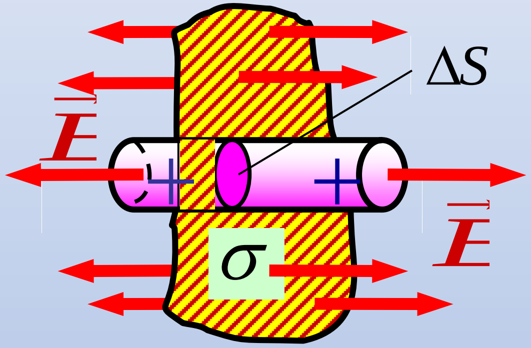
$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{N} q_i$$

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \int \rho dV$$

$$\mathrm{div}\vec{E} = \nabla \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

# РОЗРАХУНОК ПОЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРЕМИ ГАУСА

## 1 Поле нескінченної однорідно зарядженої площини




$$E_n = 0$$

$$2E \cdot \Delta S$$

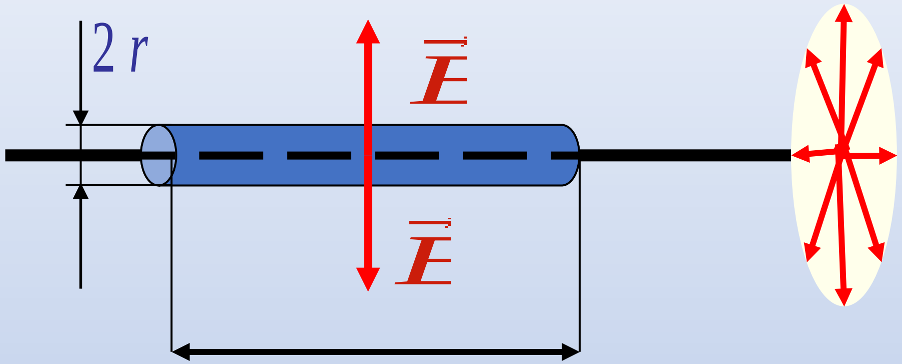
$$\sigma \cdot \Delta S$$

$$2E \cdot \Delta S = \frac{\sigma \cdot \Delta S}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

## 2 Поле нескінченної зарядженої нитки:




$$E \cdot S_{БП} = \frac{\tau \cdot h}{\varepsilon_0}$$

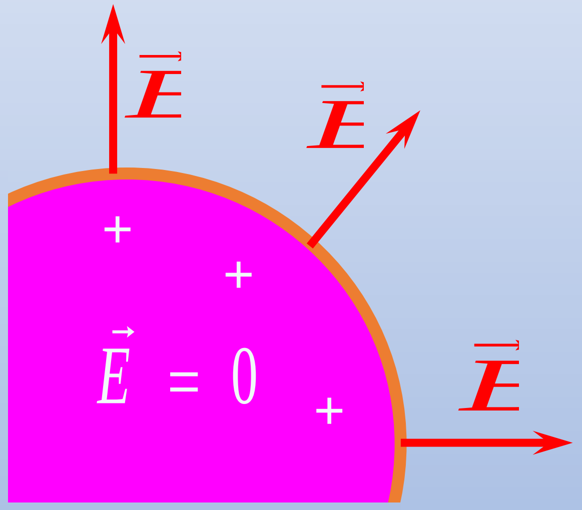
$$S_{БП} = 2\pi r h$$

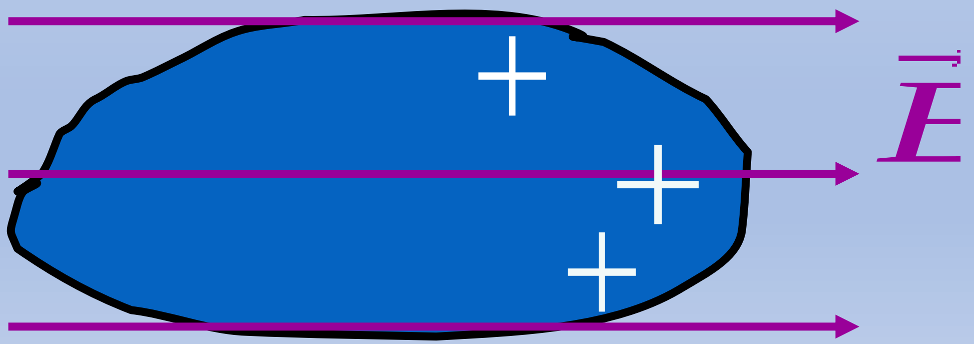
$$E \cdot 2\pi r h = \frac{\tau \cdot h}{\varepsilon_0}$$

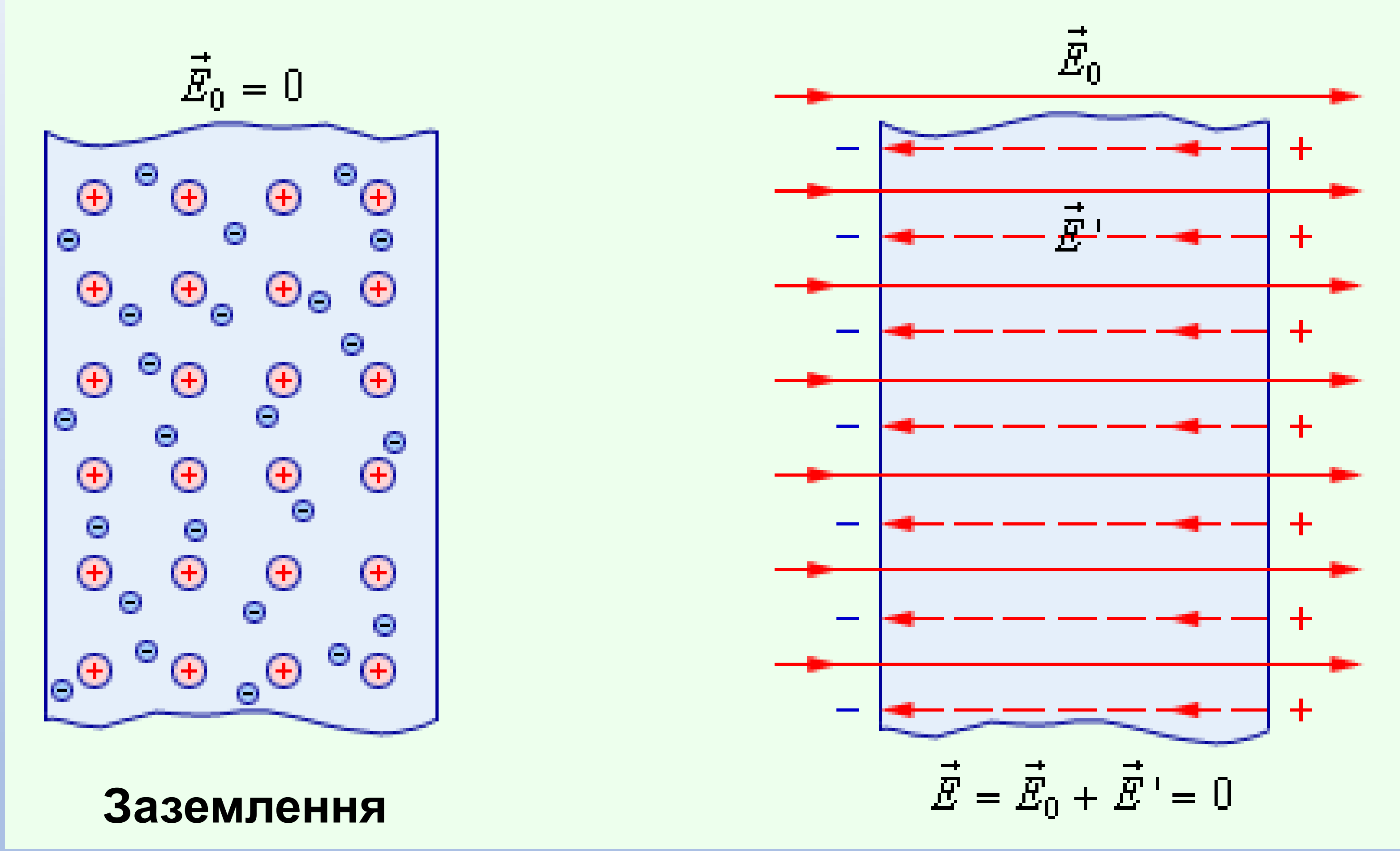
$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r}$$

# ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ У РЕЧОВИНІ

## ПРОВІДНИКИ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

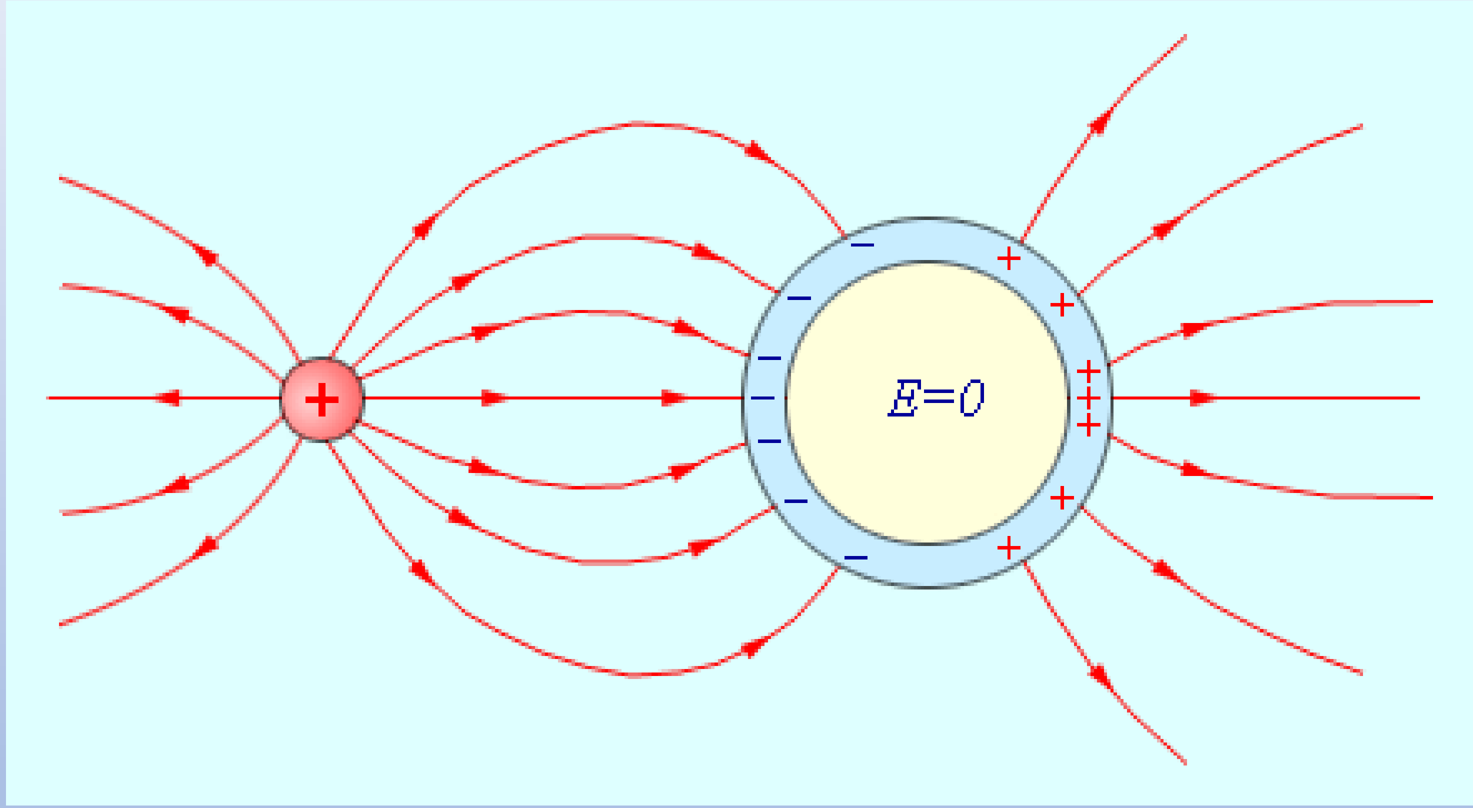




$\vec{E}_0 = 0$
$\vec{E}_0$
$\vec{E}\,'$
$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}\,' = 0$
**Заземлення**

# Електростатичний захист



# Ваші питання?!