



ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ

Електронний курс лекцій

Укладач: Данилов
А.Б.

Досвід – це школа, в якій
людина дізнається, якою
дурною вона була раніше.

Генрі Вілер
Шоу

Лекція 17
Діелектрики та
провідники
в електричному полі

План лекції

- Провідники в електростатичному полі.
- Електростатична індукція.
Електростатичний генератор.
- Електроємність окремого провідника.
- Конденсатори. Типи конденсаторів.
- Енергія системи зарядів. Енергія зарядженого провідника і конденсатора.
Енергія електростатичного поля.

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Провідники в електростатичному полі

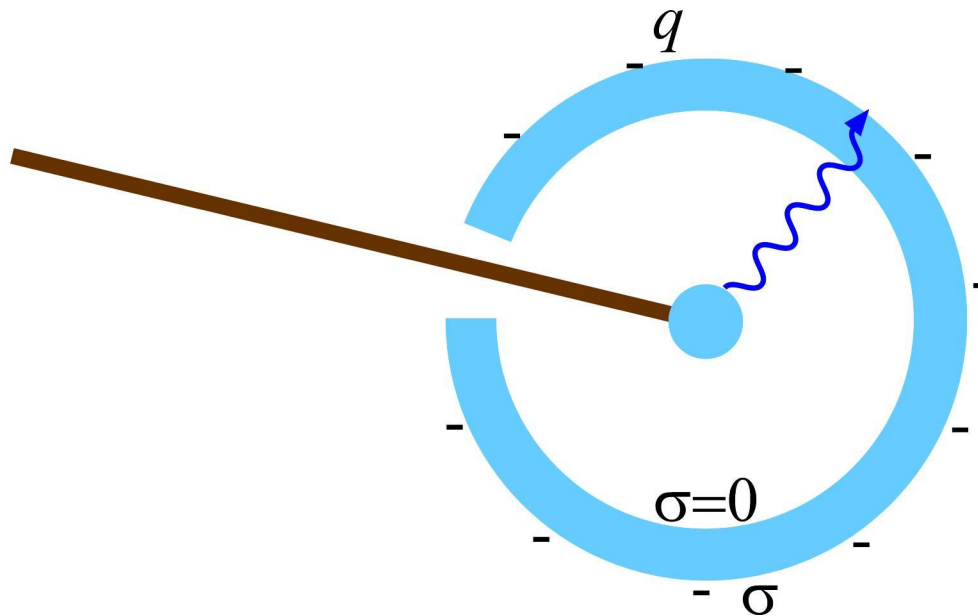
$$\text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$



$$\rho = 0$$

Наданий провіднику надлишковий заряд розподіляється лише на його поверхні

Дослід Фарадея



Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Роберт Ван де Грааф

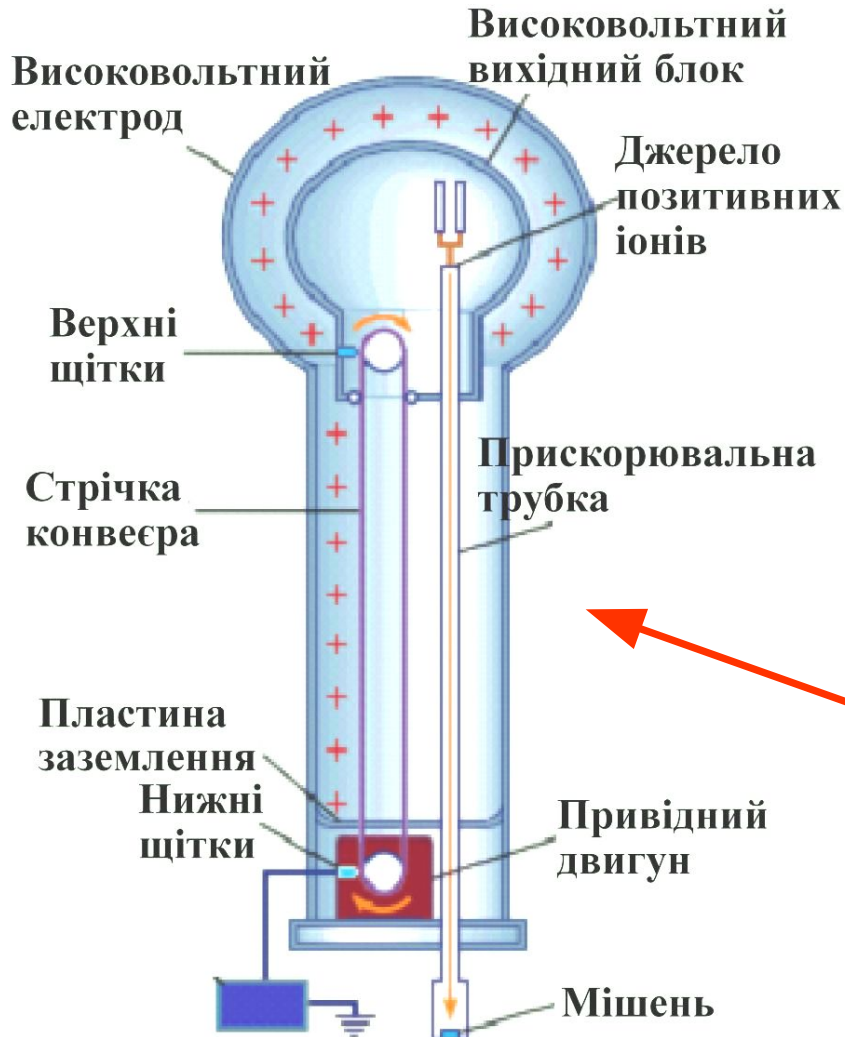


*Роберт ван де Грааф
1901 -1967*

Американський фізик. Наукові дослідження в області ядерної фізики і прискорювальної техніки. Винайшов 1931 року високовольтний електростатичний прискорювач. У 1958 році побудував перший тандемний прискорювач від'ємних іонів.

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі



Генератор Ван де Граафа

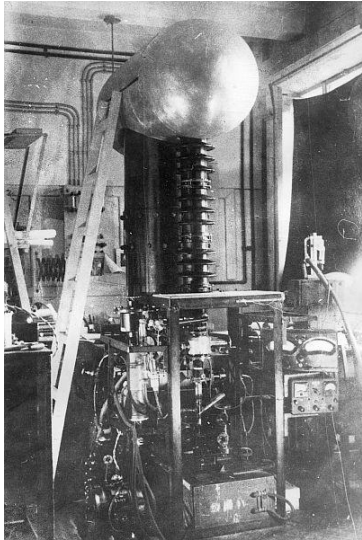
Електростатичний генератор – пристрій, призначений для одержання високої постійної напруги шляхом механічному переносу заряду.

Генератор Ван-де-Граафа

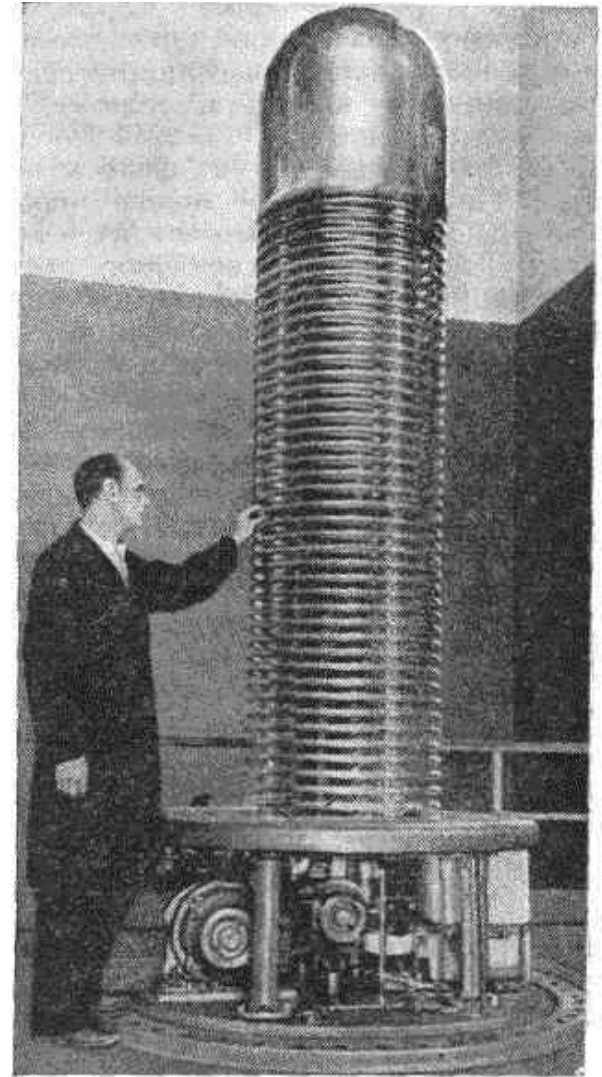
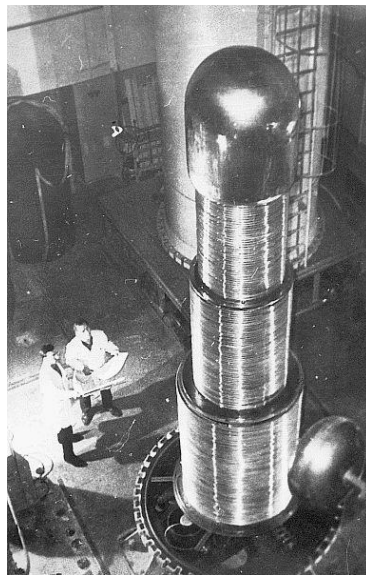
Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Генератор Ван де Граафа

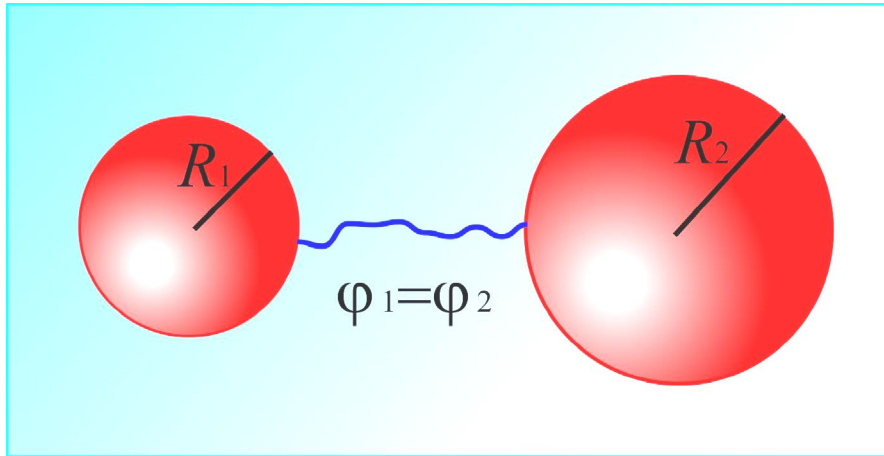


Історичні фото генераторів Ван де Граафа



Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі



Розподіл заряду на поверхні провідника

$$\varphi_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1}$$

$$\varphi_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 R_2}$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$q = \sigma 4\pi R^2$$

$$\frac{\sigma_1 R_1^2}{\sigma_2 R_2^2} = \frac{R_1}{R_2}$$

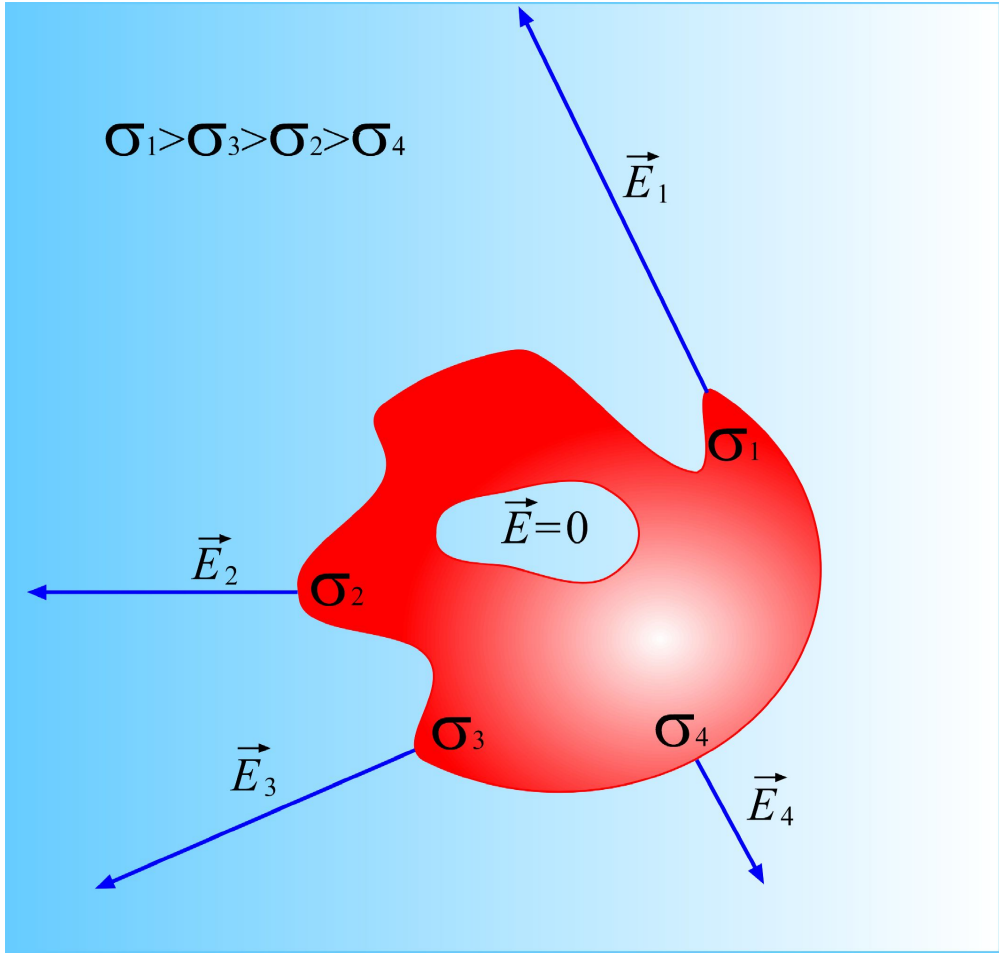
$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Поверхнева густина заряду на сферах **обернено** пропорційна до радіусів кривини сфер. *Чим більша кривина, тим більша поверхнева густина заряду.*

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

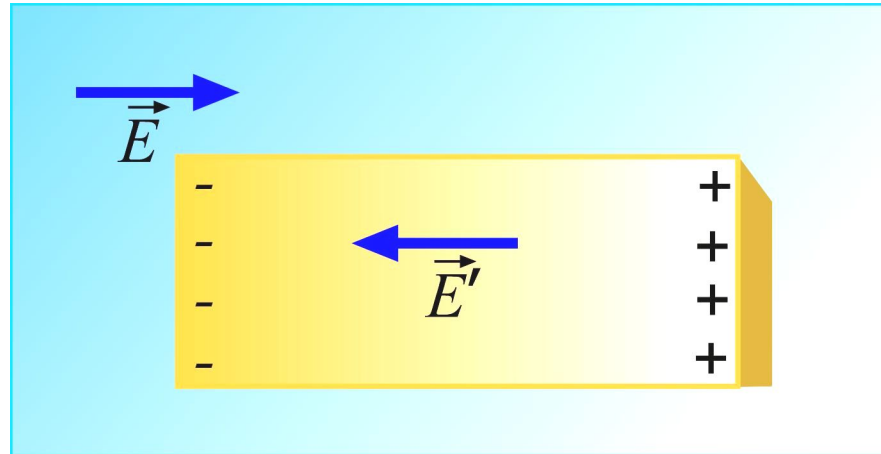
*Розподіл заряду на поверхні
провідника*



Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Електростатична індукція

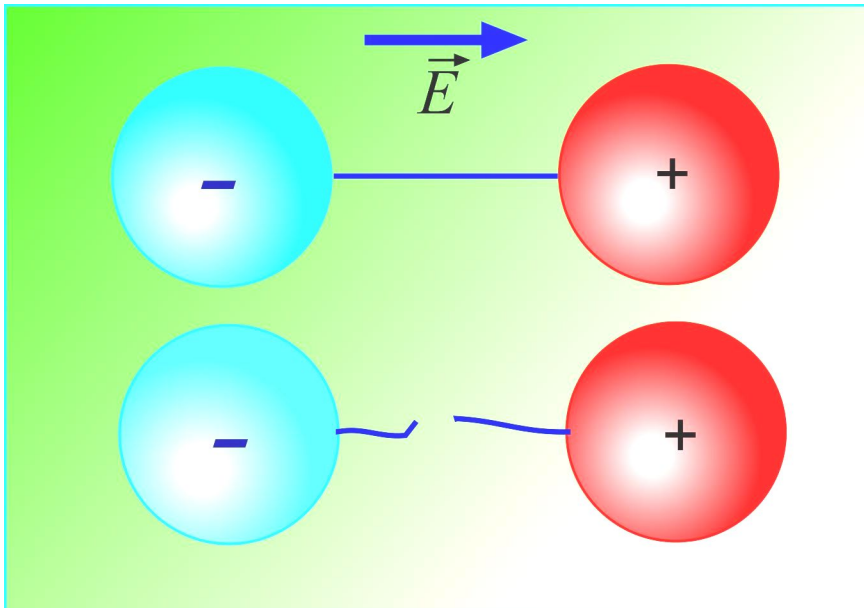


Явище перерозподілу електричних зарядів у провіднику під дією зовнішнього електричного поля і виникнення внаслідок цього електризації провідника називається *електростатичної індукцією* або *електризації через вплив*.

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Електростатична індукція

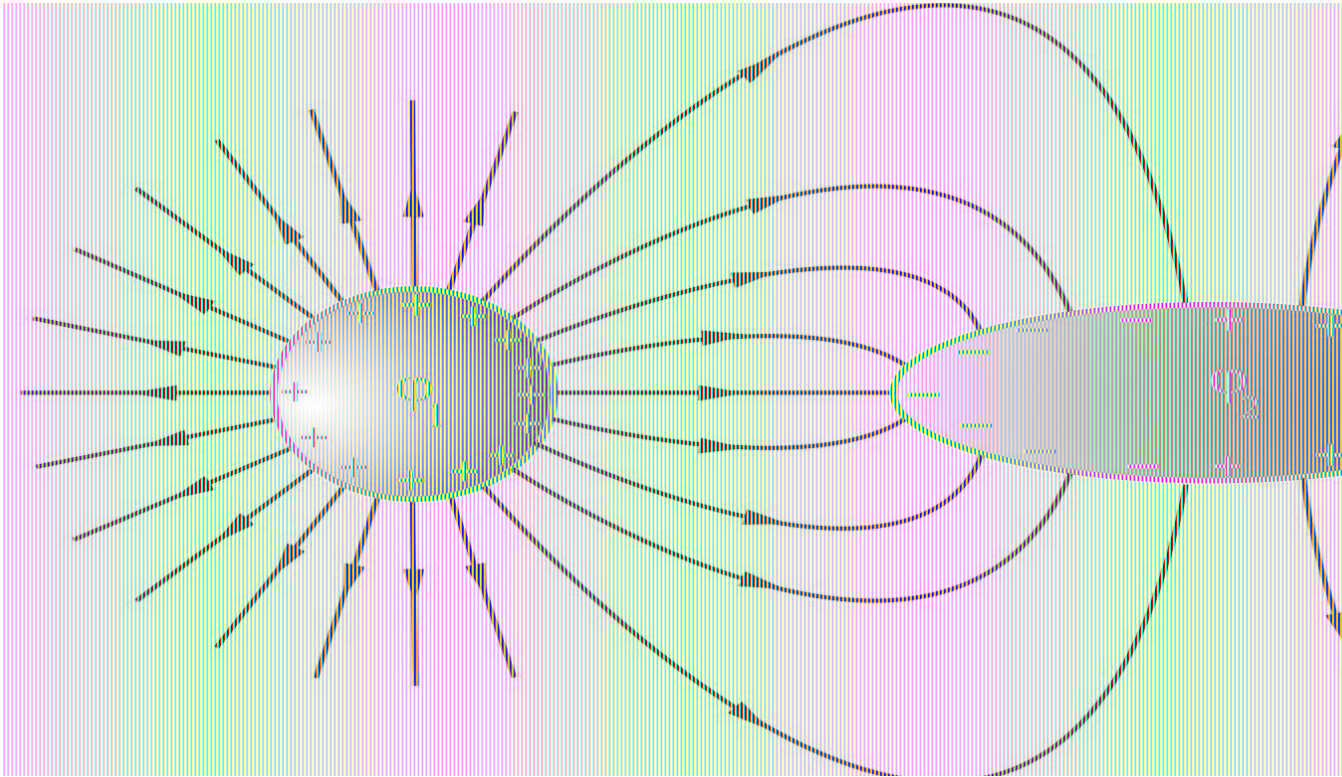


Явище електростатичної індукції використовують для заряджання тіл зарядами різного знака

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Електростатична індукція



Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Електрична ємність. Конденсатори

Електрична ємність провідника чисельно дорівнює заряду, що потрібний для зміни потенціалу провідника на одиницю.



$$\Delta q = C\Delta\varphi = CU$$

1 фарад – ємність такого відокремленого провідника, в якому зміна заряду в 1 Кл зумовлює зміну потенціалу на 1 В.

$$[C] = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}} = 1 \text{ Ф}$$

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Електрична ємність. Конденсатори

Ємність відокремленого кулястого провідника



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

Електрична ємність провідників *залежить від їх розмірів і форми, а також властивостей навколишнього середовища (наявність і розташування навколишніх тіл) і не залежить від агрегатного стану, хімічної природи і наявності в провіднику порожнин*

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Електрична ємність. Конденсатори

Конденсатор – система з двох або більше металевих електродів, розміщених на близькій відстані один від одного і розділених шаром діелектрика.

Електроємність конденсаторів



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

- За речовиною між обкладками конденсатора розрізняють: *повітряні, паперові, слюдяні, керамічні та електролітичні конденсатори.*
- За формою обкладок: *плоскі, сферичні і циліндричні.*

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Типи конденсаторів

Керамічні конденсатори:



Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Типи конденсаторів

Паперові конденсатори:

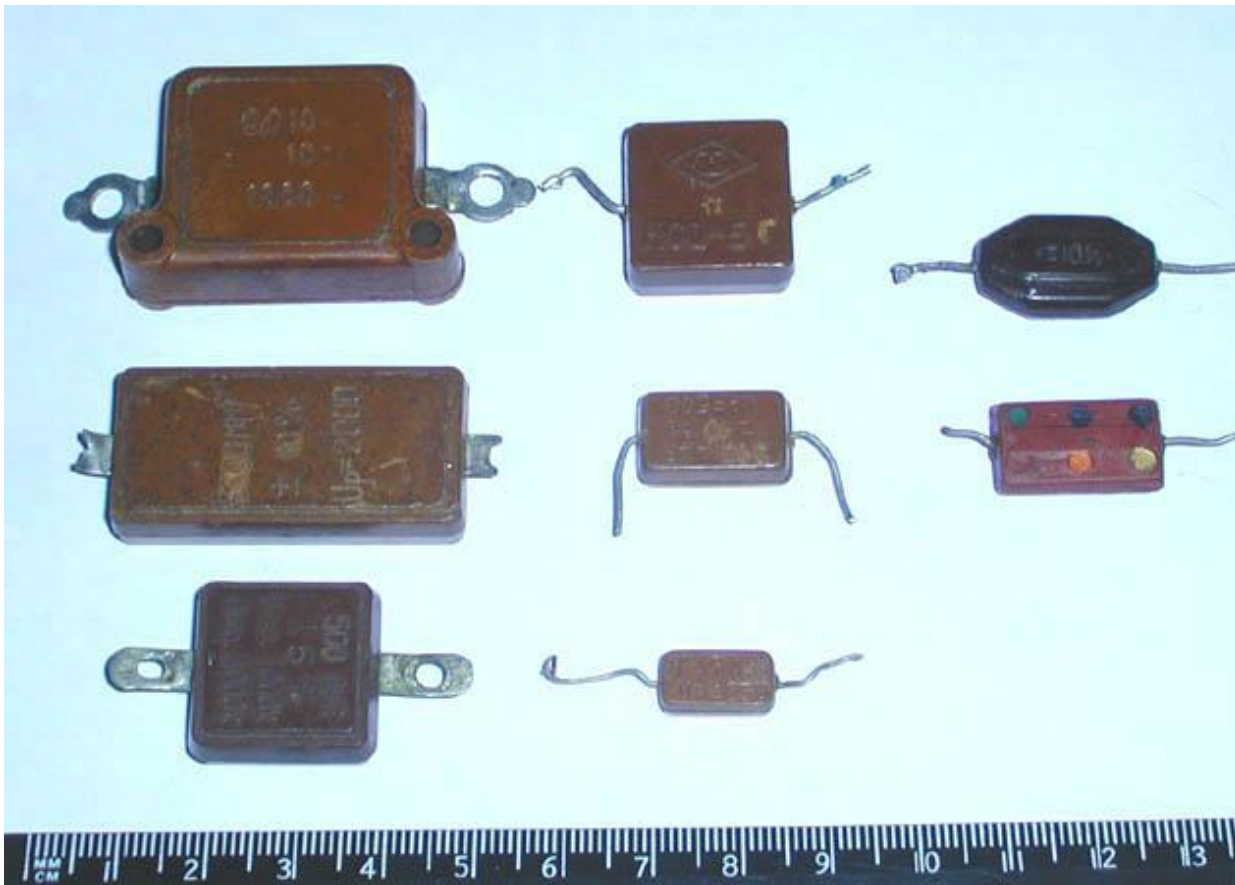


Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Типи конденсаторів

Слюдяні конденсатори:



Лекція 17

Діелектрики та провідники
в електричному полі

Типи конденсаторів

Електролітичні конденсатори:



Лекція 17

Діелектрики та провідники
в електричному полі

*Електрична ємність.
Конденсатори*

Конденсатори зі змінною ємністю:

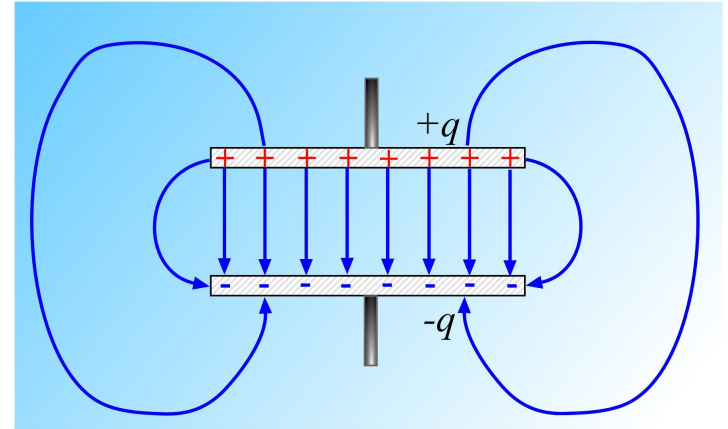


Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Плоский конденсатор

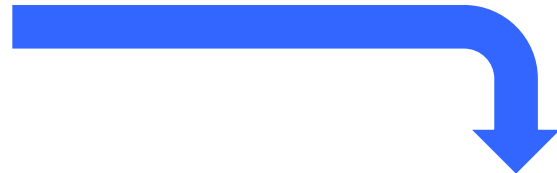
*Плоский конденсатор – система 2
близько розташованих паралельних
провідних пластин*



Різниця потенціалів між пластинами у вакуумі

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed = \frac{\sigma d}{\varepsilon_0} = \frac{q d}{\varepsilon_0 S}$$

Ємність плоского конденсатора

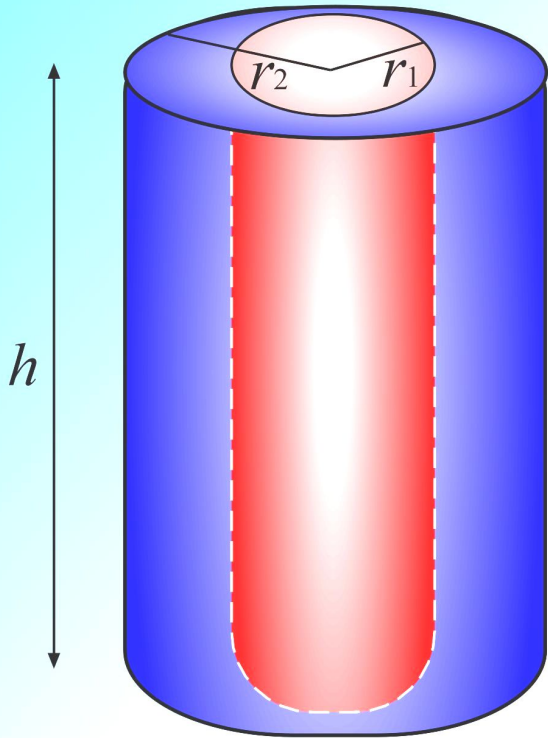


$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Циліндричний конденсатор



Циліндричний конденсатор – система 2 коаксіальних циліндрів з радіусами r_1 і r_2

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}$$

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}$$

$$d\varphi = -\frac{\tau dr}{2\pi\epsilon_0 r}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 h} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Ємність циліндричного конденсатора:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{2\pi\epsilon_0 h}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

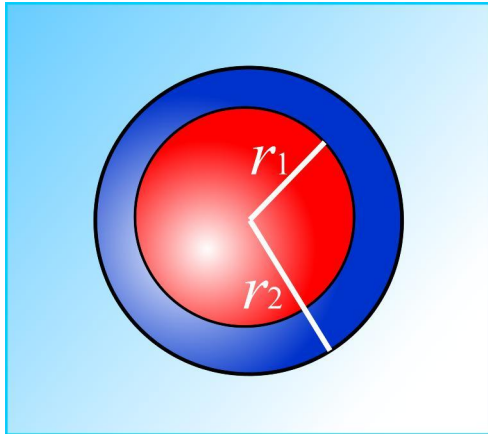
Циліндричний конденсатор



Різні типи циліндричних конденсаторів

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі



Сферичний конденсатор

Сферичний конденсатор – система 2 провідних концентричних сферичних оболонок.

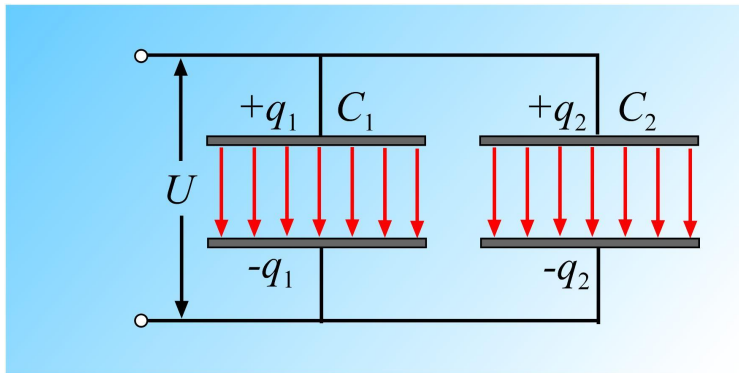
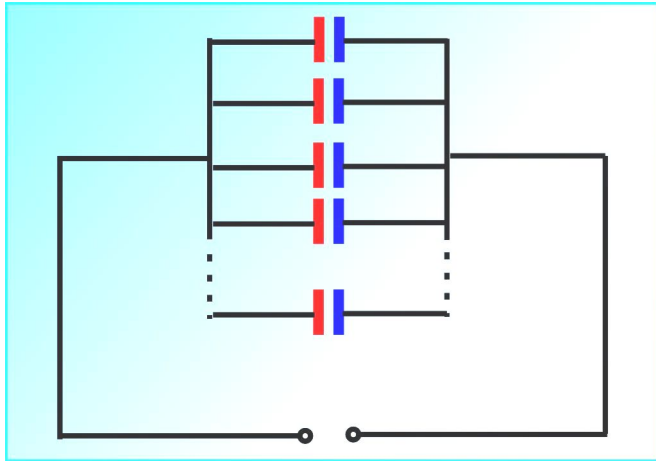
$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Ємність сферичного конденсатора:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{4\pi\epsilon_0 r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі



Паралельне з'єднання конденсаторів

Напруга при паралельному з'єднанні

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = U$$

Заряд при паралельному з'єднанні

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \\ = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n)U$$

Ємність системи

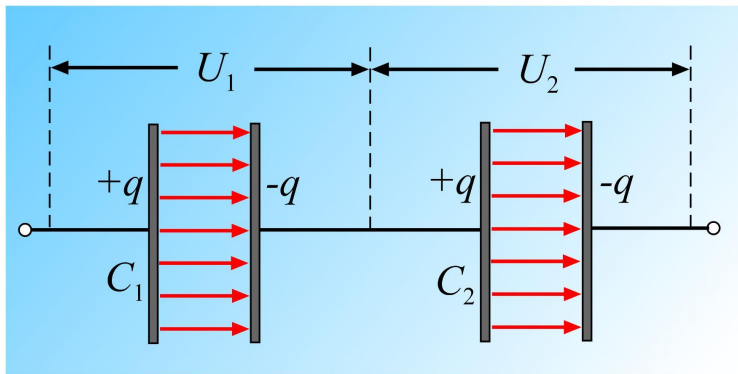
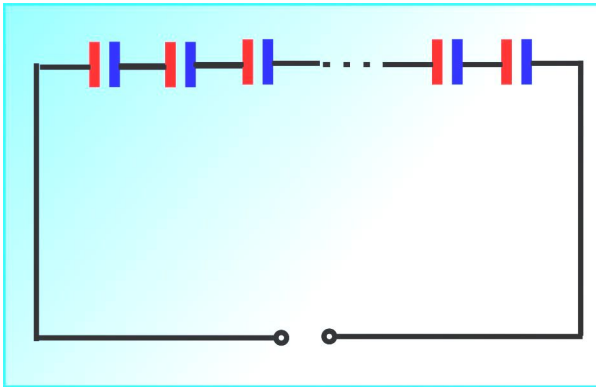
паралельно з'єднаних конденсаторів:



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

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі



Послідовне з'єднання конденсаторів

Напруга при послідовному з'єднанні

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Заряд при послідовному з'єднанні

$$q = q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n$$

$$q/C = q/C_1 + q/C_2 + q/C_3 + \dots + q/C_n$$

Ємність системи

послідовно з'єднаних конденсаторів:

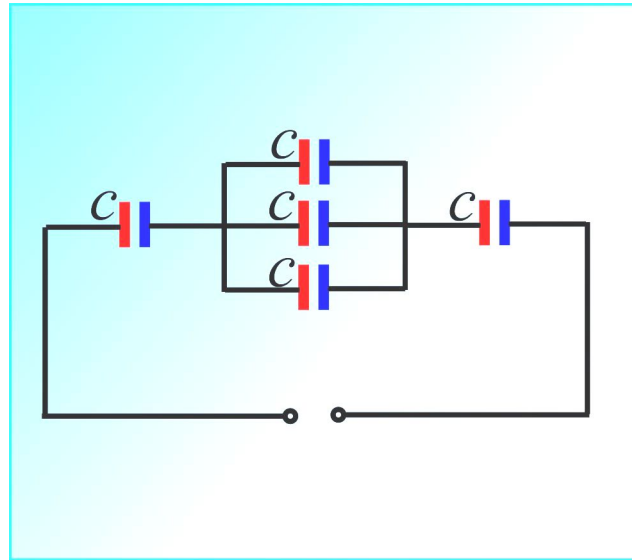
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Приклад 1

Визначити сумарну ємність системи конденсаторів:



$$\frac{1}{C_{\text{пов}}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{3C} + \frac{1}{C}$$

$$C_{\text{пов}} = \frac{3}{7} C$$

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Енергія взаємодії електричних зарядів

Потенціальна енергію взаємодії системи точкових зарядів

$$W_{\text{і}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i$$

$$\varphi_i = \sum_k \frac{q_k}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r_k}$$

$$W_{\text{п}} = \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i,k} \frac{q_k q_i}{r_{ki}}$$

$i \neq k$

При рівномірному розподілі заряду

$$W_{\text{п}} = \frac{1}{2} \left(\int_V \varphi \rho dV + \int_S \varphi \sigma dS \right)$$

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

*Енергія
електростатичного поля
провідника*

$$dA = \varphi dq$$

$$\varphi = \frac{q}{C}$$

$$dA = \frac{q}{C} dq$$

$$A = \frac{q^2}{2C}$$

$$W_{\text{п}} = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{1}{2}q\varphi$$

**Енергія зарядженого
провідника**

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Енергія електростатичного поля конденсатора

Для плоского конденсатора

$$W_{\Pi} = \frac{C\Delta\varphi^2}{2}$$

$$\Delta\varphi = Ed$$

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

$$W_{\Pi} = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0 S}{d} E^2 d^2 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 V$$

Енергія електростатичного
поля конденсатора

Для неоднорідного поля

$$W_{\Pi} = \frac{1}{2} \int_V \varepsilon_0 E^2 dV$$

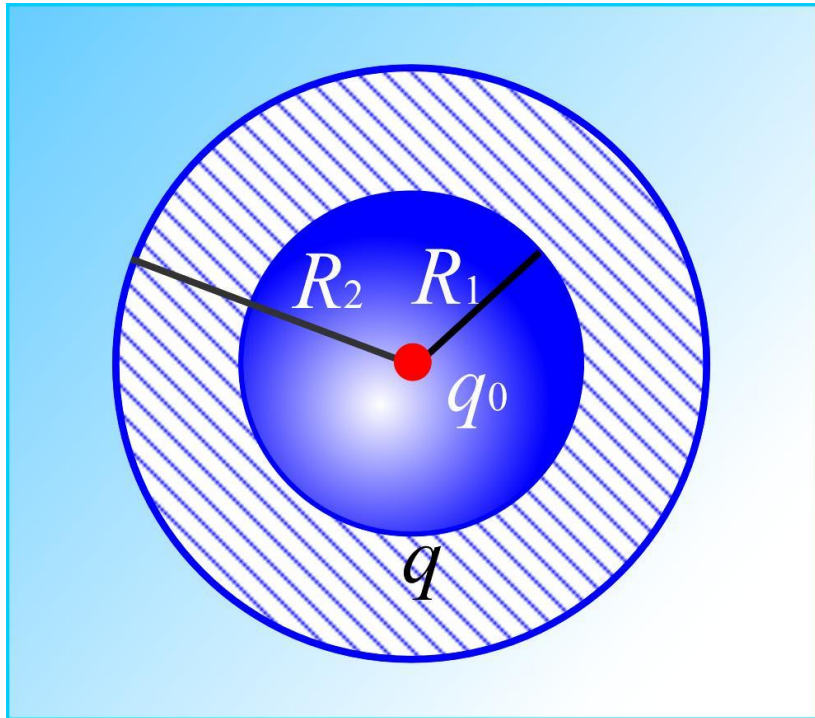
$$w_{\Pi} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2$$

Об'ємна густина енергії поля

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Сферичну оболонку рівномірно зарядили зарядом q . В її центрі розташований точковий заряд q_0 . Знайти роботу електричних сил системи при розширенні оболонки – збільшенні її радіуса від R_1 до R_2 .



Приклад 2

$$A = W_1 - W_2$$

$$A = W_1 - W_2 = \frac{1}{2} \int_{R_1}^{R_2} \epsilon_0 (E_1^2 - E_2^2) 4\pi r^2 dr$$

$$E_1 = \frac{q + q_0}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$E_2 = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

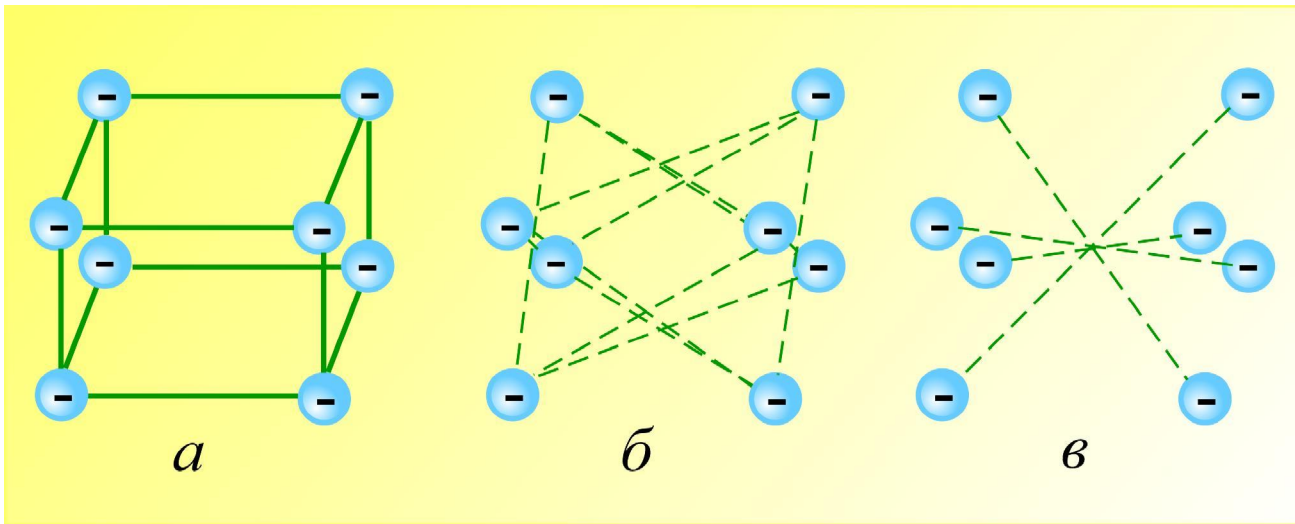
$$A = \frac{q(q_0 + q/2)}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Приклад 3

У вершинах куба з ребром a розташовано негативні заряди, кожен з яких дорівнює заряду електрона. Знайти енергію взаємодії електричних зарядів.



Сумарна енергія взаємодії електричних зарядів:

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

де

W_1 - енергія взаємодії зарядів, розташованих на відстані a один від одного;

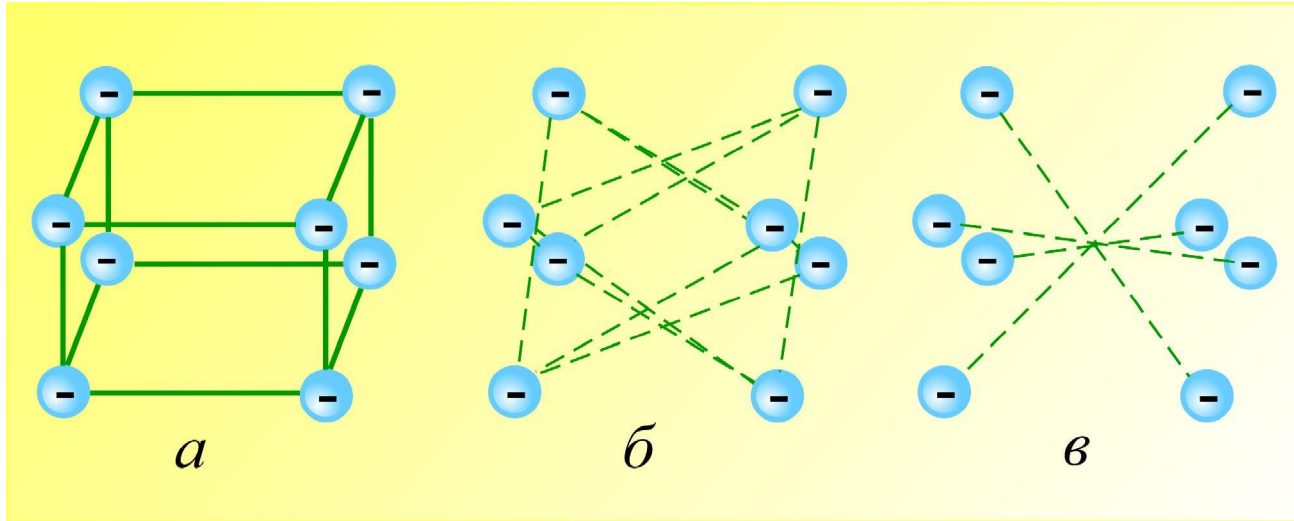
W_2 - енергія взаємодії зарядів, розташованих по діагоналі граней;

W_3 - енергія взаємодії зарядів, розташованих по діагоналі куба.

Лекція 17

Діелектрики та провідники в електричному полі

Приклад 3



$$W_{\text{п}} = \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i,k} \frac{q_k q_i}{r_{ki}}$$

$$W_1 = \frac{12e^2}{4\pi\epsilon_0 a}$$

$$W_2 = \frac{12e^2}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{2}a}$$

$$W_3 = \frac{4e^2}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{3}a}$$

Результуюча енергія взаємодії системи

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = \frac{e^2}{\pi\epsilon_0 a} \left(3 + \frac{3}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$$

А у Вас така ж тяга до знань?



That's all!