

# электродинамика

## Лекция 10

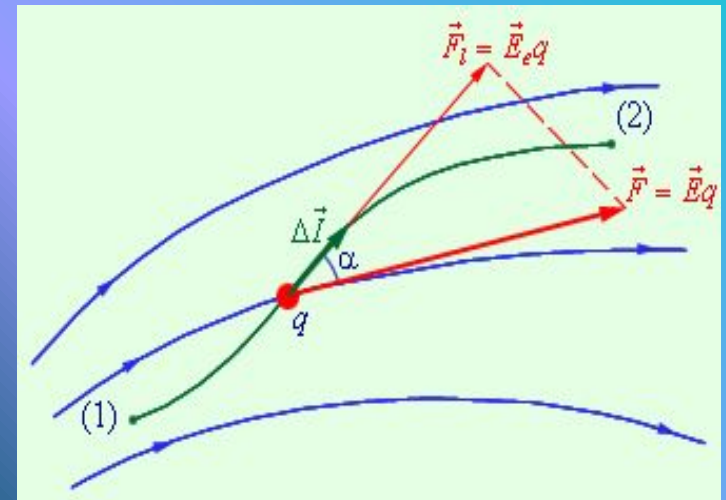
# Работа в электрическом поле.

## Потенциал

- При перемещении пробного заряда  $q$  в электрическом поле электрические силы совершают работу. Эта работа при  $\Delta \vec{l}$  перемещении равна

$$\Delta A = \vec{F} \cdot \Delta \vec{l} \cdot \cos \alpha = E q \Delta l \cos \alpha = E_{\parallel} q \Delta l.$$

- Работа сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки поля в другую не зависит от формы траектории, а определяется только положением начальной и конечной точек и величиной заряда.
- Работа сил электростатического поля при перемещении заряда по любой замкнутой траектории равна нулю.
- Силовые поля, обладающие этим свойством, называют

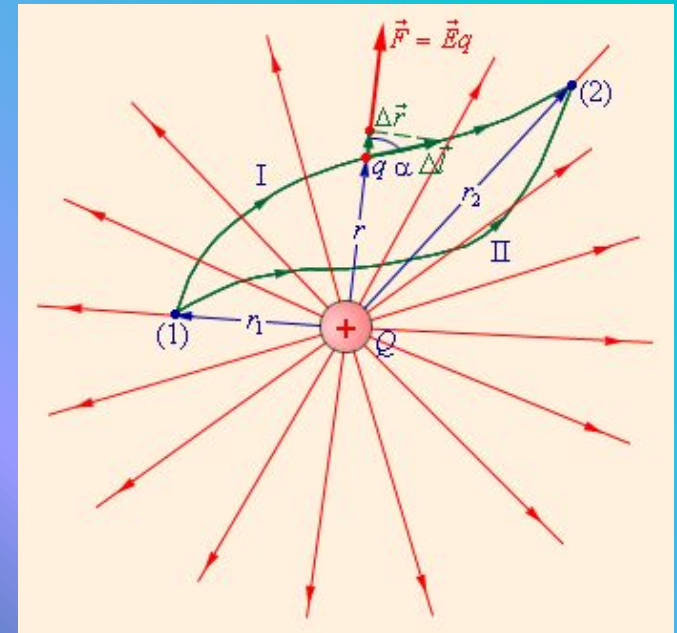


- Работа кулоновских сил при перемещении заряда  $q$  зависит только от расстояний  $r_1$  и  $r_2$  начальной и конечной точек траектории:

$$A = \int_{r_1}^{r_2} E \cdot q \cdot dr = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

- Потенциальная энергия заряда  $q$ , помещенного в любую точку (1) пространства, относительно фиксированной точки (0) равна работе  $A_{10}$ , которую совершит электрическое поле при перемещении заряда  $q$  из точки (1) в точку (0):

$$W_{p1} = A_{10}$$



- Работа, совершаемая электрическим полем при перемещении точечного заряда  $q$  из точки (1) в точку (2), равна разности значений потенциальной энергии в этих точках и не зависит от пути перемещения заряда и от выбора точки (0).

$$A_{12} = A_{10} + A_{02} = A_{10} - A_{20} = W_{p1} - W_{p2}$$

- Физическую величину, равную отношению потенциальной энергии электрического заряда в электростатическом поле к величине этого заряда, называют потенциалом  $\varphi$  электрического поля:

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

- В Международной системе единиц (СИ) единицей потенциала является вольт (В).

$$1 \text{ В} = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ Кл.}$$

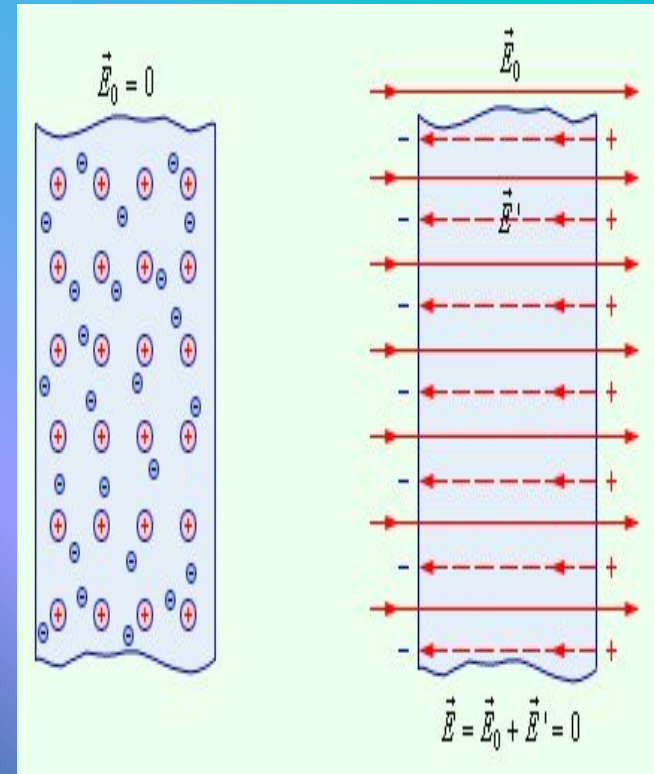
Потенциал поля в данной точке пространства равен работе, которую совершают электрические силы при удалении единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность.

$$\varphi_{\infty} = \frac{A_{\infty}}{q}$$

Поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения, называется эквипотенциальной поверхностью или поверхностью равного потенциала.

# Проводники и диэлектрики в электрическом поле

- В отсутствие внешнего поля в любом элементе объема проводника отрицательный свободный заряд компенсируется положительным зарядом ионной решетки. В проводнике, внесенном в электрическое поле, происходит перераспределение свободных зарядов, в результате чего на поверхности проводника возникают нескомпенсированные положительные и отрицательные заряды (рис.). Этот процесс называют электростатической индукцией, а появившиеся на поверхности проводника заряды – индукционными зарядами.



- Полное электростатическое поле внутри проводника равно нулю, а потенциалы во всех точках одинаковы и равны потенциалу на поверхности проводника.

- Физическая величина, равная отношению модуля напряженности  $E_0$  внешнего электрического поля в вакууме к модулю напряженности  $E$  полного поля в однородном диэлектрике, называется диэлектрической проницаемостью вещества.

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$$

- **Ориентационная или дипольная поляризация** возникает в случае полярных диэлектриков, состоящих из молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают.
- **Электронный или упругий механизм** проявляется при поляризации неполярных диэлектриков, молекулы которых не обладают в отсутствие внешнего поля дипольным моментом.
- Если в однородном диэлектрике с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  находится точечный заряд  $Q$ , то напряженность поля  $E$  создаваемого этим зарядом в некоторой

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^3} \vec{r}, \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r}$$

меньше, чем в вакууме:

# Электроемкость. Конденсаторы

- Разность потенциалов  $\Delta\phi$  между двумя точками в электрическом поле часто называют напряжением и обозначают буквой  $U$ .

- Электроемкостью системы из двух проводников называется физическая величина, определяемая как отношение заряда  $q$  одного из проводников к разности потенциалов  $\Delta\phi$  между ними:

$$C = \frac{q}{\Delta\phi} = \frac{q}{U}$$

- В системе СИ единицей электроемкости называется фарад (Ф):

$$1 \text{ Ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}$$

- Величина электроемкости зависит от формы и размеров проводников и от свойств диэлектрика, разделяющего проводники. Существуют такие конфигурации проводников, при которых электрическое поле оказывается сосредоточенным (локализованным) лишь в некоторой области пространства. Такие системы называются конденсаторами, а проводники, составляющие конденсатор, называются обкладками.

- Простейший конденсатор – система из двух плоских проводящих пластин, расположенных параллельно друг другу на малом по сравнению с размерами пластин расстоянии и разделенных слоем диэлектрика. Такой конденсатор называется **плоским**.

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\sigma \cdot S}{E \cdot d} = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

- **Сферический конденсатор** – это система из двух концентрических

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} \quad (\text{сферический конденсатор}),$$

- **Цилиндрический конденсатор** – система из двух соосных проводящих цилиндров радиусов  $R_1$  и  $R_2$  и длины  $L$ .

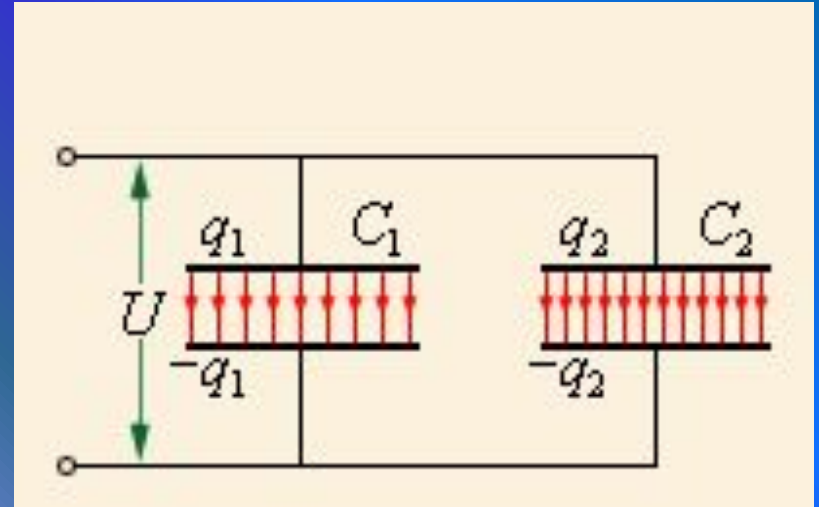
$$C = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon \frac{L}{\ln R_2 / R_1} \quad (\text{цилиндрический конденсатор}).$$



## Параллельное соединение

при параллельном соединении емкости складываются

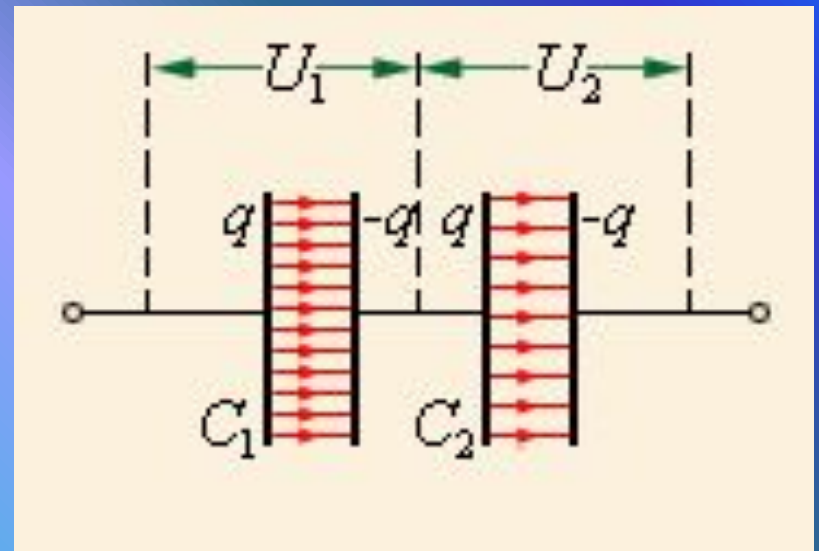
$$C = \frac{q_1 + q_2}{U} \text{ или } C = C_1 + C_2$$



## Последовательное соединение

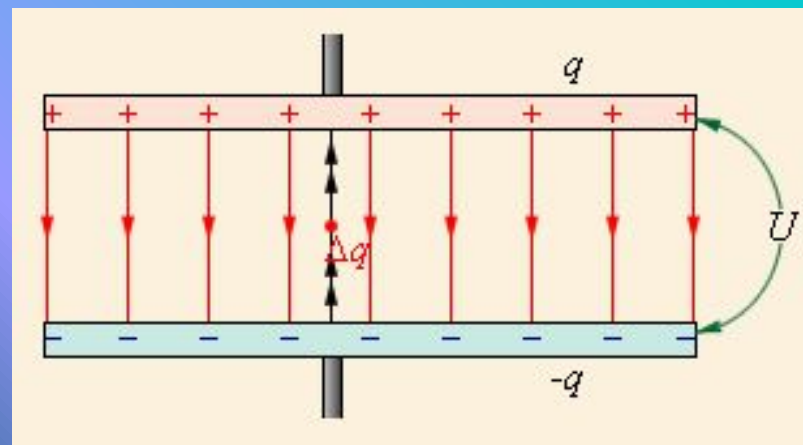
При последовательном соединении конденсаторов складываются обратные величины емкостей

$$C = \frac{q}{U_1 + U_2} \text{ или } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



# Энергия электрического поля

- Энергия заряженного конденсатора равна работе внешних сил, которую необходимо затратить, чтобы зарядить конденсатор.
- Процесс зарядки конденсатора можно представить как последовательный перенос достаточно малых порций заряда  $\Delta q > 0$  с одной обкладки на другую. Энергия  $W_e$  конденсатора емкости  $C$ , заряженного зарядом  $Q$ , может быть найдена интегрированием выражения  $W_e = A = \frac{Q^2}{2C}$  по  $Q$  от 0 до  $Q$ :



- Формулу, выражающую энергию заряженного конденсатора, можно переписать в другой эквивалентной форме, если воспользоваться соотношением  $Q = CU$ :

$$W_e = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{QU}{2}$$

- Физическая величина  $w_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$  является электрической (потенциальной) энергией единицы объема пространства, в котором создано электрическое поле. Ее называют объемной плотностью электрической энергии.