

# ***ЛЕКЦІЯ №6***

***ТЕМА: “Електроємність.  
Конденсатори”***

# План

- 1. Електричний диполь в електростатичному полі.**
- 2. Електричне поле в діелектрику.**
- 3. Вільні й зв'язані заряди.**
- 4. Провідники в електростатичному полі.**
- 5. Електроємність провідників.  
Конденсатори.**
- 6. Ємність конденсаторів при паралельному і послідовному з'єднанні.**

# 1. Електричний диполь в електростатичному полі.

**ЕЛЕКТРИЧНИМ ДИПОЛЕМ** називається система двох, точкових різнойменних зарядів (+) і (-), що перебувають на відстані  $l$ , які рівні за модулем. Вектор, спрямований по осі диполя (прямій, що проходить через обоє заряди) від негативного заряду до позитивного й дорівнює відстані між ними, називається **ПЛЕЧЕМ** диполя.

Вектор  $\vec{p}_e = q \vec{l}$ , що співпадає по напрямку із плечем диполя й дорівнює добутку заряду  $q$  на плече  $\vec{l}$ , називається електричним моментом диполя  $\vec{p}_e$  або ДИПОЛЬНИМ МОМЕНТОМ.

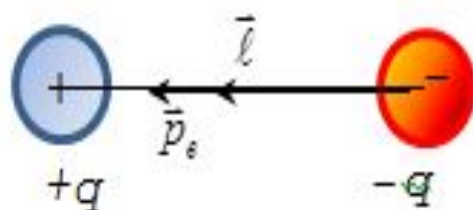


Рис.1.

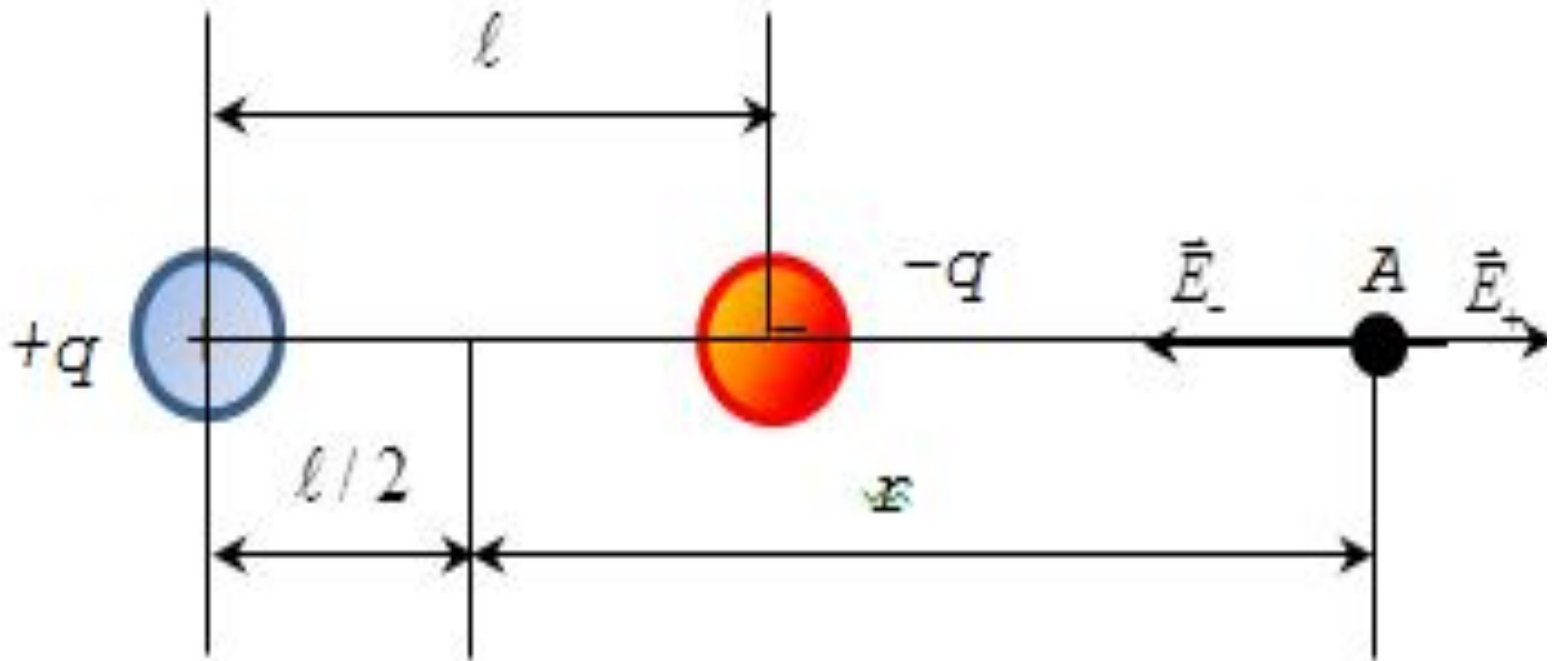
За принципом суперпозиції полів напруженість  $E$  поля диполя в довільній точці:

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

де  $\vec{E}_+$  - поле, створюване позитивним зарядом,

$\vec{E}_-$  - поле, створюване негативним зарядом.

Напруженість поля на продовженні осі  
диполя (відповідно принципу суперпозиції):

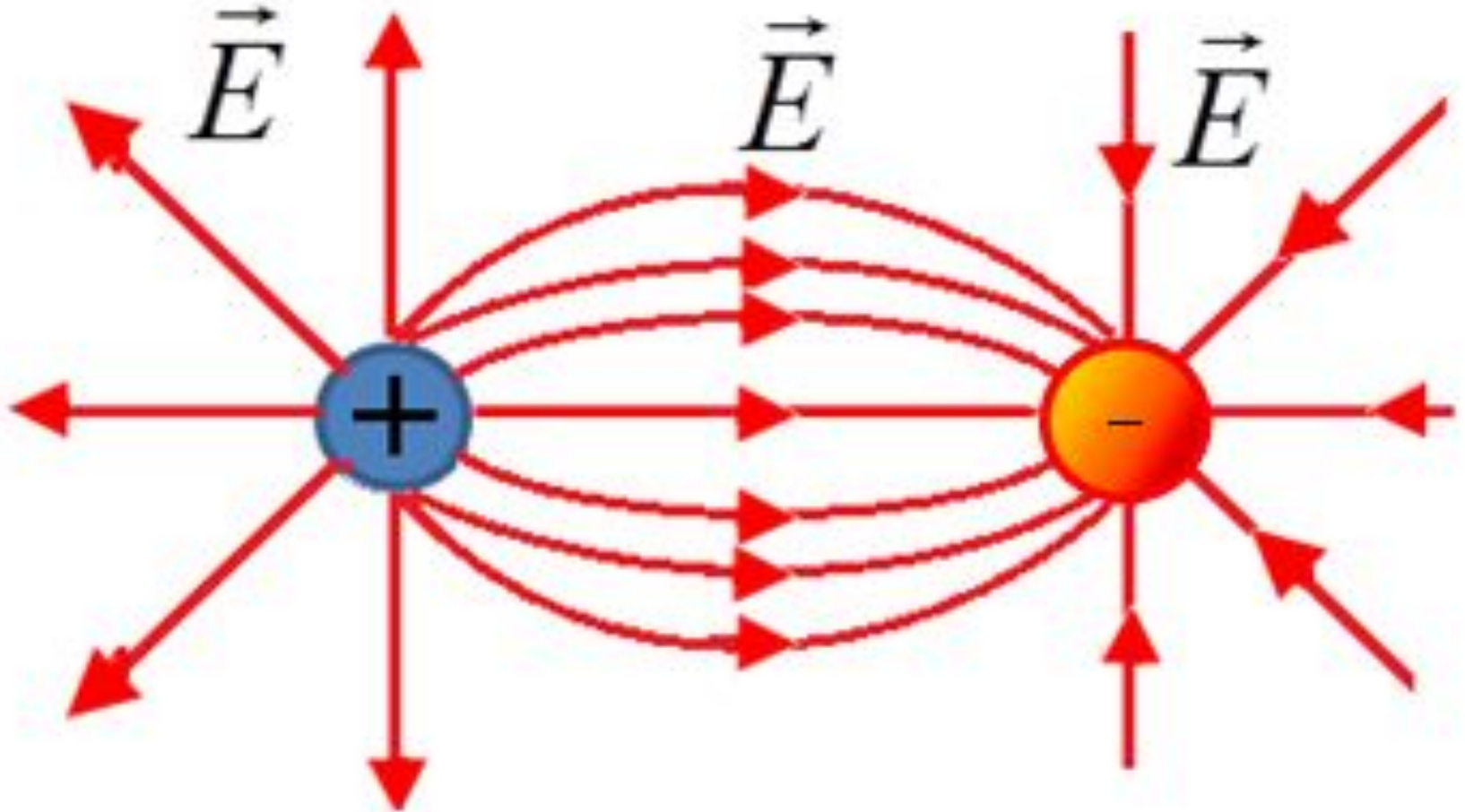


$$\vec{E}_A = \vec{E}_+ + \vec{E}_-;$$

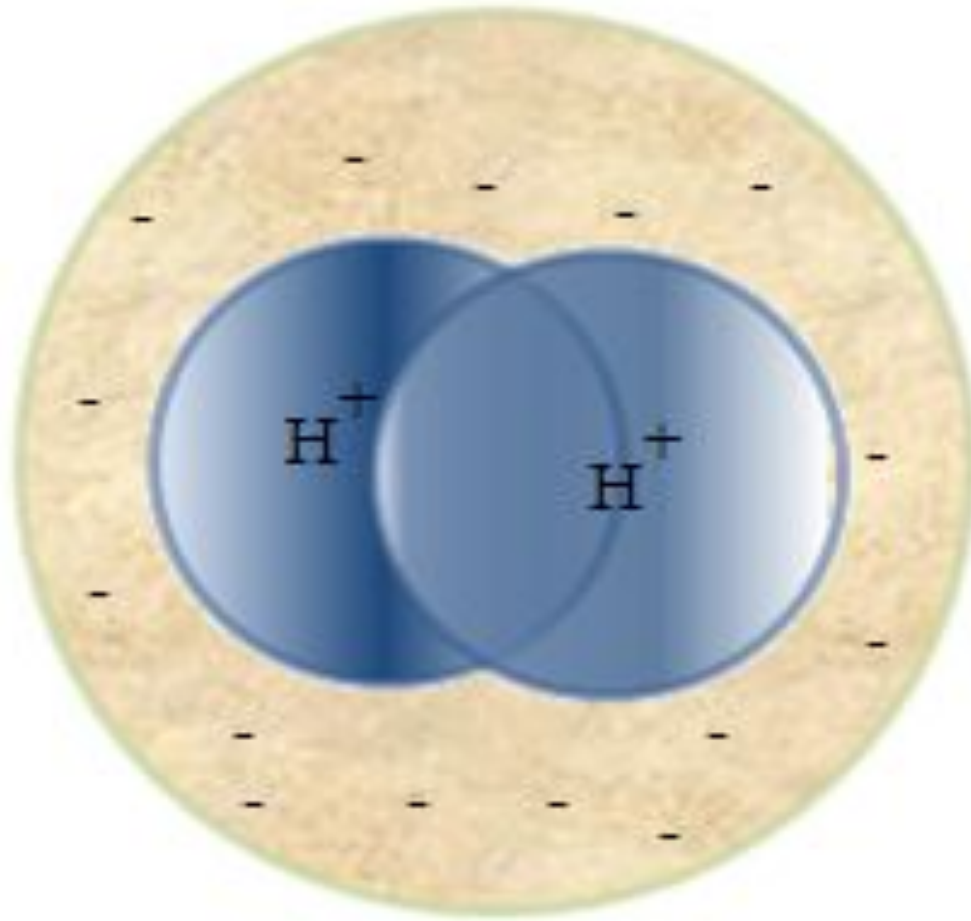
**Результуюча напруженість поля, створеного  
різномісними зарядами – диполем – в  
точці А:**

$$E_A = E_+ - E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{q}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2ql}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2p}{r^3},$$

Картина силових ліній диполя:



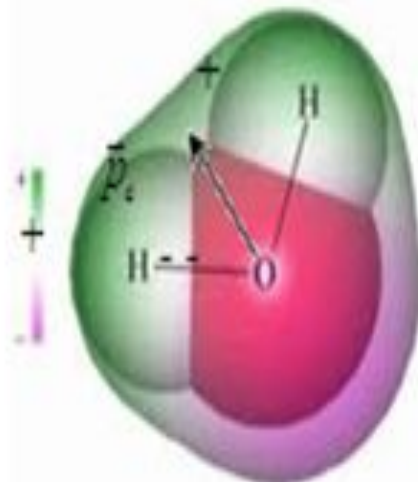
## 2. Електричне поле в діелектрику.



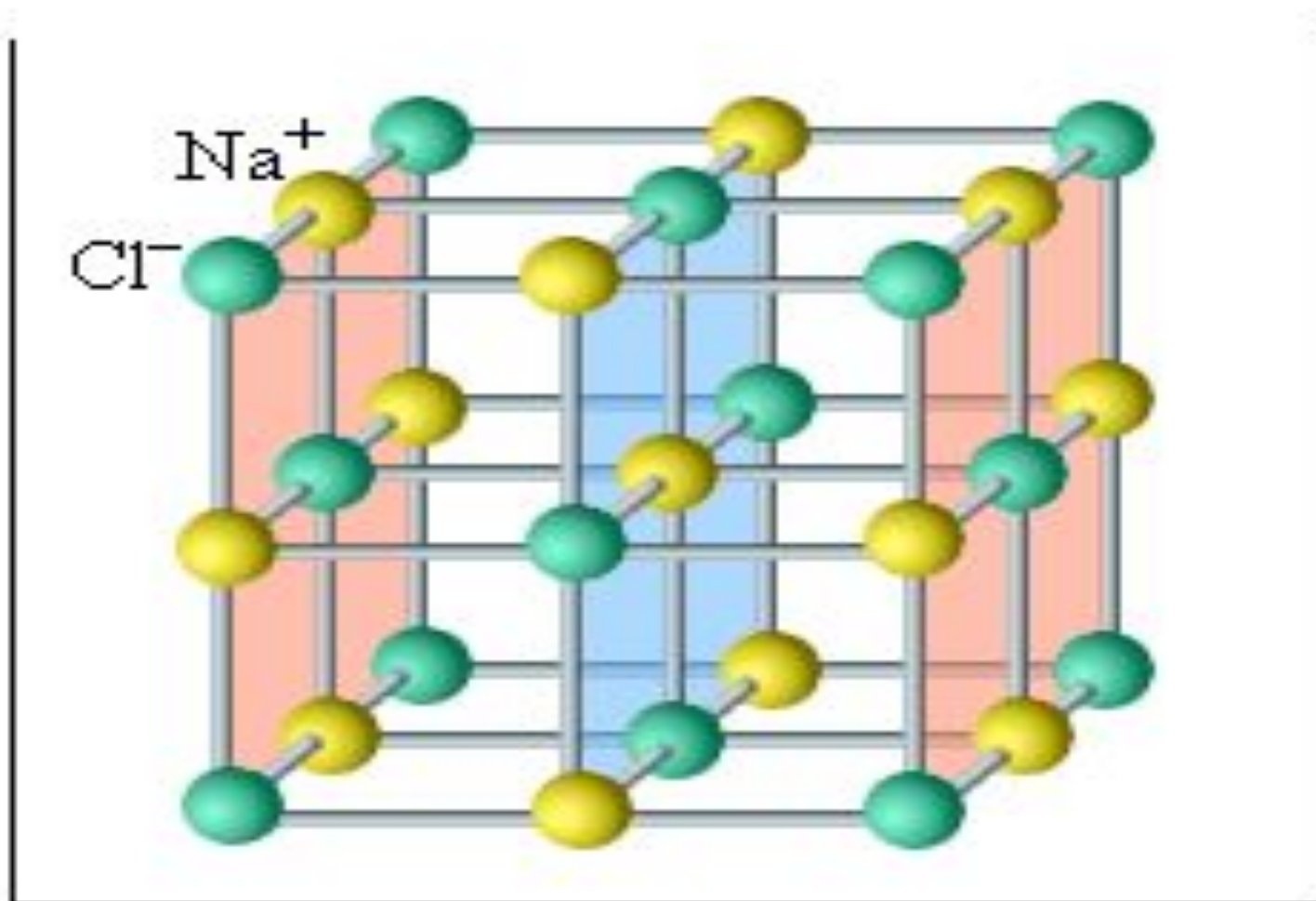


# Полярні діелектрики:

Молекули, у яких під час відсутності зовнішнього поля центри ваги позитивних і негативних зарядів не збігаються, тобто існує дипольний момент  $\vec{p}_e \neq 0$ , називаються полярними:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_4$  та інші.



# Кристалічна решітка кухонної солі:



# ВЕКТОР ПОЛЯРИЗОВАНОСТІ:

$$\bar{p}_e = \alpha \varepsilon_0 \bar{E},$$

де  $\alpha$  – поляризованість молекули (характеризує «реакцію» молекули на електричне поле);  $\alpha$  – характеристика атома або іона.

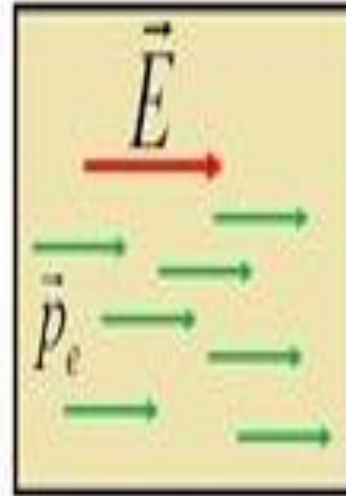
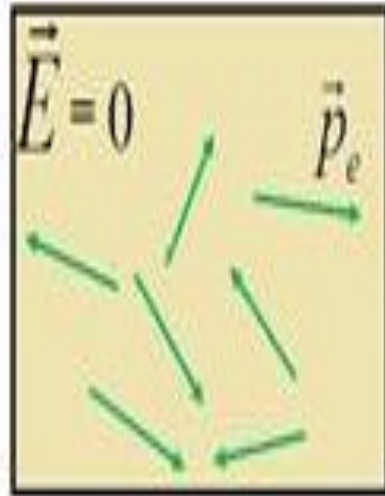
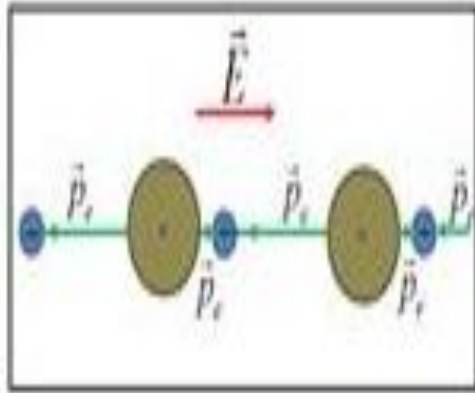
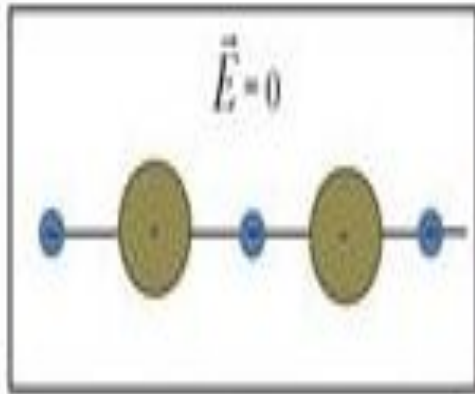
У якості величини, що характеризує ступінь поляризації діелектрика, приймається вектор ПОЛЯРИЗОВАНОСТІ  $\bar{P}$  - ДИПОЛЬНИЙ момент одиниці об'єму (або густина дипольного моменту); визначається наступним чином:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{p}_{ei}}{\Delta V},$$

де  $\bar{p}_{ei}$  - дипольний момент однієї молекули,

$\sum_{i=1}^N \bar{p}_{ei}$  - сумарний дипольний момент об'єму  $V$ .

# Типи поляризації:



# 3. Вільні й зв'язані заряди.

- Заряди, які при прикладанні зовнішнього електричного поля можуть вільно переміщатися по провідникові, і не пов'язані з іонами кристалічної решітки, називаються **вільними**.
- Заряди, що входять до складу молекули, які під дією зовнішнього поля лише на незначні відстані зміщаються зі своїх положень рівноваги, і залишити межі молекули не можуть, називаються **зв'язаними**.

# Напруженість поля в діелектрику

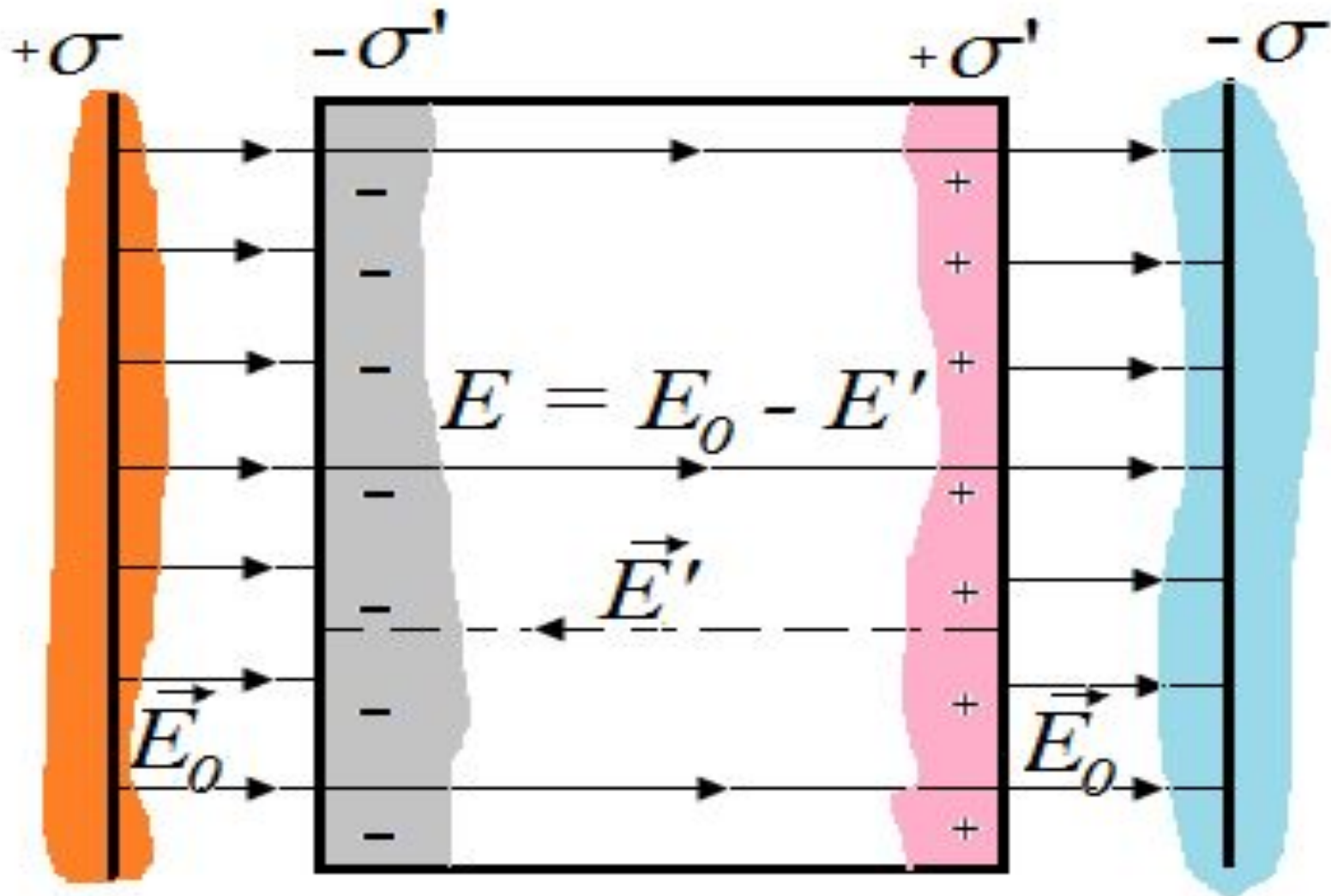
В ізотропних діелектриків вектор поляризації лінійно залежить від

напруженості поля  $\vec{E}$ :

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E},$$



# Конденсатор:



Отже, поверхнева густина зв'язаних зарядів  $\sigma'$  рівна

поляризованності (поляризації) P.

Тоді поле усередині діелектрик:

$$E = E_0 - E' = E_0 - \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} = E_0 - \frac{P}{\varepsilon_0} = E_0 - \chi E.$$

$$E = \frac{E_0}{1 + \chi} = \frac{E_0}{\varepsilon};$$

$$E_0 = (1 + \chi) E = \varepsilon E.$$

Безрозмірна величина  $\varepsilon = 1 + \chi$  називається ДИЕЛЕКТРИЧНОЮ

ПРОНИКНІСТЮ середовища. Ця величина показує, в скільки раз поле

послабляється діелектриком, характеризуючи кількісно властивість

діелектрика поляризуватися в електричному полі.

$$[\varepsilon] = 1.$$



# Електричний зсув

Для опису електричного поля, зокрема, у діелектрику, використовують

вектор електричного зсуву (вектор електростатичної індукції)  $\vec{D}$ , рівний:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}.$$

$$[\vec{D}] = \frac{\Phi}{\text{м}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{м}} = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}.$$

$$\epsilon = 1 + \chi \quad \Rightarrow \quad \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}.$$

**ПОТІК ВЕКТОРА  $\vec{D}$  через довільну замкнену поверхню**

$$\Phi_D = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D \cdot \cos \alpha \cdot dS = \oint_S D_n dS.$$

**ТЕОРЕМА ГАУСА ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ В**

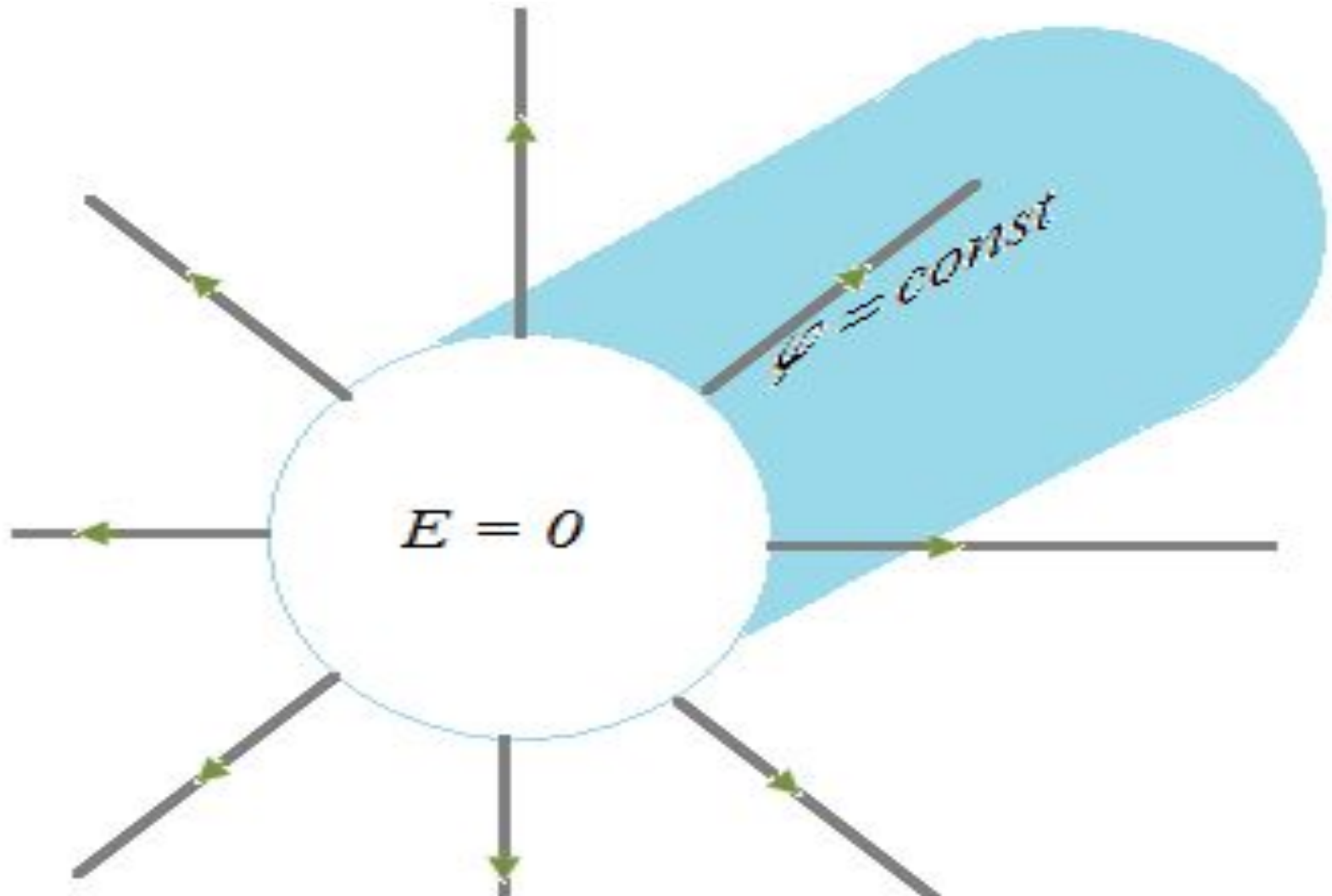
**ДИЕЛЕКТРИКУ:** *потік вектора зсуву електростатичного поля в*

*діелектрику крізь довільну замкнену поверхню дорівнює алгебраїчній сумі*

*оточених усередині цієї поверхні вільних електричних зарядів:*

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=1}^N Q_i$$

## 4. Провідники в електростатичному полі.



# Розподіл заряду в провіднику

1. Напруженість поля усередині провідника повинна дорівнювати

нулю  $\vec{E} = 0$ , тому що  $\varphi = \int E dx = const$ , тобто потенціал усередині провідника

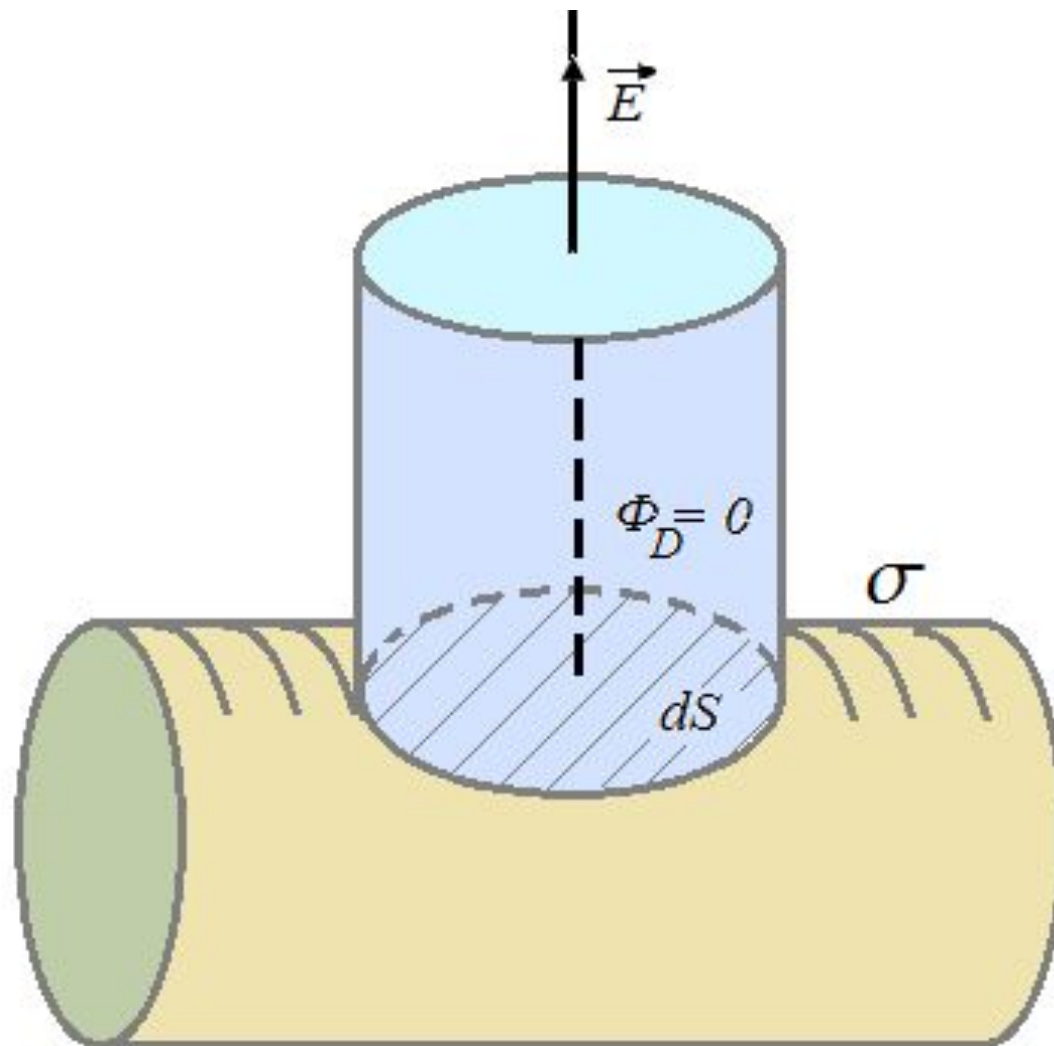
повинен бути постійним. Напруженість поля на поверхні провідника повинна

бути перпендикулярна поверхні:

$$\vec{E} = \vec{E}_n$$

Отже, поверхня провідника при рівновазі зарядів є екіпотенціальною.

Розглянемо замкнену поверхню у формі циліндра твірні поверхні якого перпендикулярні провіднику.





Потік через верхню частину циліндра поза провідником за теоремою Гаусса:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = Q;$$

$$Q = \sigma S = DS \Rightarrow D = \sigma.$$

тобто вектор електричного зсуву дорівнює поверхневій густині вільних

зарядів провідника або

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}.$$

# 5. ЕЛЕКТРОЄМНІСТЬ ПРОВІДНИКІВ. КОНДЕНСАТОРИ

де  $C = \frac{q}{\varphi}$  - ємність відокремленого провідника.

Ємність відокремленого провідника дорівнює відношенню заряду  $q$ , надавання якого провіднику змінює його потенціал на 1 Вольт.

У системі SI ємність вимірюється у Фарадах:

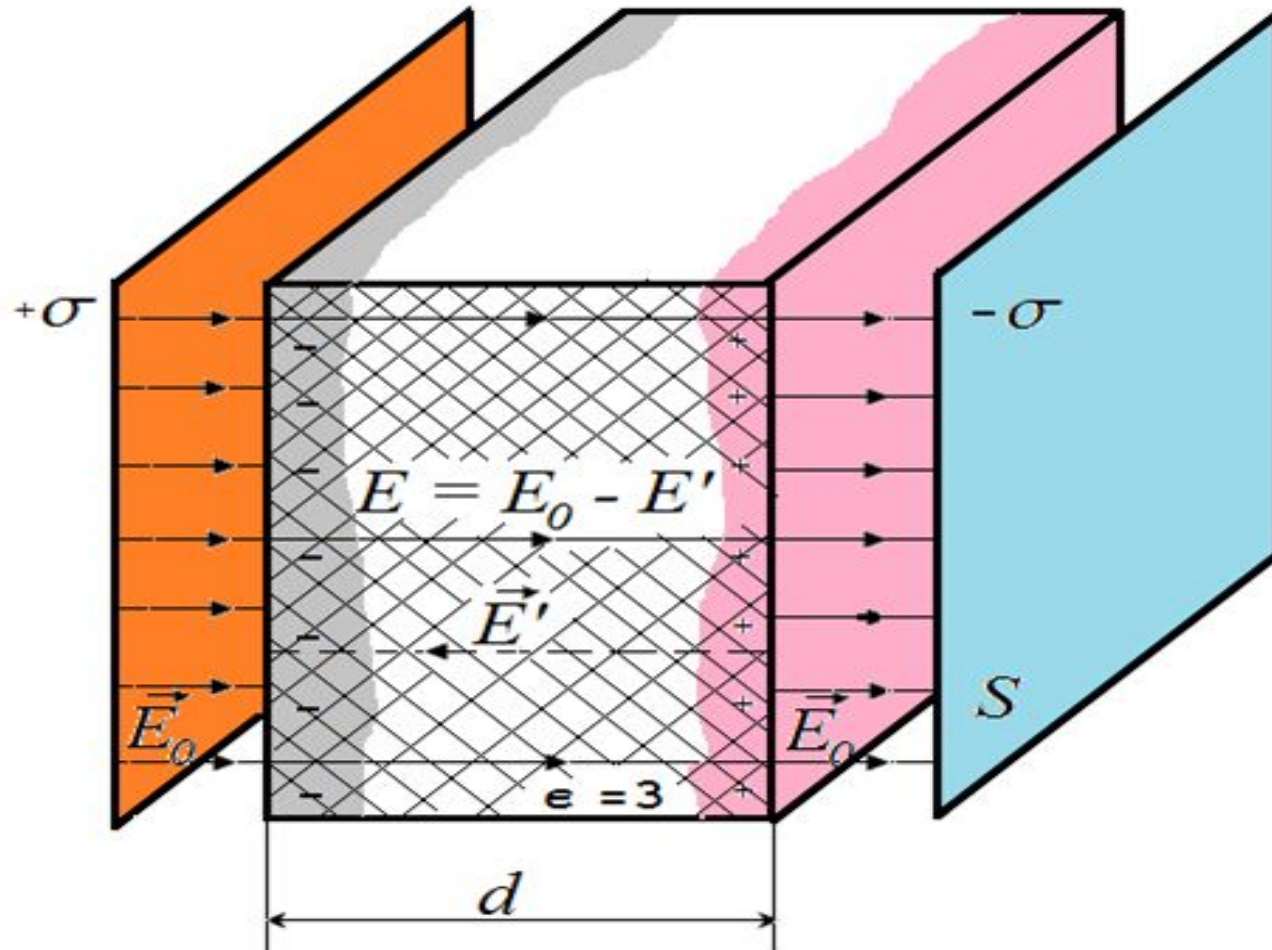
$$[C] = \Phi.$$

Ємність кулі:

$$C = \frac{q}{\varphi} = 4\pi\epsilon_0\epsilon R.$$

# Конденсатор і його ємність:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$$





# Ємність плоского конденсатора:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed = \frac{\sigma d}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{qd}{S \epsilon_0 \epsilon} \quad \Rightarrow \quad \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} = C;$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

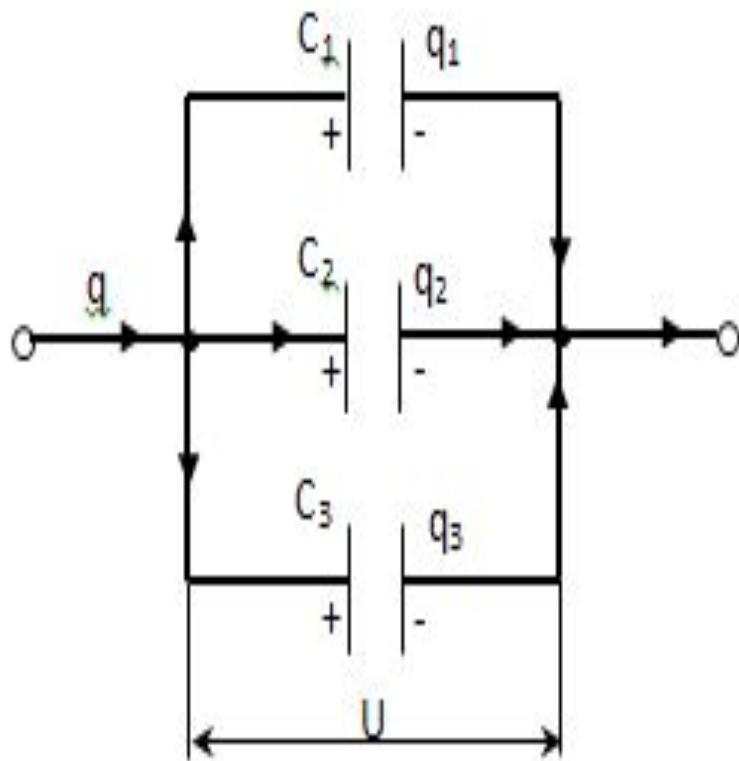
Ємність циліндричного та сферичного конденсаторів:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon L}{\ln \frac{R_2}{R_1}}.$$

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_2 R_1}{R_2 - R_1}.$$

## 6. Ємність конденсаторів при паралельному і послідовному з'єднанні.

а) паралельне з'єднання:



$$q = q_1 + q_2 + q_3,$$

$$q = CU, \quad q_1 = CU_1,$$

$$q_2 = CU_2, \quad q_3 = CU_3,$$

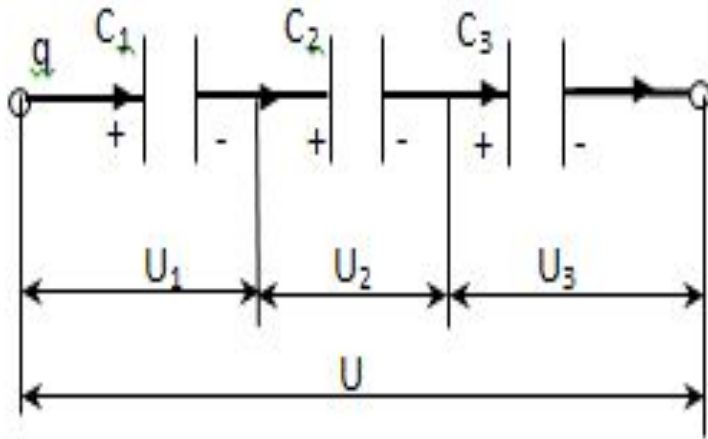
$$CU = C_1U + C_2U + C_3U,$$

$$C = \sum_{i=1}^N C_i$$

## б) послідовне з'єднання:

$$q = q_1 = q_2 = q_3 \quad U = \frac{q}{C}$$

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1}, \quad U_2 = \frac{q_2}{C_2}, \quad U_3 = \frac{q_3}{C_3}$$



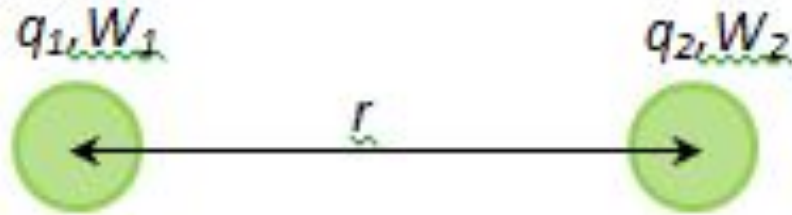
$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$$

# **5. Електроємність провідників. Конденсатори.**

# Енергія електростатичного поля



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

де  $\varphi_i$  - потенціал, створюваний у тій точці, де перебуває заряд  $q_i$ , усіма зарядами, крім  $i$ -го.

# **Енергія зарядженого відокремленого провідника**

$$W_{\text{Пст}} = A = \int dA = \int_0^{\varphi} C \cdot \varphi \cdot d\varphi = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

# Енергія зарядженого конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d};$$

$$U = E \cdot d;$$

$$V = S \cdot d;$$

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{U^2}{2} \cdot \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} = \frac{U^2 \varepsilon_0 \varepsilon S \cdot d}{d^2 \cdot 2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} \cdot V,$$

так як усередині конденсатора поле однорідне, те можна ввести об'ємну густину енергії (об'ємна густина – енергія одиниці об'єму):

$$w = \frac{W}{V},$$

$$w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon}.$$



***ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!!!***