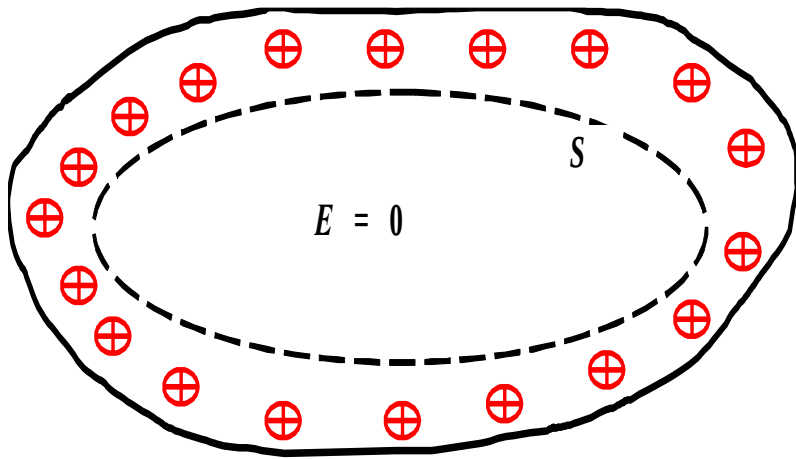


Равновесие зарядов в проводниках.

Проводнику сообщили заряд $+q$



$$\rho = 0$$

В объеме проводника избыточные **заряды** отсутствуют и могут находиться только **на внешней поверхности проводника**.

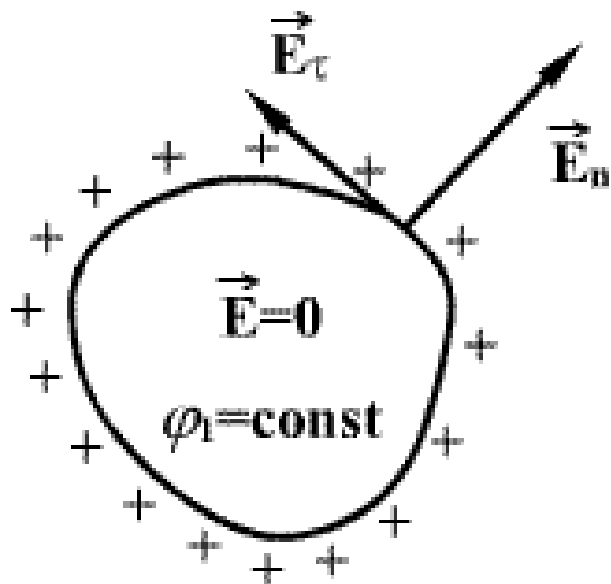
$$\vec{E} = -\vec{\nabla} \varphi$$

$$\vec{E} = 0$$

$$\varphi = \text{const}$$

Любой **проводник** представляет собой **эквипотенциальное тело**, а его поверхность, естественно, является *эквипотенциальной*.

Равновесие зарядов в проводниках.



В равновесном состоянии:

1) $E_{\text{внутр}} = E = 0.$

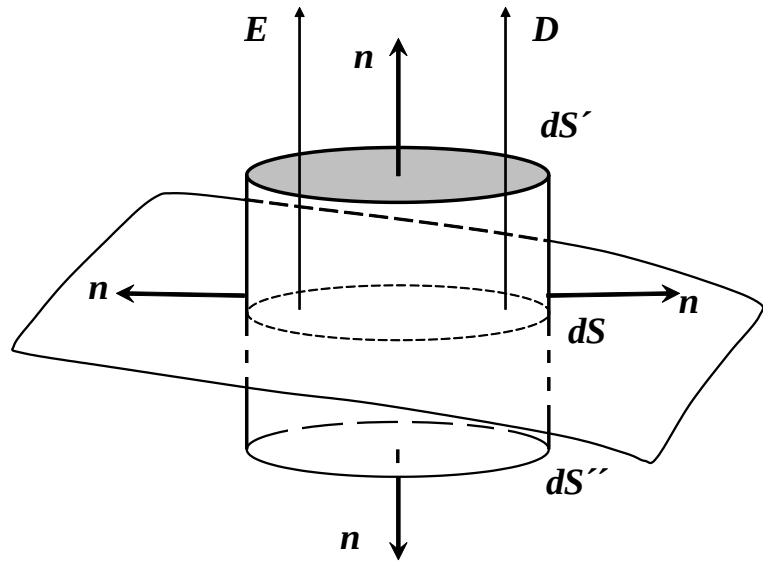
$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi = -\vec{\nabla}\varphi$$

2) $\varphi_{\text{внутр}} = \text{const}$ весь объем проводника и его поверхность **эквипотенциальны**.

3) На поверхности проводника $\vec{E} = \vec{E}_n, \quad \vec{E}_\tau = 0.$

4) $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E} \quad \longrightarrow \quad \vec{D}_{\text{внутр}} = 0$

Поле вблизи поверхности заряженного проводника



$$d\Phi_D = d\Phi_{D \text{ } dS'} = D_n \cdot dS.$$

Теорема Гаусса для $\mathbf{D}$:

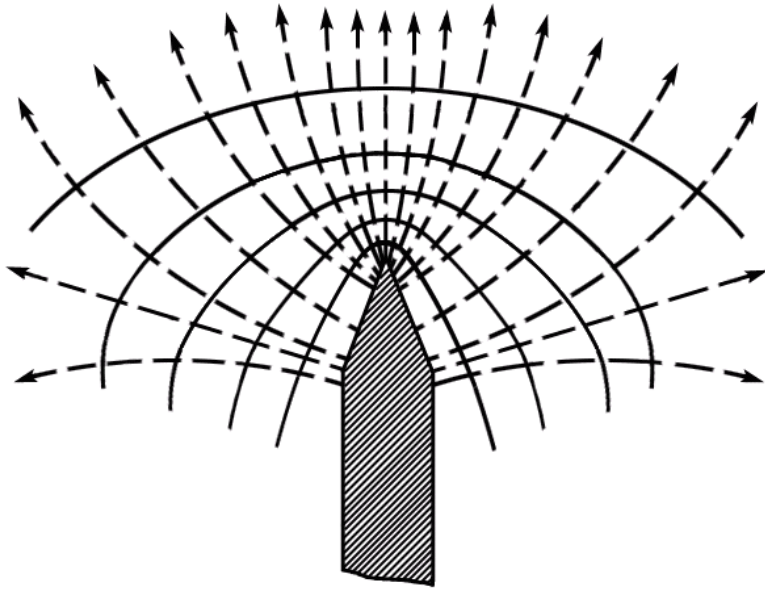
$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = dq = \int \sigma \cdot dS$$

$$D_n = \sigma$$

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$$

$$E_n = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon}$$

Поле вблизи поверхности заряженного проводника



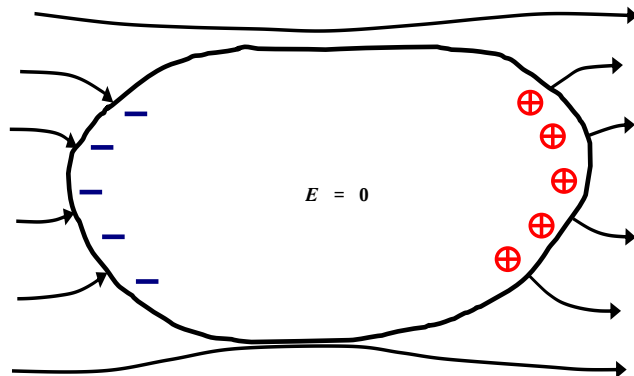
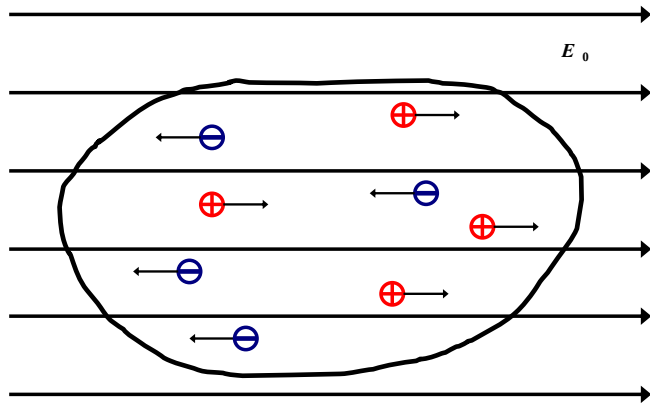
Вектор E вблизи поверхности проводника зависит от кривизны поверхности проводника.

$$C = \frac{1}{R}$$

Распределение зарядов по внешней поверхности проводника зависит только от её формы.

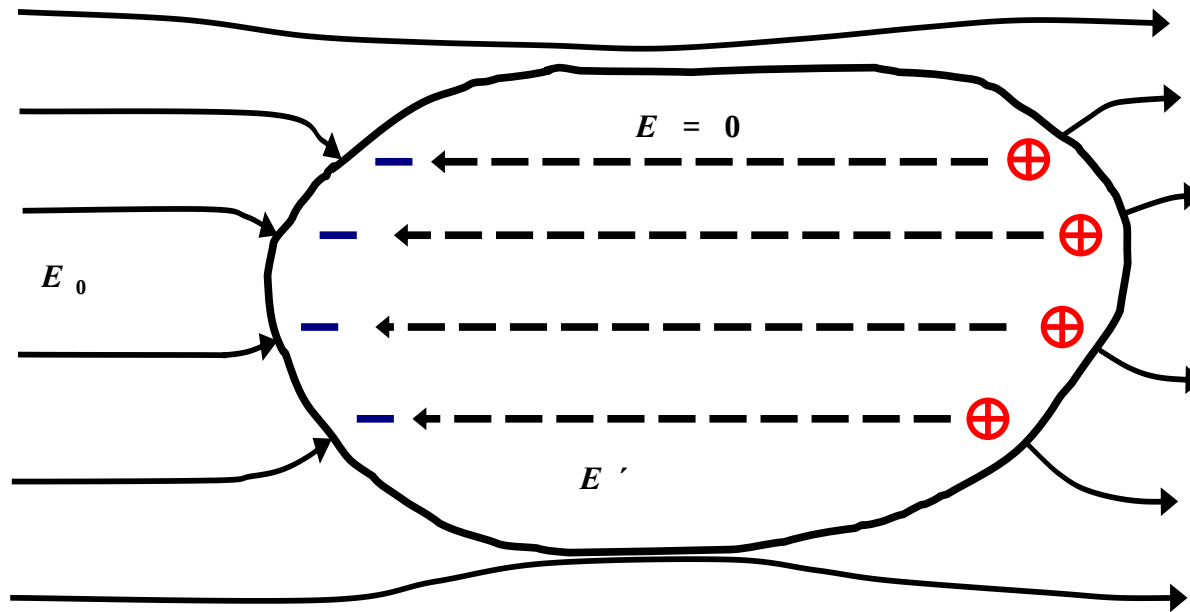
На внутренней поверхности замкнутых полых проводников $\sigma = 0$.

Проводники в электрическом поле. Электростатическая индукция.



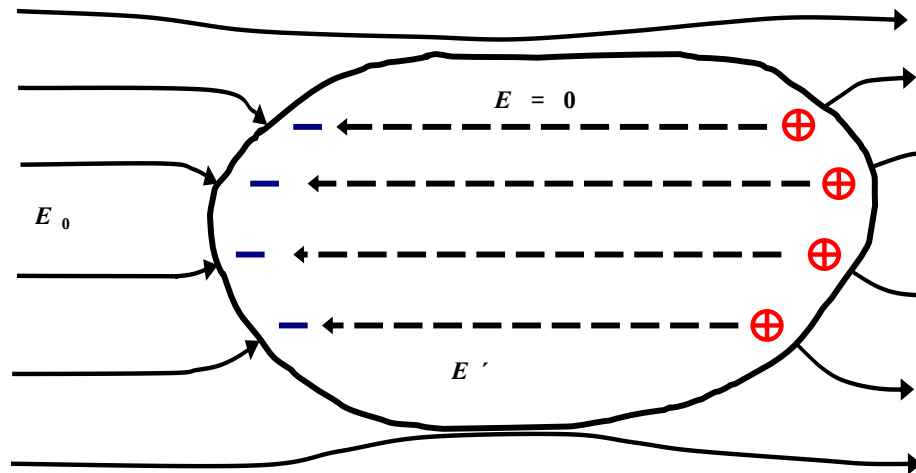
Электроны проводимости и положительные ионы перераспределяются до тех пор пока внутри проводника поле электронов проводимости и положительных ионов не **скомпенсирует внешнее поле.**

Электростатическая индукция —
явление перераспределения поверхностных
зарядов на проводнике во внешнем
электростатическом поле.



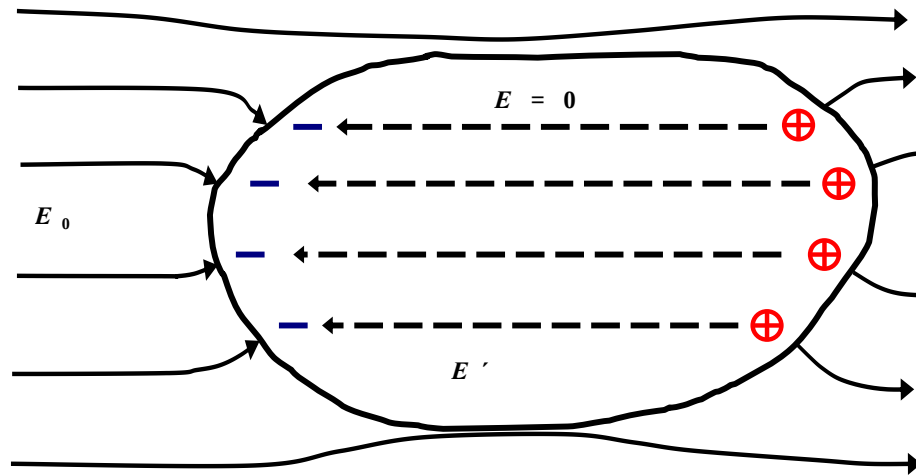
Проводники в электрическом поле.

Электростатическая индукция.



Нейтральный проводник, внесенный в электростатическое поле, разрывает часть линий напряженности, они заканчиваются на отрицательных **индуцированных зарядах** и вновь начинаются на положительных.

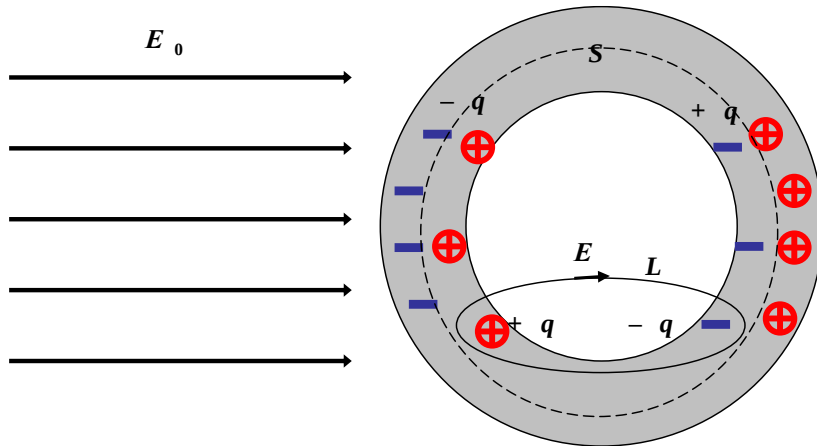
Проводники в электрическом поле. Электростатическая индукция.



Индукцированные (наведенные) на проводнике заряды исчезают, когда проводник удаляют из электрического поля.

Проводники в электрическом поле. Электростатическая индукция.

Электрическое поле в полости проводника



$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

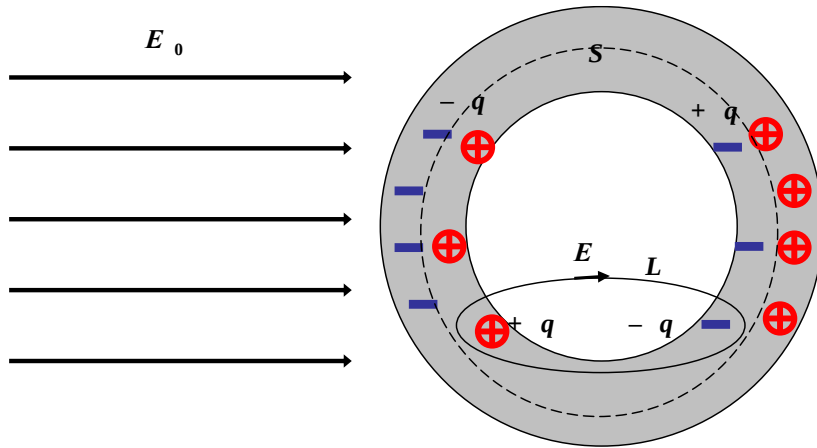
$$\vec{E} = 0$$

$$\sum q = 0$$

$$\sum q = q_+ + q_-$$

Проводники в электрическом поле. Электростатическая индукция.

Электрическое поле в полости проводника



Если работа по перемещению заряда в полости $\neq 0$.

Следовательно, работа по перемещению заряда по замкнутому контуру L отлична от нуля и

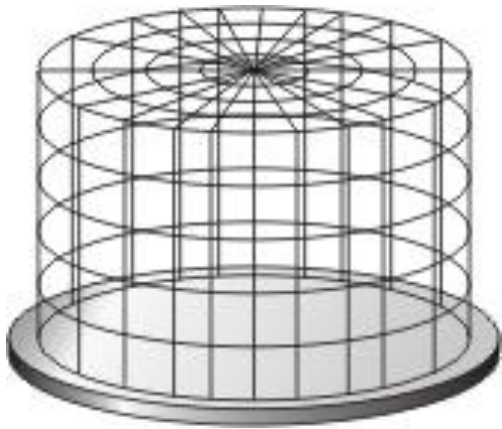
$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} \neq 0$$

что **НЕВОЗМОЖНО** для кулоновских сил.

Поэтому заряды и электростатическое поле внутри полости металла, находящегося в электрическом поле, отсутствуют.

Электростатическая защита

На этом основана электростатическая защита – экранирование тел (измерительные приборы, колебательный контур) от влияния внешних электрических полей.



Опыт Кавендиша

Самостоятельно!

Электроемкость проводника

Електроємкость уединенного проводника

Уединенный проводник – проводник, вблизи которого нет других тел, способных повлиять на распределение зарядов на нем.

Проводнику сообщили заряд q , который распределился по поверхности проводника так, что внутри проводника поле $E = 0$.

Если сообщить проводнику дополнительный заряд, поле внутри $E = 0$, а потенциал на поверхности измениться.

Электроемкость уединенного проводника

Вблизи поверхности
проводника

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

$$E \sim \sigma \sim q$$

$$\int_r^\infty \vec{E} d\vec{r} = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$\varphi_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \int_r^\infty \vec{E} d\vec{r} = \varphi$$

$$E \sim \varphi$$

$$E \sim q$$



$$q = C\varphi$$

C – коэффициент пропорциональности
(электроемкость).

Електроємкость провідника

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

В СІ C вимірюється в фарадах [$1\text{Ф} = 1\text{Кл} / 1\text{В}$].

Електроємкость провідника – це фізическа величина численно равная заряду, который необходимо сообщить проводнику, чтобы увеличить его потенциал на **1В**.

Электроемкость шара

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

Вне шара: $r \geq R$, $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$

$$\int_R^{\infty} \frac{q dr}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = -\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi$$

Електроємкость шара

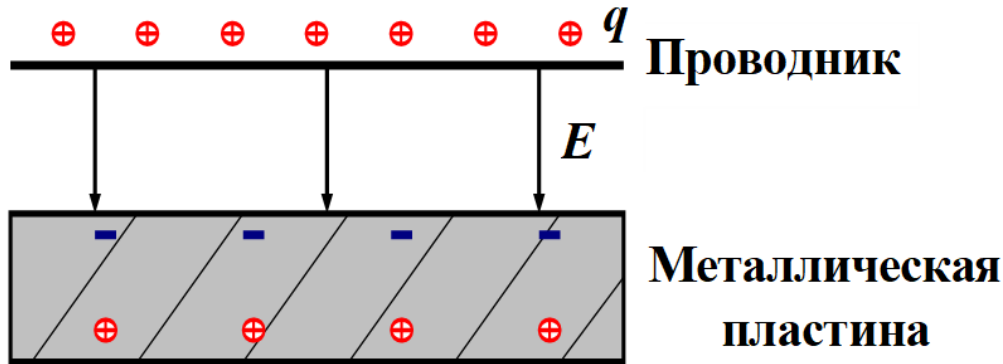
$$\frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \int_R^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad \varphi_2 = \varphi_{\infty} = 0$$

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

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R$$

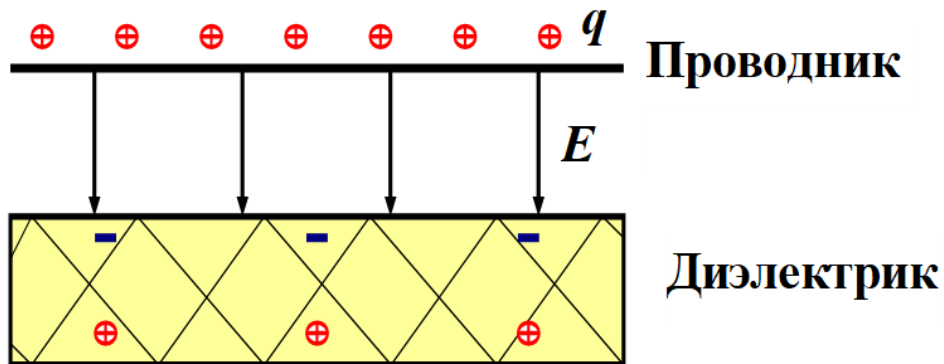
Електроємкость проводника
зависит от его формы и
размеров, свойств
окружающей среды (ϵ).

Взаимная емкость



$$\varphi = \varphi_+ + \varphi_-; \varphi < \varphi_+$$

$$q = \text{const}$$



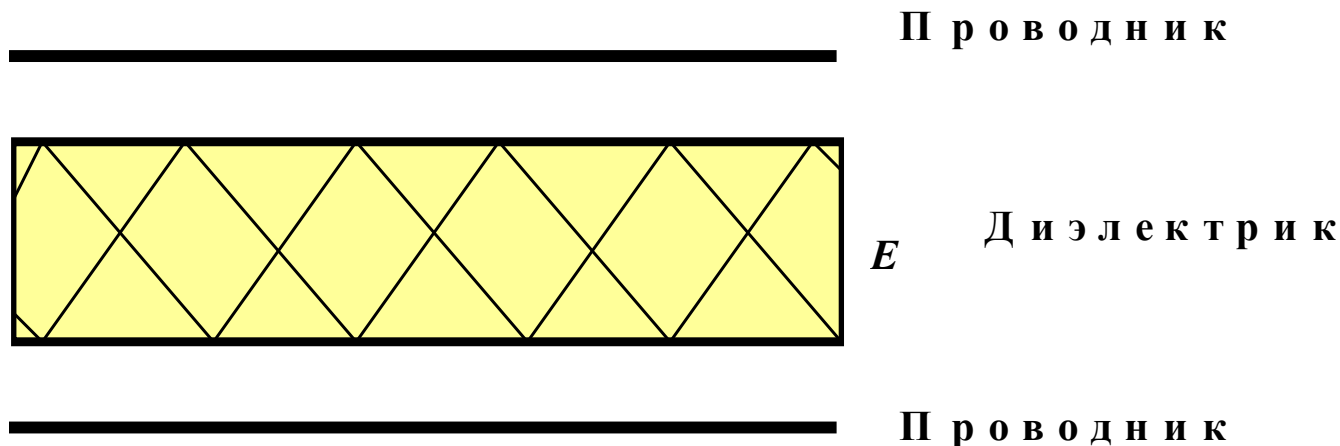
$$C = q / \varphi - \text{увеличится.}$$

Взаимная емкость больше, чем емкость уединенного проводника.

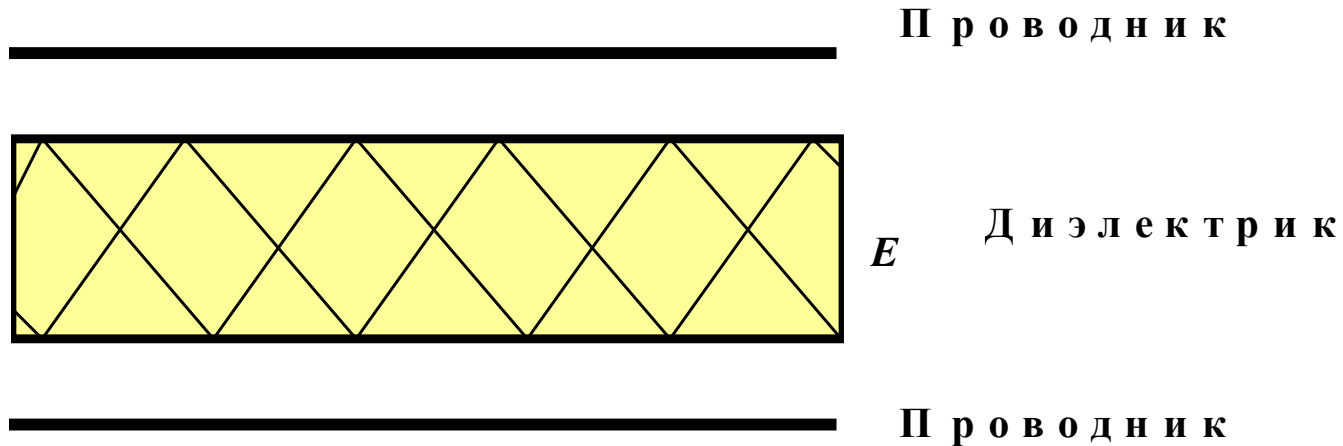
Конденсаторы

Особенно большой электроемкостью обладает конденсатор.

Конденсатор – система из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика, продольные размеры которых много больше расстояния между ними.



Конденсаторы



Конденсаторы конструируют таким образом, чтобы поле было сосредоточено между обкладками.

В этом случае на емкость конденсатора не оказывают влияния окружающие тела.

Конденсаторы

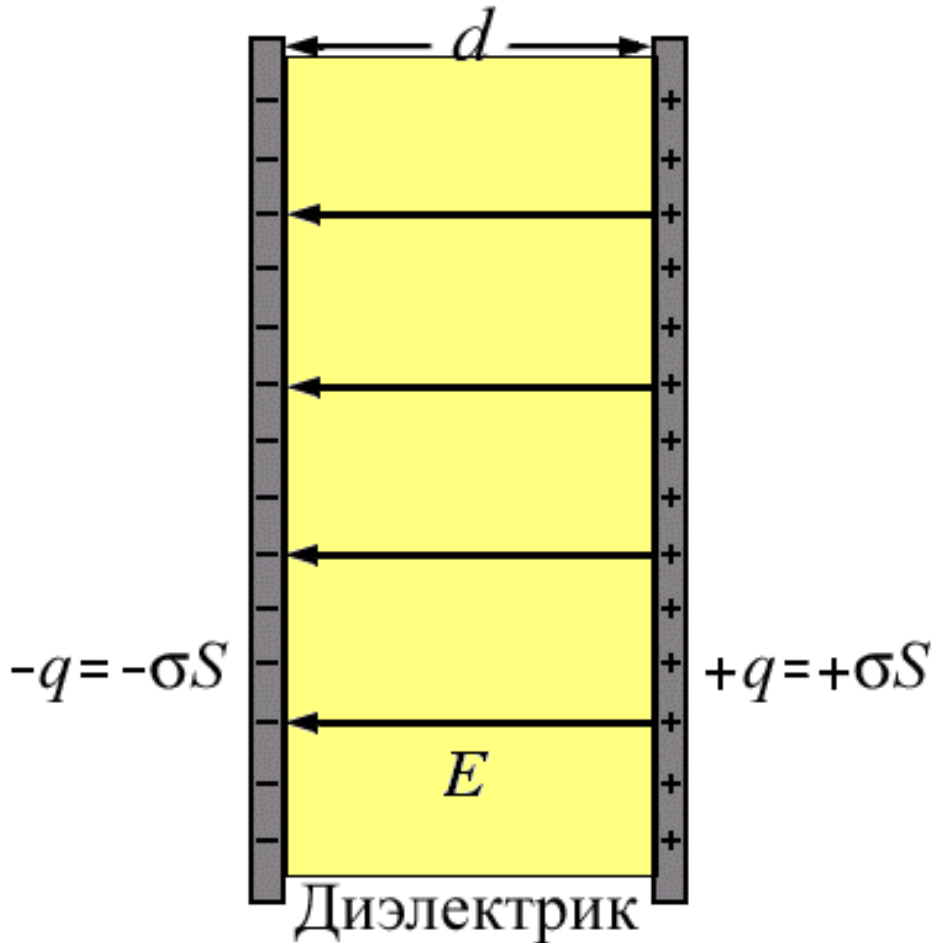
Конструктивно конденсаторы бывают ***плоские, цилиндрические, сферические.***

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

$\varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов между обкладками;

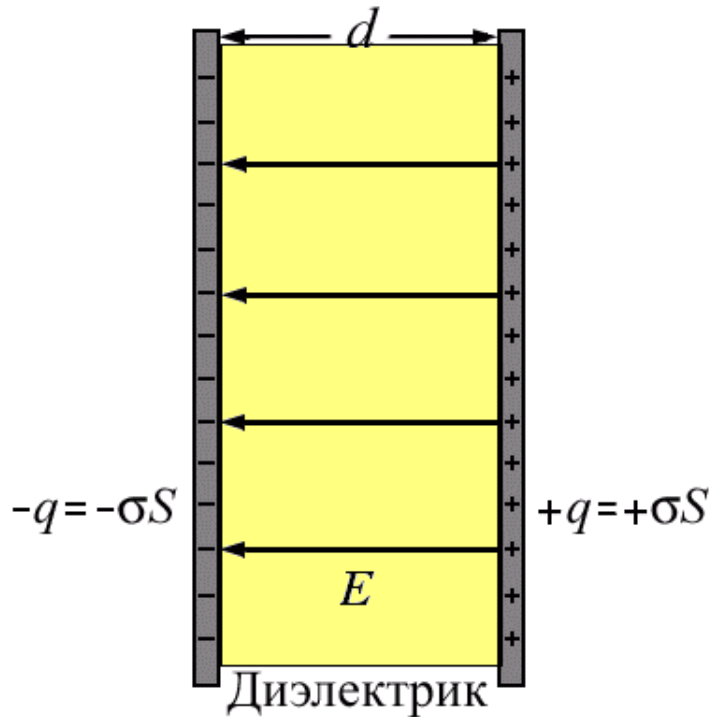
q — заряд конденсатора.

Плоский конденсатор



Расстояние между обкладками d много меньше линейных размеров конденсатора. Следовательно, поле конденсатора можно рассматривать как поле между двумя бесконечными пластинами.

Плоский конденсатор



$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0} \quad E = -\frac{d\varphi}{dr}$$

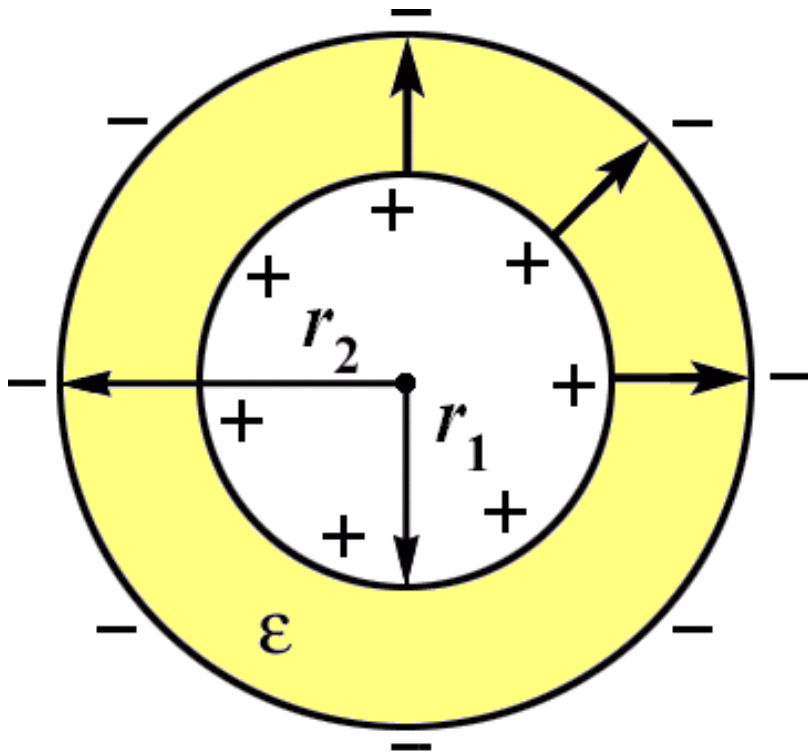
$$\int_0^d \frac{\sigma dr}{\varepsilon \varepsilon_0} = -\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi$$

$$\frac{\sigma \cdot d}{\varepsilon \varepsilon_0} = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$q = \sigma S$$

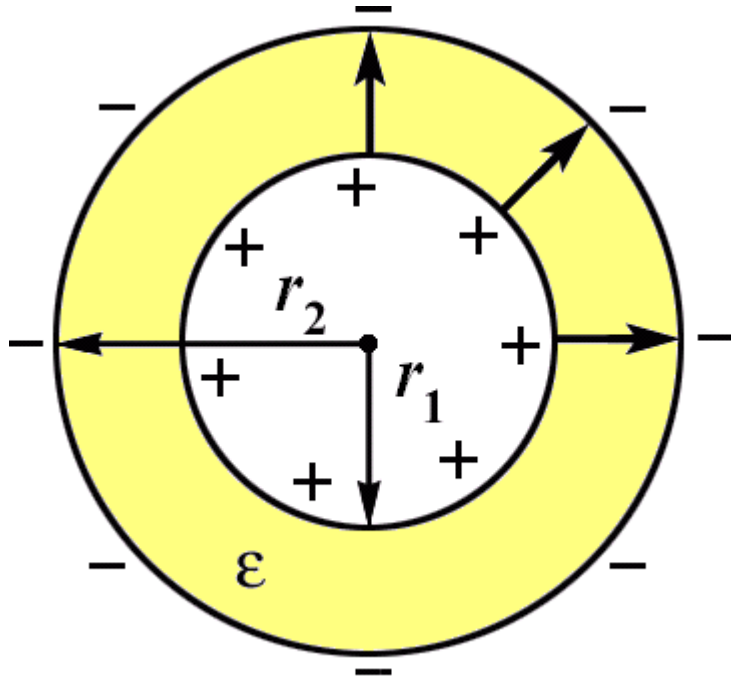
$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

Сферический конденсатор



Состоит из двух
концентрических
обкладок
сферической
формы,
разделенных слоем
диэлектрика.

Сферический конденсатор



Поле равномерно заряженной
сферической поверхности (вне сферы)
эквивалентно полю точечного заряда:

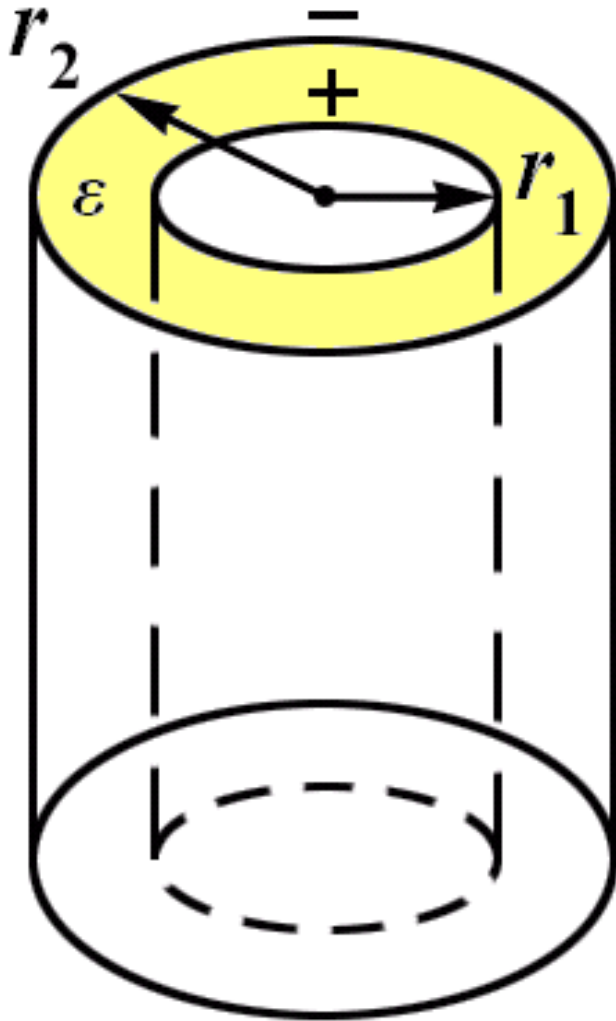
$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$



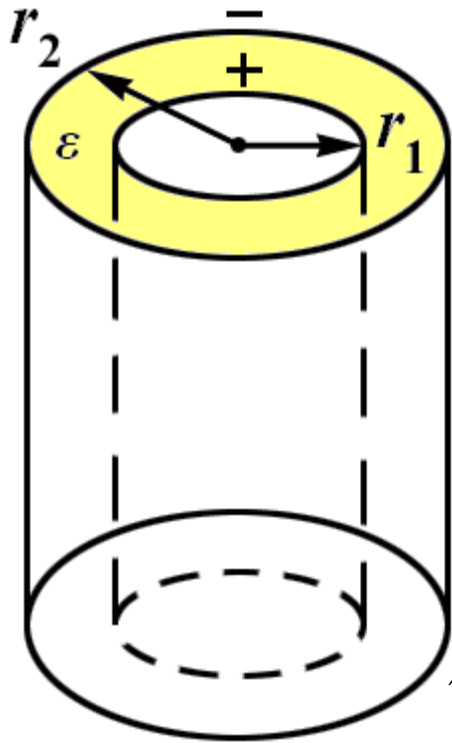
$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = 4\pi\epsilon\epsilon_0 \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1}$$

Цилиндрический конденсатор



Состоит из двух полых коаксиальных цилиндров с радиусами r_1 и r_2 , вставленных один в другой ($r_1 < r_2$) и разделенных слоем диэлектрика.

Цилиндрический конденсатор



$r_1 < r_2$; $r_1, r_2 < \text{длины}$

поля бесконечного заряженного
цилиндра:

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

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$\tau = \frac{q}{l}$$

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

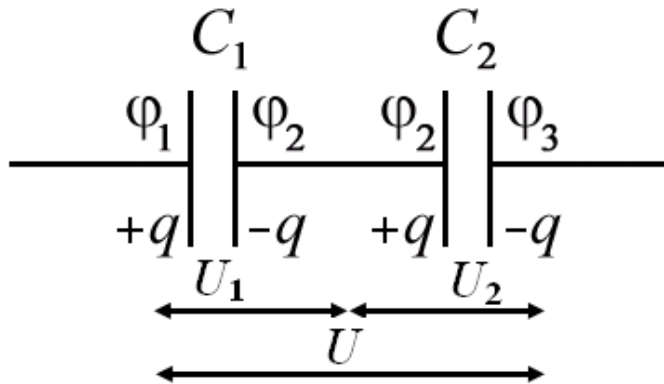
$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Конденсаторы

Конденсаторы характеризуются пробивным напряжением – разность потенциалов, при которой происходит пробой – электрический разряд через слой диэлектрика. Пробивное напряжение зависит от формы обкладок, свойств диэлектрика и его толщины.

Соединения конденсаторов

Последовательное соединение конденсаторов



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

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

Для n конденсаторов:

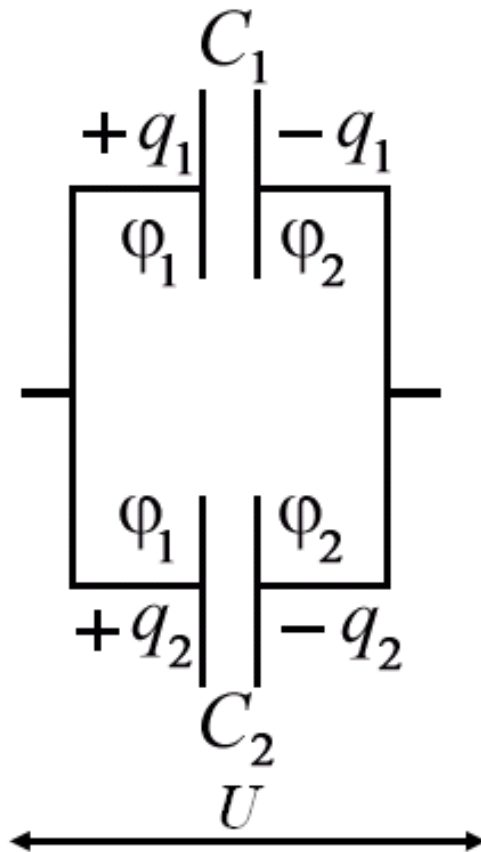
$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

$$C < C_1, C < C_2$$

Если конденсаторы
одинаковы, то общая
емкость $C = C / n$.

Соединения конденсаторов

Параллельное соединение конденсаторов



- Разность потенциалов на обкладках конденсаторов одинакова и равна U .
- Заряд батареи согласно закону сохранения заряда $q_1 + q_2 = \text{const}$.

$$C_1 U + C_2 U = C U$$

$$C_1 + C_2 = C$$

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

Энергия заряженного проводника

В поле уединенного проводника перемещаем заряд dq .

При переносе заряда dq из ∞ на проводник емкостью C имеющий потенциал φ , совершается работа:

$$dA = \varphi \cdot dq$$

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



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

При этом заряд проводника увеличивается на dq .

Энергия заряженного проводника

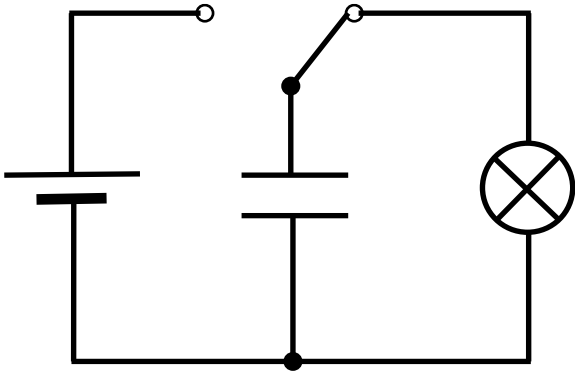
Работа, затрачиваемая на зарядку проводника от нулевого потенциала ($\varphi = 0$) до φ

$$A = \int dA = \int \frac{q dq}{C} = \frac{q^2}{2C}$$

Энергия заряженного проводника равна работе, которую необходимо совершить, чтобы зарядить этот проводник:

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\varphi^2}{2}$$

Энергия заряженного конденсатора



Если заряженный конденсатор замкнуть на электрическую лампочку, то она какое-то время будет гореть.

Следовательно, конденсатор **обладает энергией**.

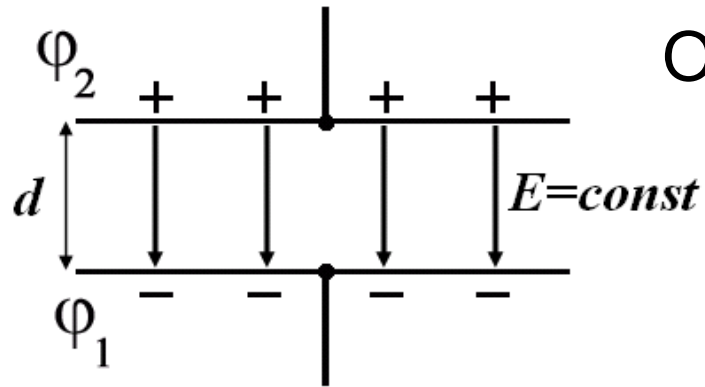
$$\left. \begin{aligned} dA &= U \cdot dq \\ U &= \frac{q}{C} \end{aligned} \right\}$$



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

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$$

Объемная плотность энергии электрического поля



Объемная плотность энергии:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{CU^2}{2Sd}$$

$$\omega = \frac{C(Ed)^2}{2Sd} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S(Ed)^2}{d \cdot 2Sd}$$

$$\omega = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}$$

- энергия, приходящаяся на
единичный объем однородного поля.

$$dW = \omega \cdot dV \quad W = \int_V \omega \cdot dV$$