

ПРОВОДНИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

- 1. Напряженность и потенциал электростатического поля в проводнике.**
- 2. Определение напряженности электростатического поля вблизи проводника.**
- 3. Экспериментальная проверка распределения заряда на проводнике.**
- 4. Конденсаторы.**
 - 4.1. Электрическая емкость. Конденсаторы.**
 - 4.2. Соединение конденсаторов.**
 - 4.3. Расчет емкостей различных конденсаторов.**
 - 4.4. Энергия заряженного конденсатора.**
- 5. Энергия электростатического поля.**

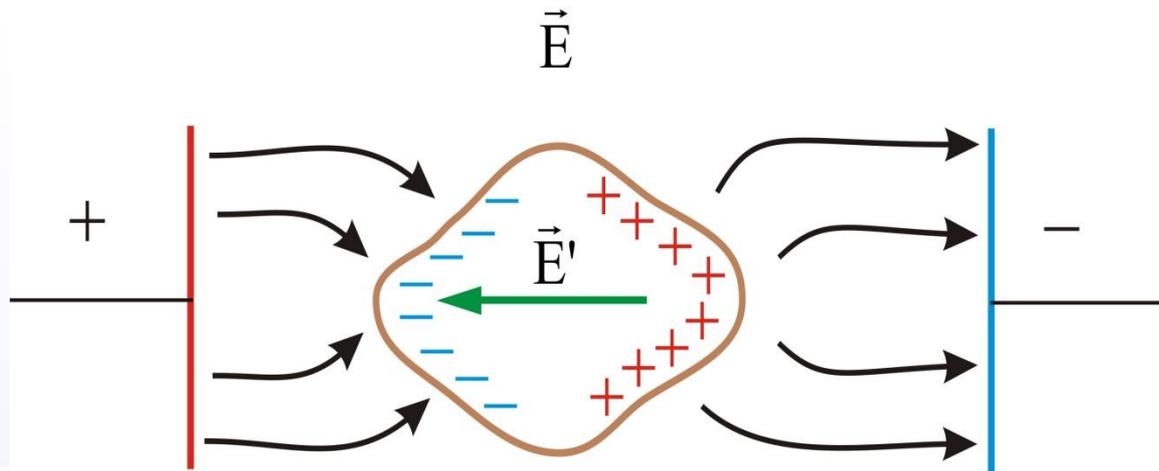
1. Напряженность и потенциал электростатического поля в проводнике

В проводниках имеются электрически заряженные частицы – носители заряда (электроны в металлах, ионы в электролитах) способные перемещаться по всему объему проводника под действием внешнего электростатического поля.

Носителями заряда в металлах являются электроны проводимости.

При отсутствии электрического поля металлический проводник является электрически нейтральным – электростатическое поле создаваемое положительными и отрицательными зарядами внутри него компенсируется.

- ▶ При внесении металлического проводника во внешнее электростатическое поле, **электроны проводимости перемещаются (перераспределяются)** до тех пор, пока всюду внутри проводника поле электронов проводимости и положительных ионов не скомпенсирует внешнее поле.
- ▶ **В любой точке внутри проводника, находящимся в электростатическом поле $E = 0$; $d\phi = 0$; т. е. $\phi = \text{const}$.**
- ▶ **Диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{\text{ме}} \rightarrow \infty$.**
- ▶ **На поверхности проводника напряженность \vec{E} направлена по нормали к этой поверхности**, иначе, под действием составляющей E_{τ} , касательной к поверхности, заряды перемещались бы по проводнику, а это противоречило бы их статическому распределению.
- ▶ Вне заряженного проводника – поле есть, следовательно, должен быть вектор \vec{E} , и направлен он перпендикулярно поверхности!

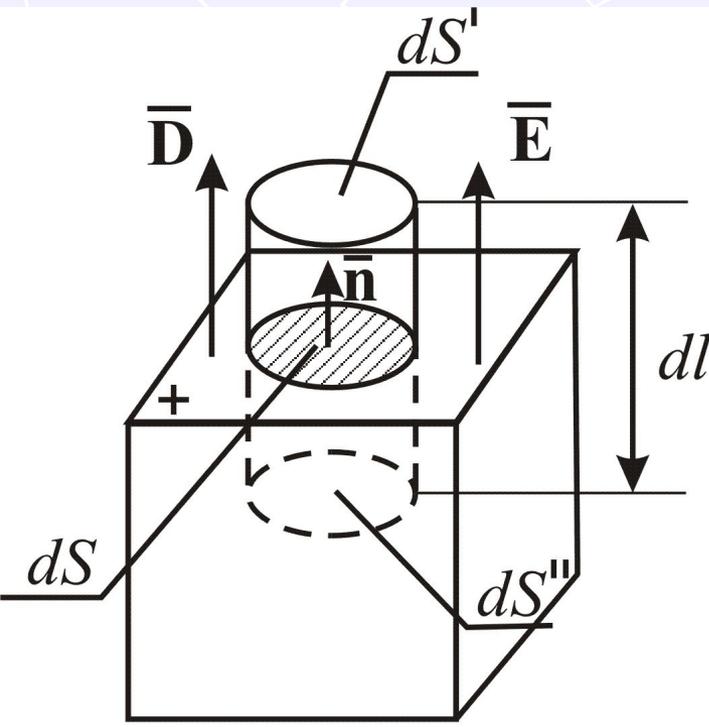


Электростатическая индукция- появление у заряженной поверхности на металле заряда противоположного знака. ($t \sim 10^{-8}$ с).

- **Электростатическое экранирование** – внутри проводника поле не проникает.
- Во всех точках внутри проводника $\mathbf{E} = \mathbf{0}$, а во всех точках на поверхности $\mathbf{E} = \mathbf{E}_n$ ($\mathbf{E}_\tau = \mathbf{0}$);
- Весь объем проводника, находящегося в электростатическом поле **эквипотенциален**.

2. Определение напряженности электростатического поля вблизи проводника

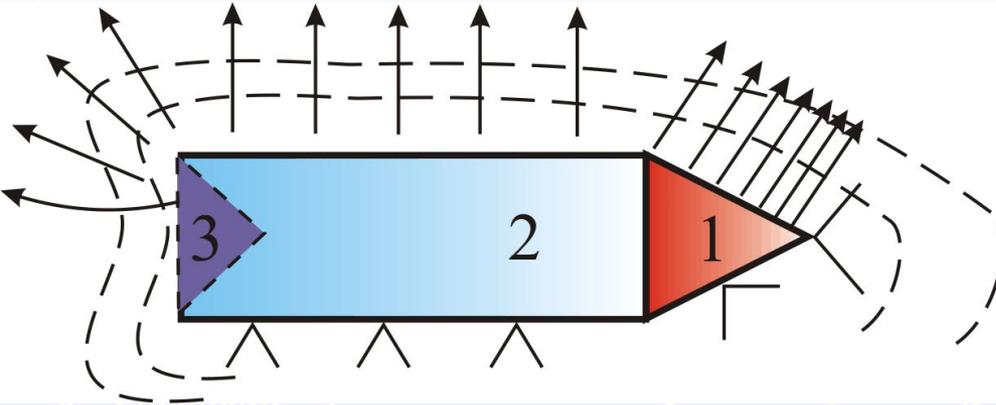
Напряженность поля вблизи поверхности заряженного проводника прямопропорциональна поверхностной плотности зарядов.



$$E_n = \frac{D_n}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{|\sigma|}{\epsilon_0 \epsilon}$$

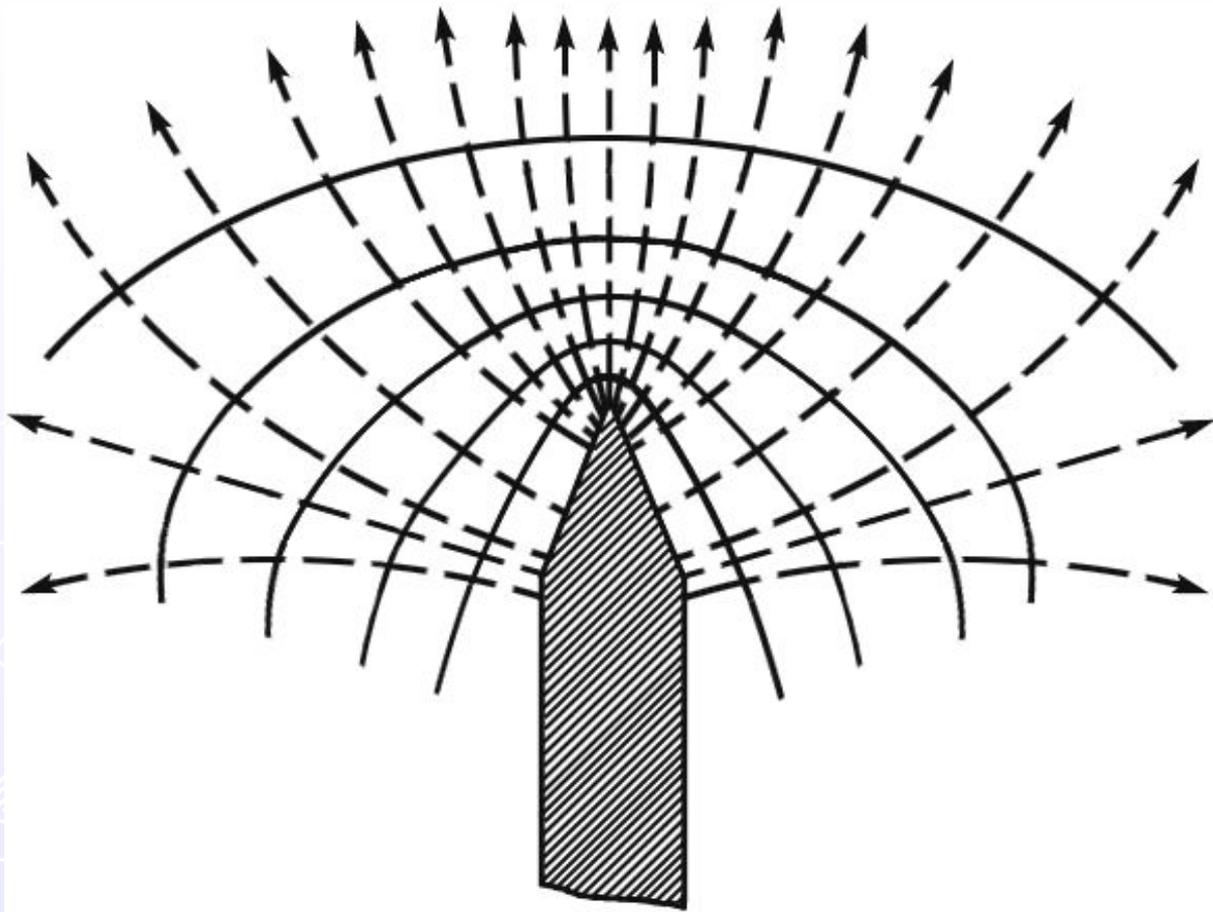
3. Экспериментальная проверка распределения заряда на проводнике

1. Заряженный кондуктор.



В местах разной напряженности электростатического поля лепестки бумажки расходятся по-разному:

на поверхности 1 – максимальное расхождение,
на поверхности 2 заряд распределен равномерно
 $q = const$ и имеем одинаковое расхождение лепестков.

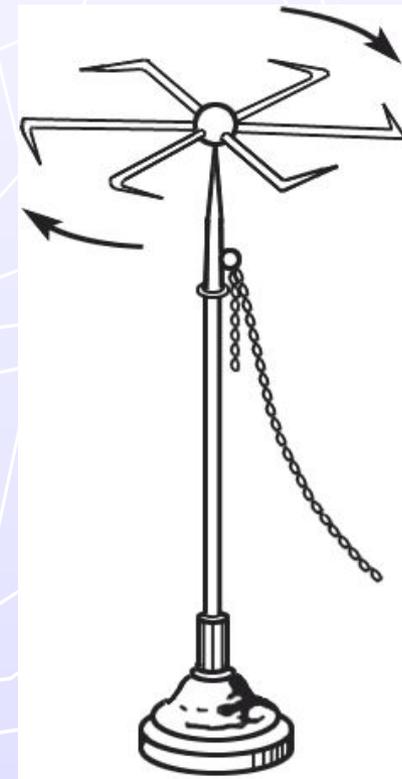
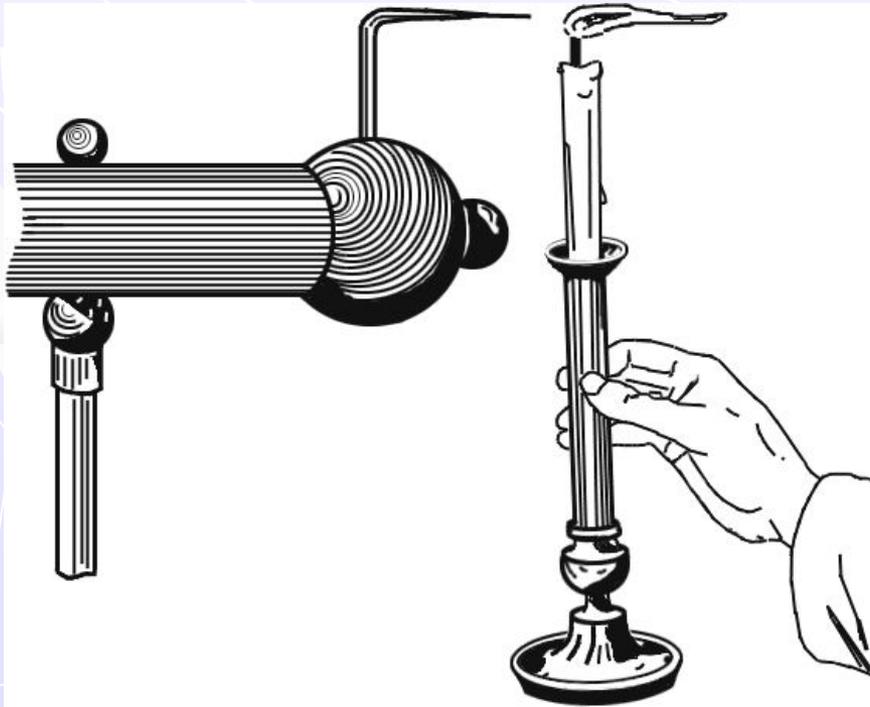


Напряженность электростатического поля
максимальна на острие заряженного проводника.

2. Стеkanie электростатических зарядов с острия.

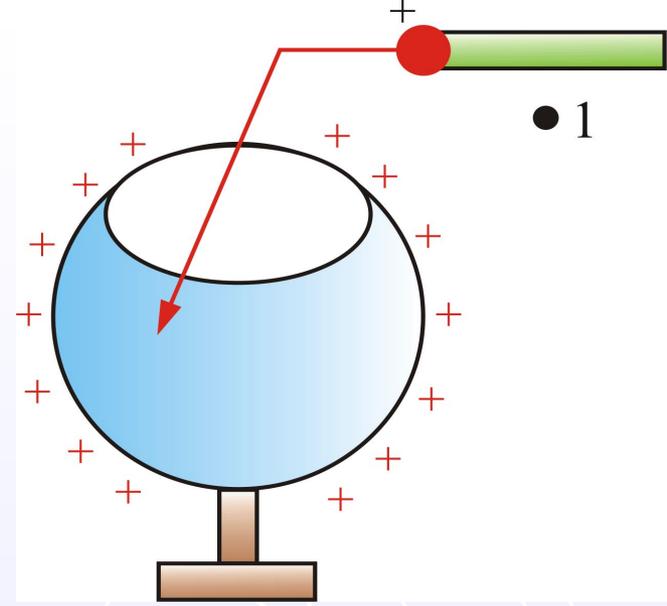
Большая напряженность поля E на остриях приводит к утечке зарядов и ионизации воздуха.

Ионы уносят электрический заряд, образуется как бы «электрический ветер»



3. Электростатический генератор (ЭСГ).

Если заряженный металлический шарик привести в соприкосновение с поверхностью, какого либо, проводника, то заряд шарика частично передается проводнику: шарик будет разряжаться до тех пор, пока их потенциалы не выровняются. Иначе обстоит дело, если шарик привести в соприкосновение с внутренней поверхностью полого проводника. При этом весь заряд с шарика стечет на проводник и распределится на внешней поверхности проводника.



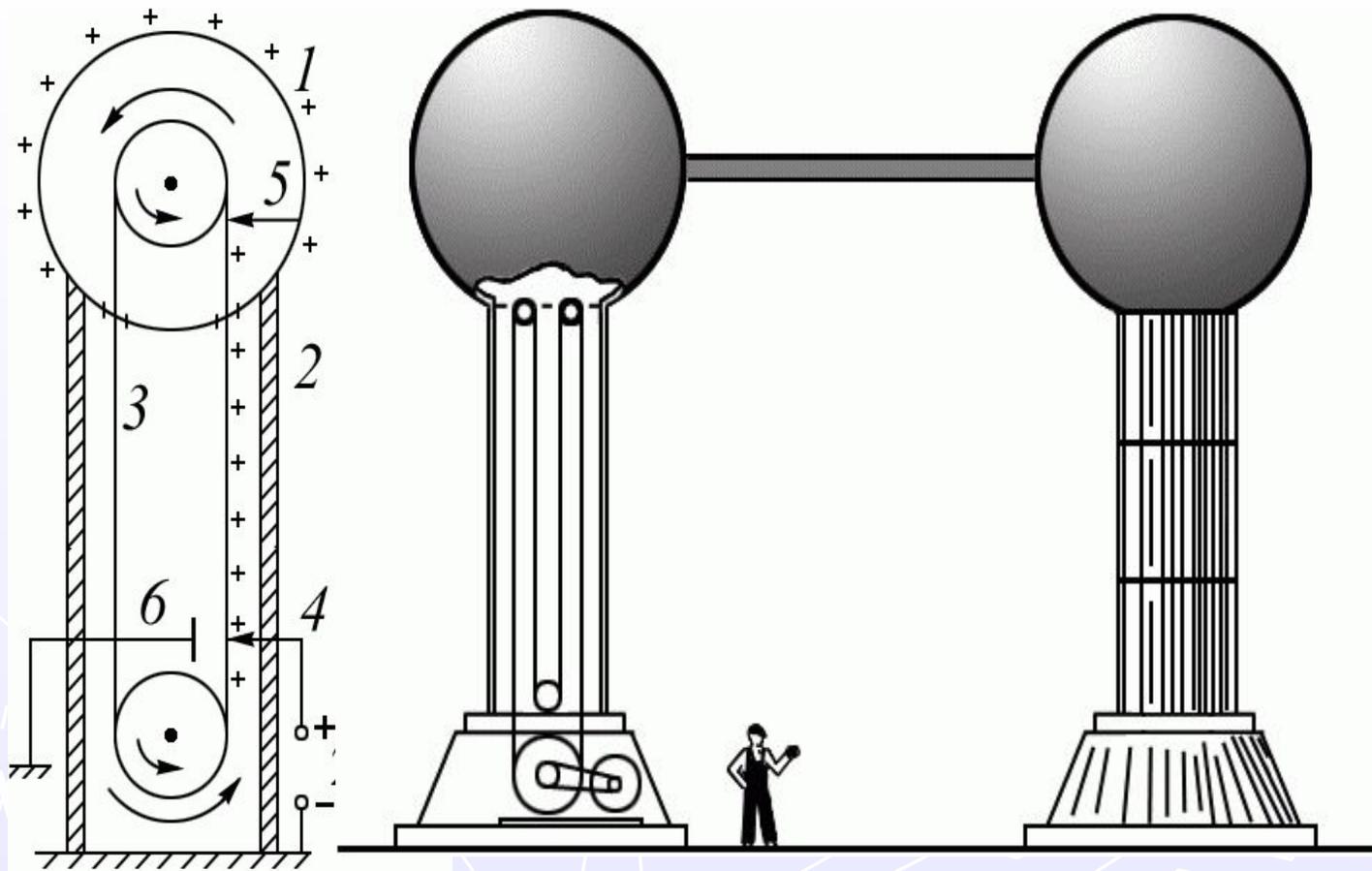


ВАН ДЕ ГРААФ Роберт (1901 – 1967) -
американский физик.

*Окончил университет штата Алабама (1922).
Совершенствовал знания в Сорбонне и Оксфорде.
В 1929-31 работал в Принстонском университете,
в 1931 –60 –*

в Масачусетском технологическом институте.

- Научные исследования в области ядерной физики и ускорительной техники.*
- Выдвинул идею тандемного ускорителя и к 1958 построил первый тандемный ускоритель отрицательных ионов.*
- Изобрел в 1931 году высоковольтный электростатический ускоритель (генератор Ван де Граафа), спроектировал и построил генератор с диаметром сфер по 4,5 м.*
- В 1936 построил самый большой из традиционных генераторов постоянного напряжения.*



Зарядное устройство заряжает ленту транспортера положительными зарядами. Лента переносит их вовнутрь сферы и там происходит съем положительных зарядов. Далее они стекают на внешнюю поверхность. Так можно получить потенциал относительно земли в несколько миллионов вольт – ограничение – ток утечки.

4. Конденсаторы

4.1. Электрическая емкость.

При сообщении проводнику заряда, на его поверхности появляется потенциал φ , который пропорционален заряду q .

$$q = C\varphi$$

Электроемкость – физическая величина, численно равна заряду, который необходимо сообщить проводнику для того, чтобы изменить его потенциал на единицу.

- ▶ Единица измерения емкости в СИ – фарада
- ▶ $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл} / 1 \text{ В}$.

Потенциал поверхности шара $\phi_{\text{шар.}} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}$

$$C_{\text{шар.}} = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R$$

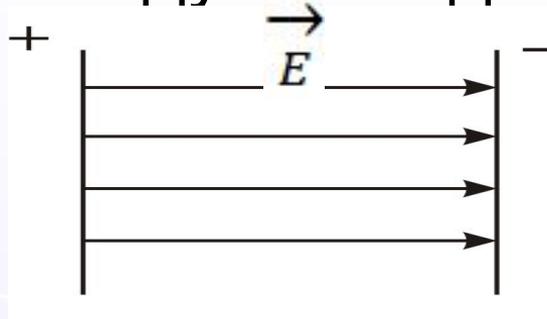
Если $\epsilon = 1$ (воздух, вакуум) и $R = R_{\text{земли}}$, то $C_3 = 7 \cdot 10^{-4}$ Ф или 700 мкФ.

Чаще на практике используют и более мелкие единицы: 1 нФ (нанофарада) = 10^{-9} Ф и 1 пкФ (пикофарада) = 10^{-12} Ф.

Конденсатор – два проводника называемые обкладками расположенные близко друг к другу.

Модель

▶ Электростатическое поле сосредоточено внутри конденсатора между обкладками.



▶ Конденсаторы бывают **плоские, цилиндрические и сферические**.

▶ Линии электрического смещения начинаются на положительной обкладке и заканчиваются на отрицательной – и нигде не исчезают.

Следовательно, заряды на обкладках **противоположны по знаку, но одинаковы по величине**.

▶ **Емкость конденсатора:**

$$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2} = \frac{q}{U}$$

▶ Емкость плоского конденсатора.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{q}{\varepsilon_0 \varepsilon S} \quad U = Ed = \frac{qd}{\varepsilon_0 \varepsilon S},$$

где: S – площадь пластин (обкладок); q – заряд конденсатора

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

ε – диэлектрическая проницаемость диэлектрика между обкладками.

▶ Единица измерения ε_0 :

$$\varepsilon_0 = \frac{Cd}{\varepsilon S}$$

$$[\varepsilon_0] = \frac{[C] \cdot [d]}{[S]} = \frac{\Phi \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \frac{\Phi}{\text{м}}$$

▶ **Емкостные батареи** – комбинации параллельных и последовательных соединений конденсаторов.

4.2. Соединение конденсаторов

1) Параллельное соединение:

Общим является напряжение $U = \text{const}$

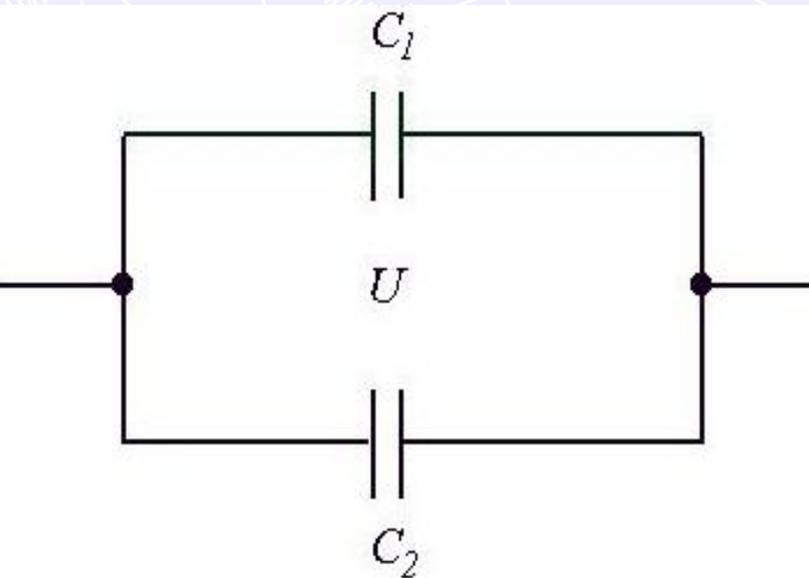
$$q_1 = C_1 U;$$

$$q_2 = C_2 U;$$

Суммарный заряд: $q = q_1 + q_2 = U(C_1 + C_2)$.

Результирующая емкость:

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



2) Последовательное соединение :

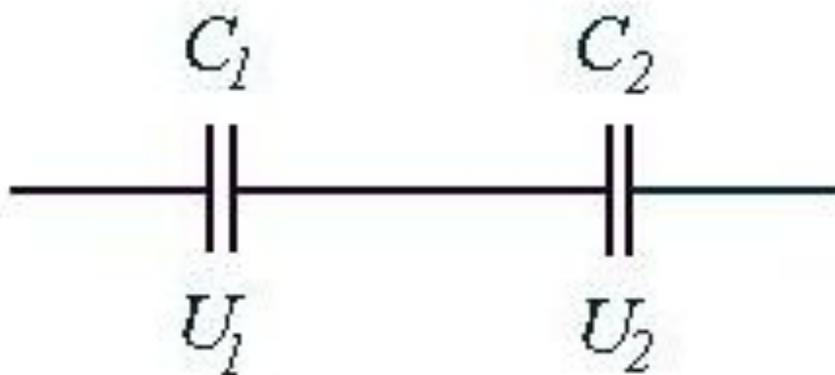
Общим является заряд $q = \text{const}$

$$U_1 = \frac{q}{C_1}; \quad U_2 = \frac{q}{C_2};$$

$$U = \sum U_i = q \sum \frac{1}{C_i}$$

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

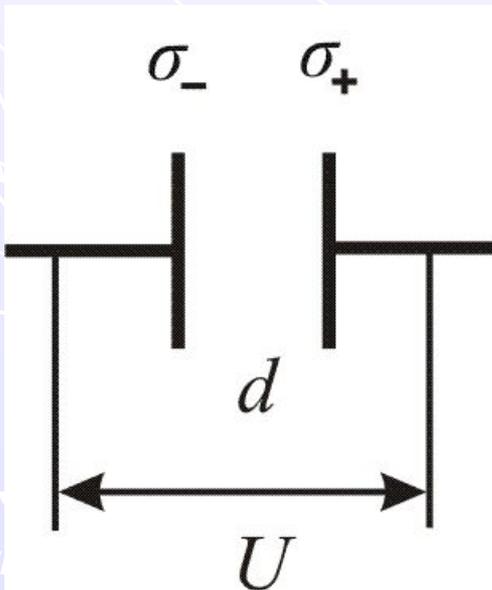
$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$$



4.3. Расчет емкостей различных конденсаторов

1. Емкость плоского конденсатора.

$$E = \frac{|\sigma|}{\varepsilon_0 \varepsilon}; \quad \phi_1 - \phi_2 = \int_{x_2}^{x_1} E dx = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} d$$



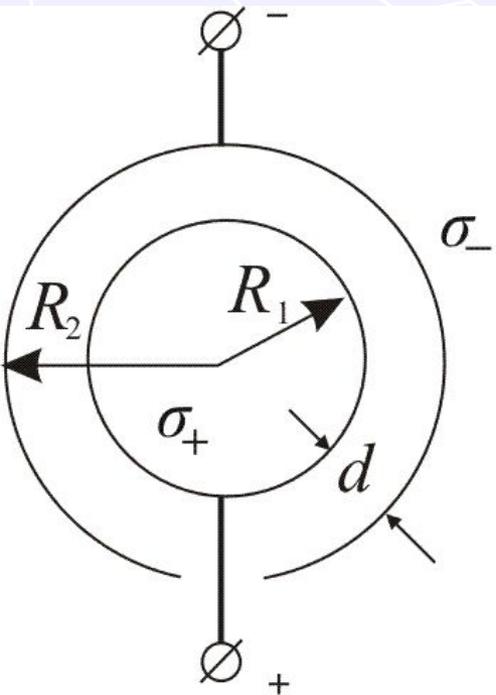
где $d = x_2 - x_1$ – расст. м/у пластинами.
Так как заряд $q = \sigma S$, то

$$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2} = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}$$

2. Ёмкость шарового конденсатора.

$$\phi_1 - \phi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad \Delta\phi = \frac{q}{C},$$

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



4.4. Энергия заряженного конденсатора

Конденсатор запасает энергию.

Конденсатор разряжается.

U' – мгновенное значение напряжения на обкладках.

dq – элементарный заряд при этом значении напряжения

$$dA = U'dq.$$

$$dA = - dW_c.$$

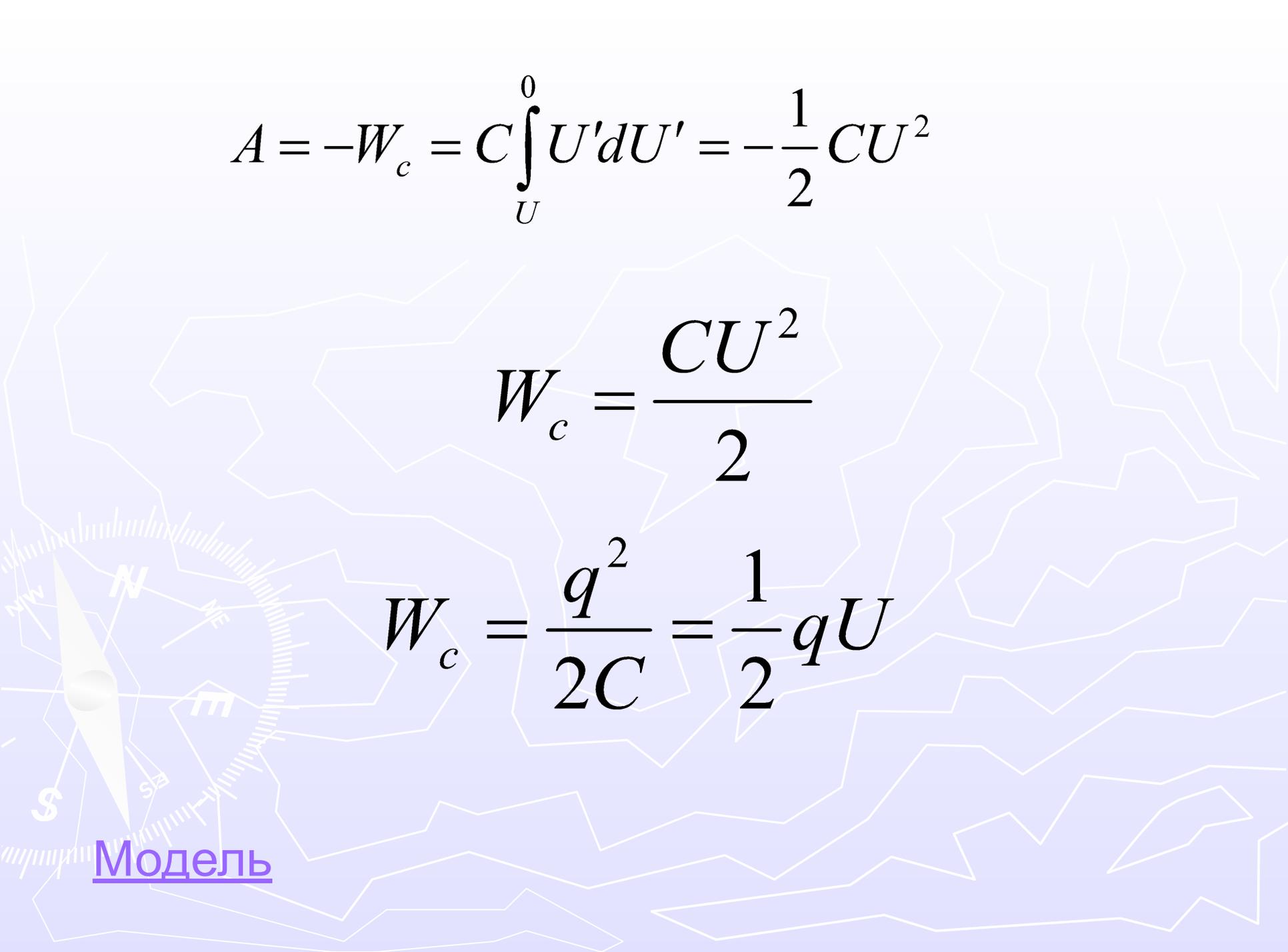
Так как $q = CU$, то $dA = CU'dU'$, а полная работа

$$A = \int dA.$$

$$A = -W_c = C \int_U^0 U' dU' = -\frac{1}{2} CU^2$$

$$W_c = \frac{CU^2}{2}$$

$$W_c = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} qU$$



Модель

5. Энергия электростатического поля

Носителем энергии в конденсаторе, W_c является электростатическое поле.

$$W_c = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{2d} \frac{d}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2} \left(\frac{U}{d} \right)^2 Sd$$

$$\frac{U}{d} = E; \quad V = S * d$$

$$W_c = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} V$$

Если поле **однородно**, заключенная в нем энергия распределяется в пространстве с постоянной плотностью.

Удельная энергия $\omega_{уд}$: $\omega_{уд} = \frac{W}{V}$;

$$\omega_{уд} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}$$

Так как $D = \varepsilon_0 \varepsilon E$, то

$$\omega_{уд} = \frac{ED}{2}$$

Эти формулы справедливы для однородного поля.

Энергия системы зарядов

Если поле создано двумя точечными зарядами q_1 и q_2 , то

$$W_1 = q_1 \phi_{12} \quad W_2 = q_2 \phi_{21}$$

ϕ_{12} – потенциал поля, создаваемого зарядом q_2 в точке, где расположен заряд q_1 ,

ϕ_{21} – потенциал поля от заряда q_1 в точке с зарядом q_2 .



Для вакуума

$$\phi_{12} = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$\phi_{21} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r}$$

r – расстояние между зарядами.

$$W_1 = W_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r} = W$$

$$W = \frac{1}{2} W_1 + \frac{1}{2} W_2 = \frac{1}{2} (q_1 \phi_{12} + q_2 \phi_{21}).$$

Энергия системы из N зарядов, :

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