

ЛЕКЦИЯ 10 (ВСЭ) ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов.

1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов.

2. Электрическое поле и его характеристики.

1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов.

2. Электрическое поле и его характеристики.

3. Электрические свойства веществ.

1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов.
2. Электрическое поле и его характеристики.
3. Электрические свойства веществ.
4. Пьезоэлектрический эффект.

1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов.
2. Электрическое поле и его характеристики.
3. Электрические свойства веществ.
4. Пьезоэлектрический эффект.
5. Емкость. Конденсаторы.

1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов.
2. Электрическое поле и его характеристики.
3. Электрические свойства веществ.
4. Пьезоэлектрический эффект.
5. Емкость. Конденсаторы.
6. Энергия электрического поля.

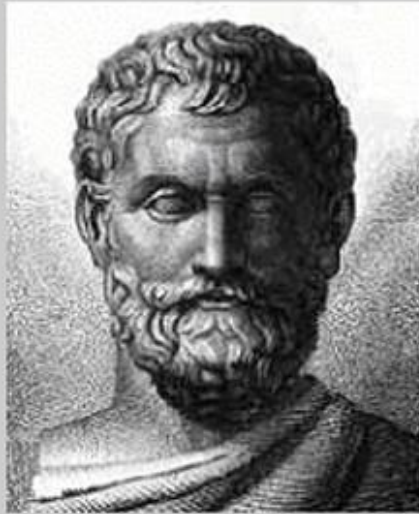
1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов.
2. Электрическое поле и его характеристики.
3. Электрические свойства веществ.
4. Пьезоэлектрический эффект.
5. Емкость. Конденсаторы.
6. Энергия электрического поля.
7. Биопотенциалы. Уравнение Нернста.

- 1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов.**
- 2. Электрическое поле и его характеристики.**
- 3. Электрические свойства веществ.**
- 4. Пьезоэлектрический эффект.**
- 5. Емкость. Конденсаторы.**
- 6. Энергия электрического поля.**
- 7. Биопотенциалы. Уравнение Нернста.**
- 8. Действие электрического поля на живой организм.**

1 вопрос

Электростатика в вакууме(история)

Фалес Милетский
греч. "электрон" -
янтарь



ФАЛЕС
625-547
до н.э.



Электрический заряд

физическая величина,
определяющая интенсивность
электромагнитных
взаимодействий.

Основной единицей измерения
заряда в СИ является кулон (Кл).

Электрический заряд

По признаку электрического взаимодействия различают 3 класса элементарных частиц:

- 1) отрицательно заряженные частицы (электрон);
- 2) положительно заряженные частицы (протон);
- 3) электронейтральные частицы (нейтрон).

Элементарный электрический заряд

Электроны и протоны имеют
одинаковые по модулю заряды,
называемые элементарными:

$$|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

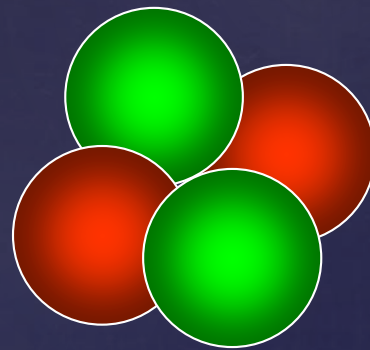
нейтрон $\begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} n$

протон $\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix} p$

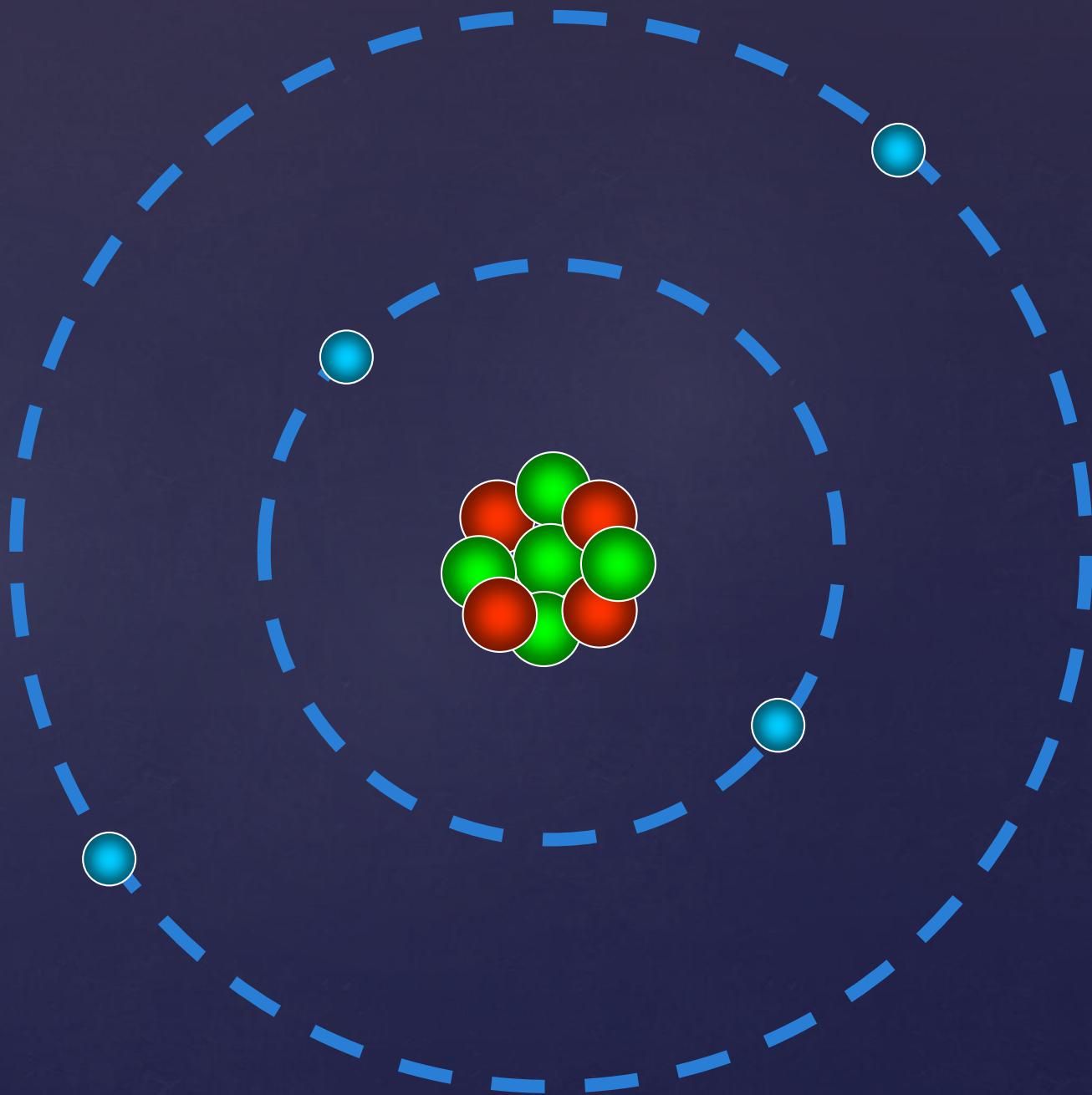
электрон

$\begin{matrix} 0 \\ -1 \end{matrix} e$

He⁴₂



Be⁹₄



Заряд любого тела всегда складывается из целого количества элементарных зарядов:

$$q = e \cdot (N_p - N_e) = \pm e \cdot N$$

Если тело заряжено отрицательно ($q < 0$), то оно имеет избыточное количество N электронов (по сравнению с количеством протонов).

Если же тело заряжено положительно ($q > 0$), то наоборот, у него электронов недостаёт: протонов на N больше.

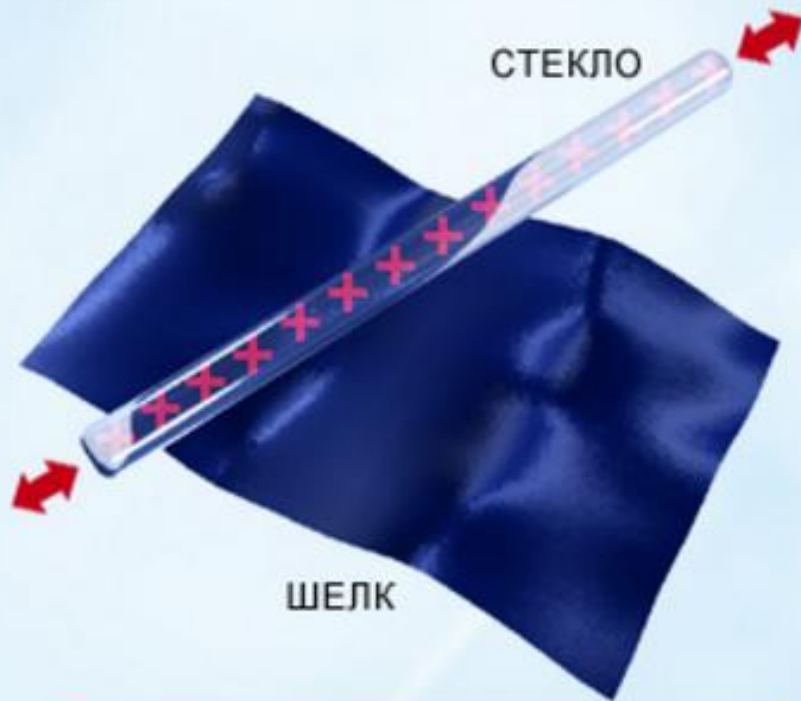
Электризация тел

Процесс сообщения телу электрического заряда называется электризации.

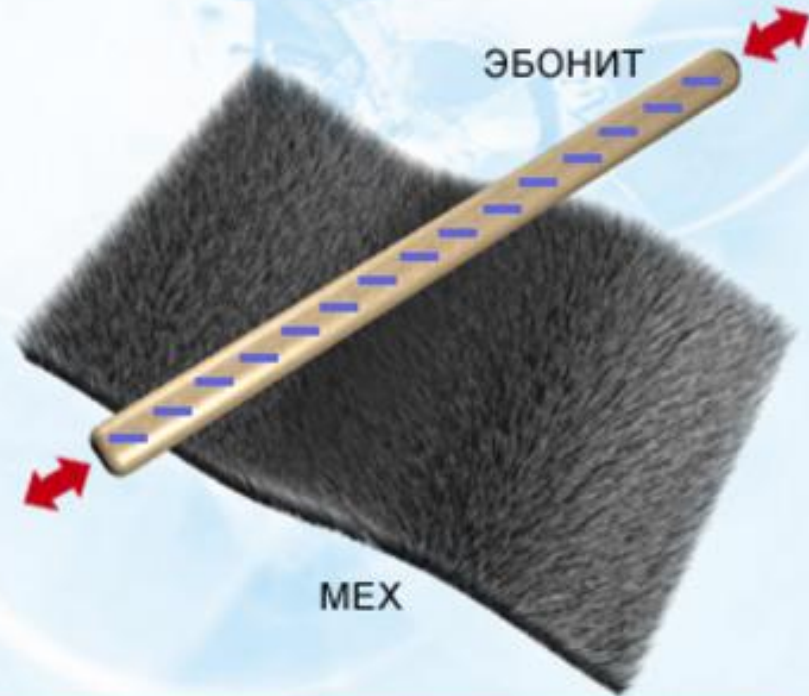
Способы электризации:

- 1. Трением**
- 2. Соприкосновением**
- 3. Влиянием**

1. Трением



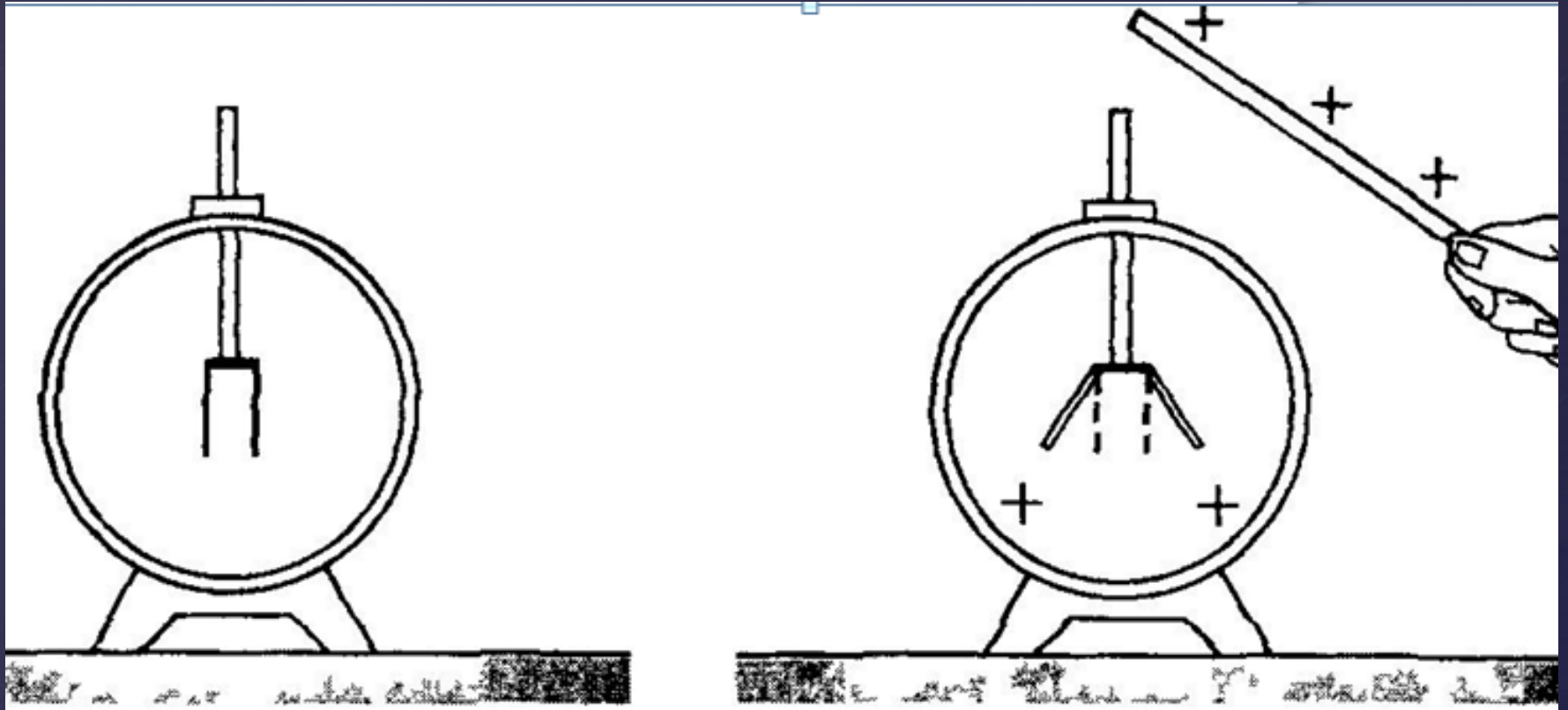
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ заряд
образуется на стекле,
потертом о шелк



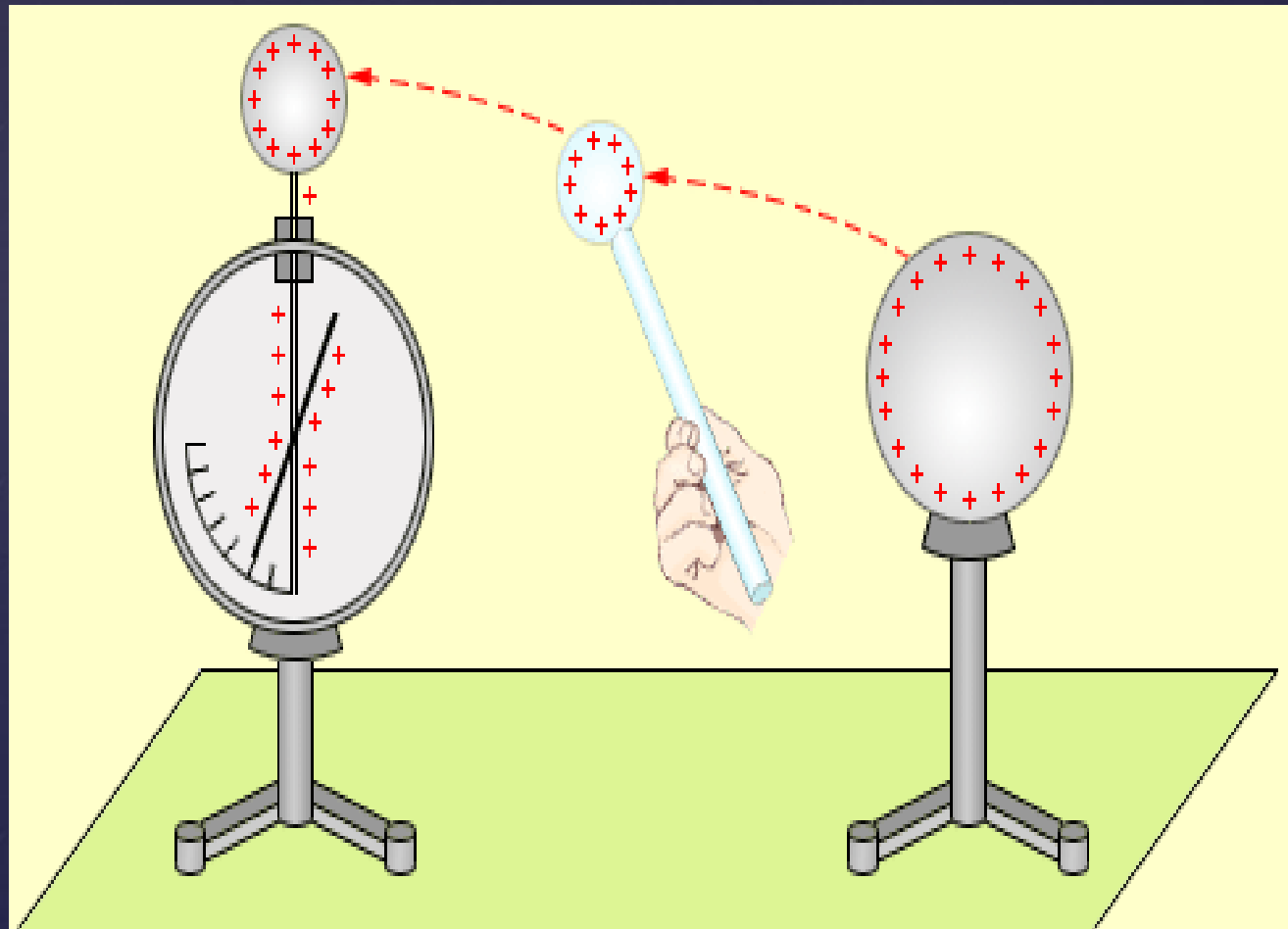
ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ заряд
образуется на эбоните(янтаре),
потертом о мех

При трении происходит разделение зарядов.

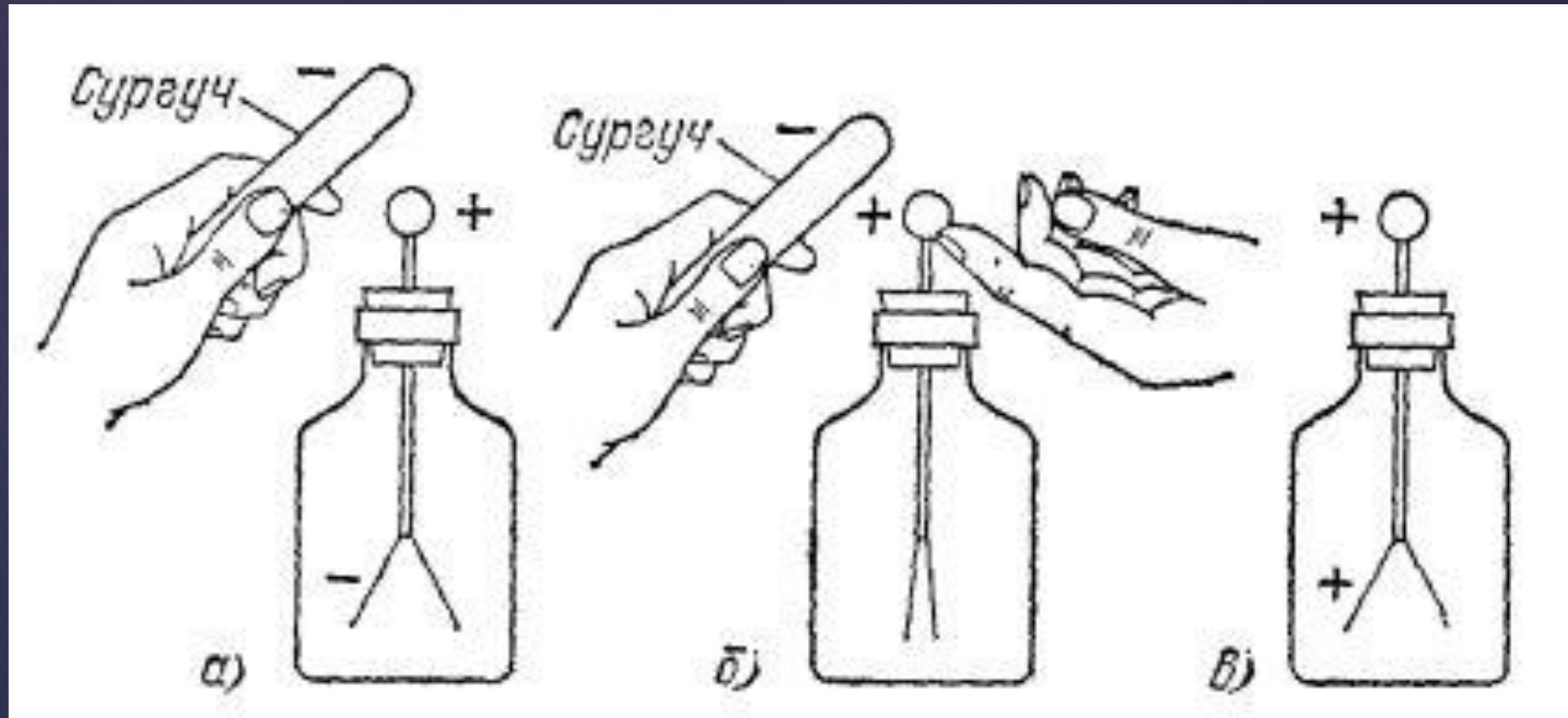
2. Касанием



Происходит перенос частиц с одного тела на другое.



3. Влиянием



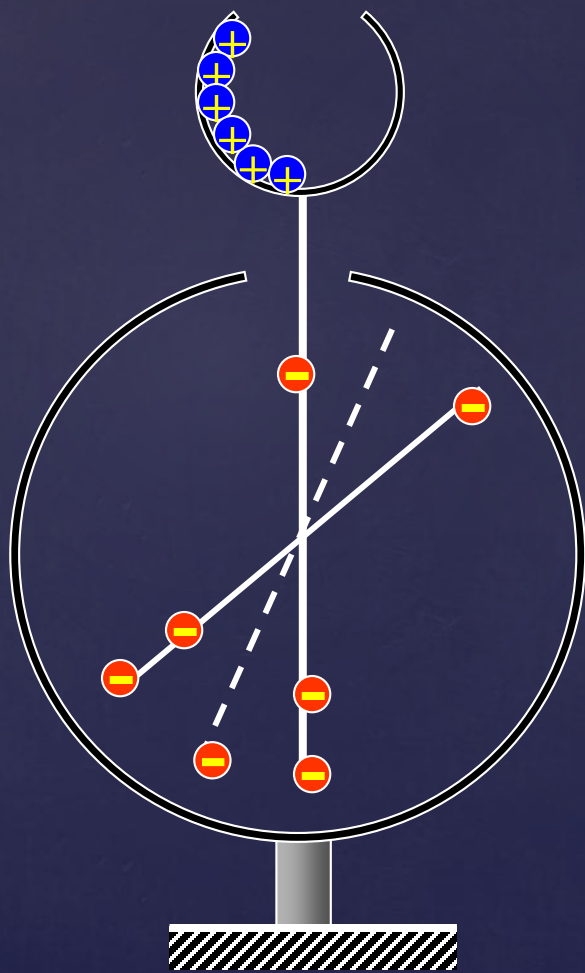
Заряженное тело вытесняет заряженные частицы через руку.
Такой способ еще называется *электростатической индукцией*

Электризация

Способы электризации:

- нагреванием тела;
- химическим путем;
- воздействием на тело светом или электромагнитными волнами.

Электромметр



прибор для
обнаружения и
измерения
электрических
зарядов.

Закон сохранения заряда

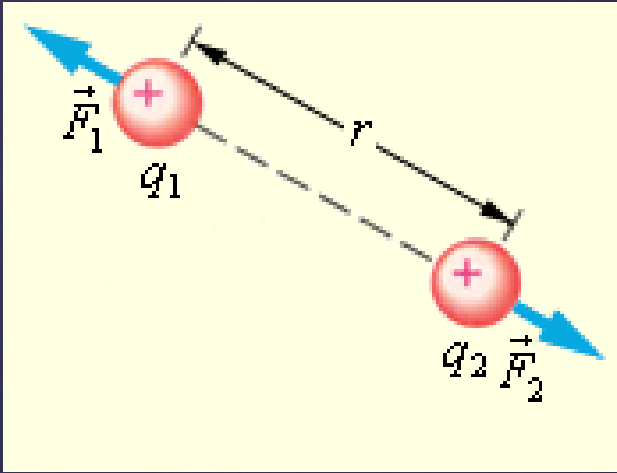
В замкнутой системе тел алгебраическая сумма зарядов остаётся неизменной при любых процессах, происходящих с этими телами.

Замкнутость системы тел означает, что эти тела могут обмениваться зарядами только между собой, но не с какими-либо другими объектами, внешними по отношению к данной системе.

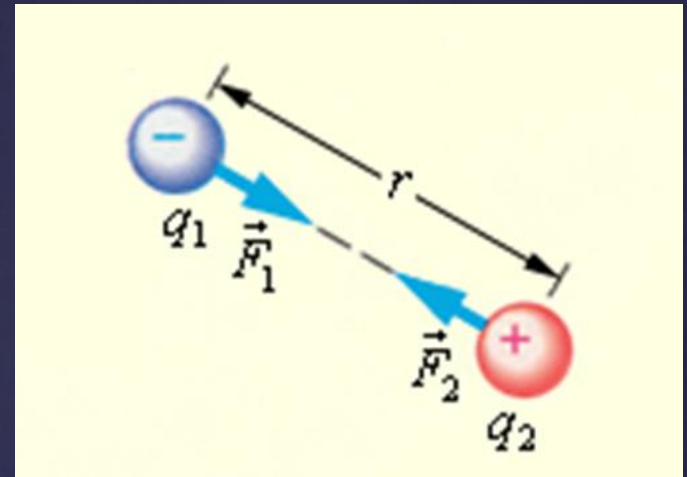
Закон сохранения электрического заряда

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}$$

Взаимодействие зарядов



одноименные



разноименные

Закон Кулона



Франц. физик
Шарль Кулон

Закон
взаимодействия
неподвижных
зарядов.
в 1785 г.

В своих опытах Кулон измерял силы притяжения и отталкивания заряженных шариков с помощью сконструированного им прибора – крутильных весов.



Закон Кулона

точечные
заряды

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{м}$$

2 вопрос

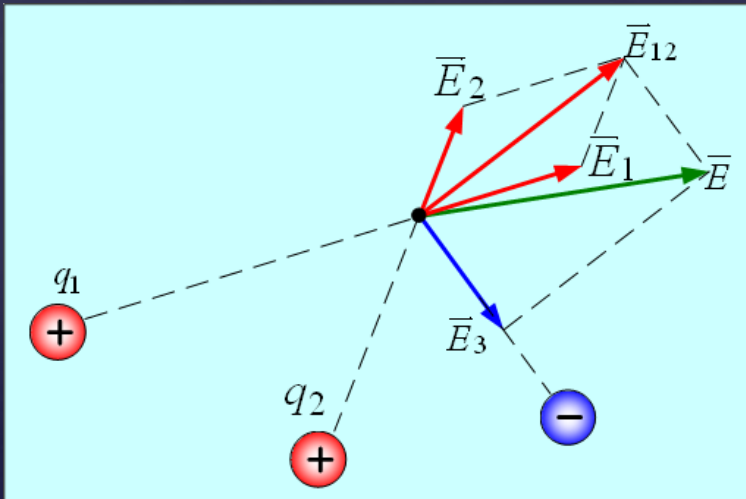
Напряженность электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

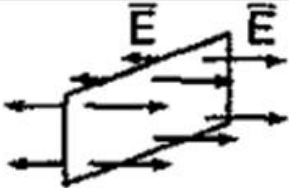
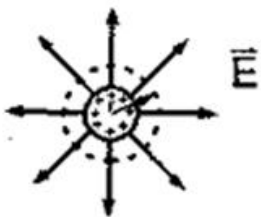
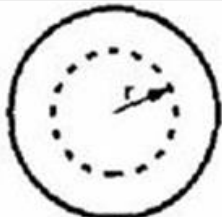
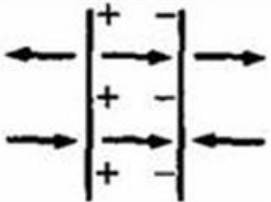
$$\frac{H}{Kл} = \frac{В}{м}$$

Принцип суперпозиции

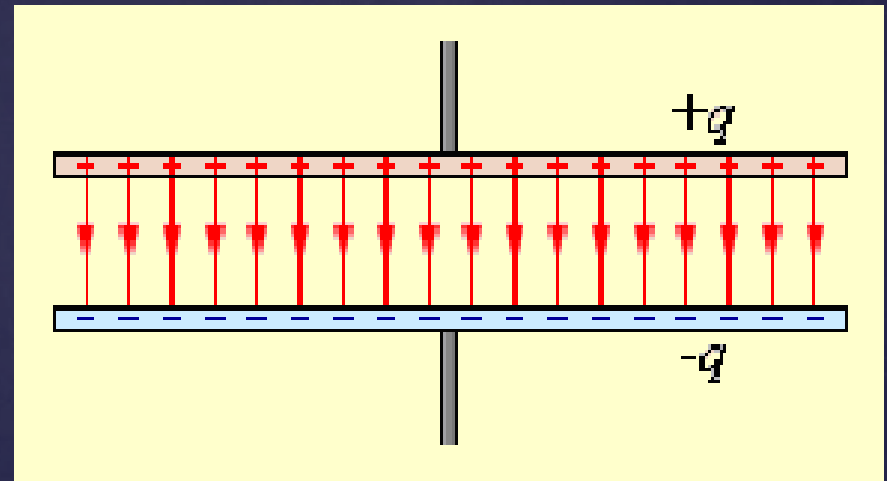
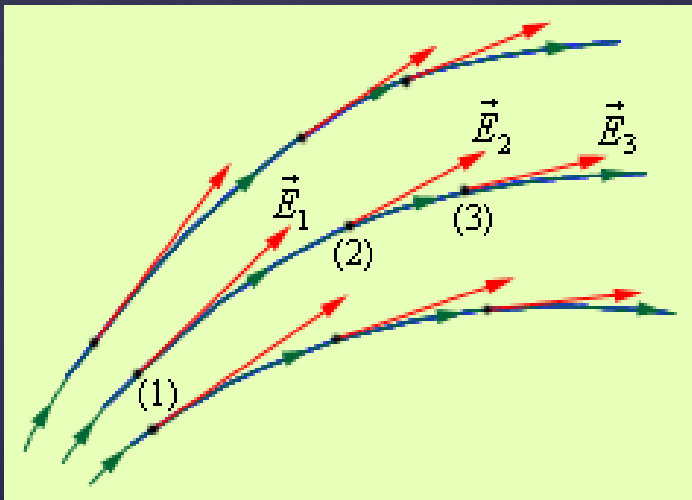
$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$



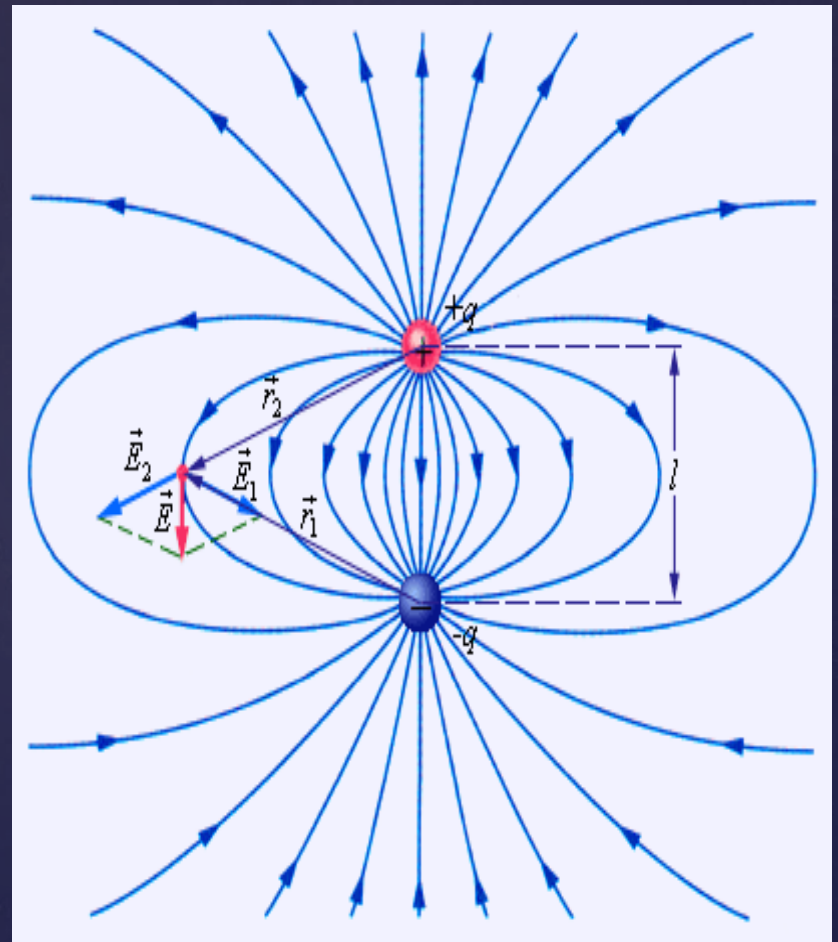
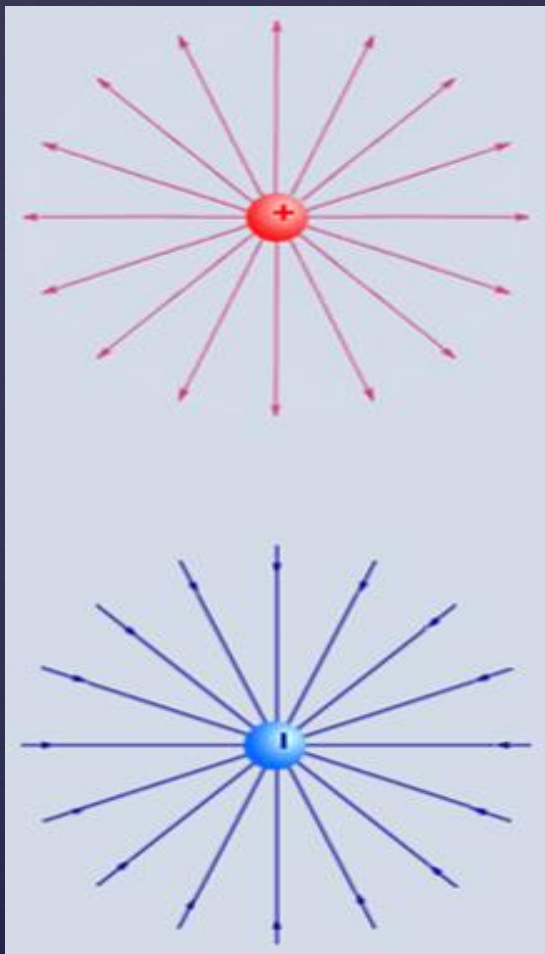
Напряженности различных полей в вакууме

<i>Электростатическое поле</i>	<i>схема</i>	<i>пояснения</i>	<i>напряженность</i>	<i>примечания</i>
Бесконечной равномерно заряженной плоскости		σ – поверхностная плотность заряда σ - постоянна	$E = \frac{ \sigma }{2\epsilon_0}$	E не зависит от расстояния до плоскости
Вне шара, равномерно заряженного по поверхности или объему		Шар создает во внешнем пространстве такое поле, как если бы весь заряд был сосредоточен в его центре	$E = \frac{ q }{4\pi\epsilon_0 r^2}$	Напряженность одинакова, независимо от того, заряжен ли шар по объему или по поверхности
Внутри шара, равномерно заряженного по поверхности или объему		ρ – объемная плотность заряда $\rho = \frac{q}{V}$	$E = 0$	Шар равномерно заряжен по поверхности
			$E = \frac{ \rho r}{3\epsilon_0}$	Шар равномерно заряжен по объему
Двух параллельных разноименно и равномерно заряженных плоскостей		Поверхностные плотности зарядов на обеих плоскостях одинаковы	Внутри конденсатора $E = \frac{ \sigma }{\epsilon_0}$	Во внешнем пространстве результирующее поле равно 0

Силовые линии электрического поля



Силовые линии поля

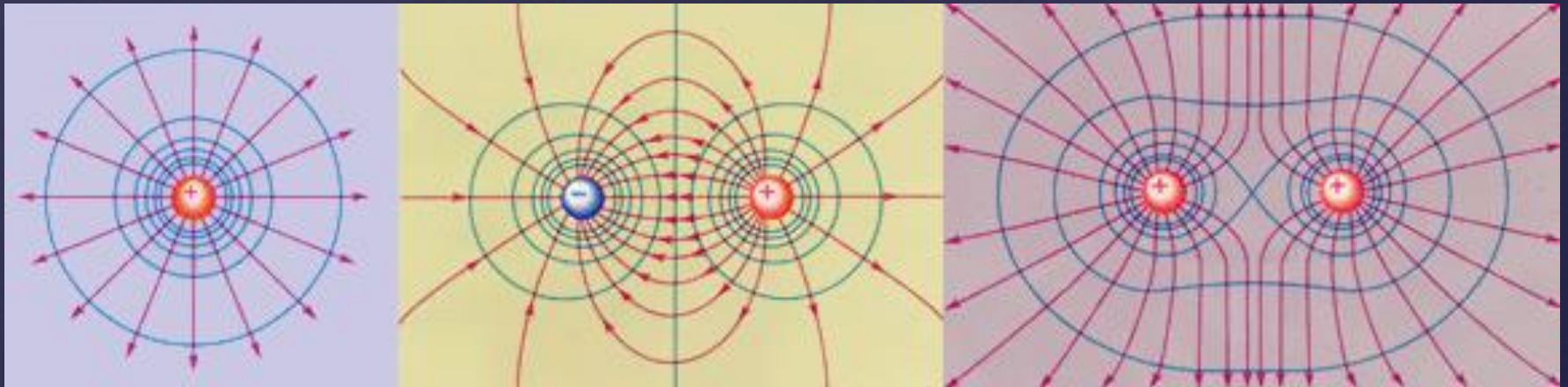


Потенциал электрического поля

$$\varphi = \frac{W_{\text{пот}}}{q}$$

$$\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$$

Эквипотенциальные поверхности



Связь характеристик электрического поля

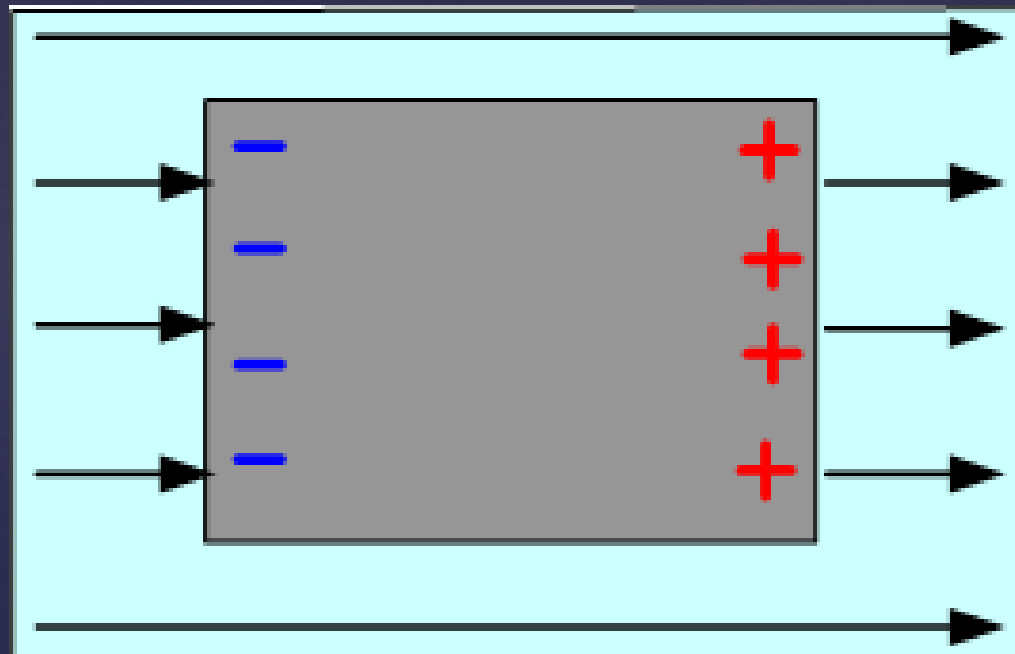
$$E = - \frac{\Delta \varphi}{\Delta x}$$

3 вопрос

Сила, действующая на заряд в электрическом поле

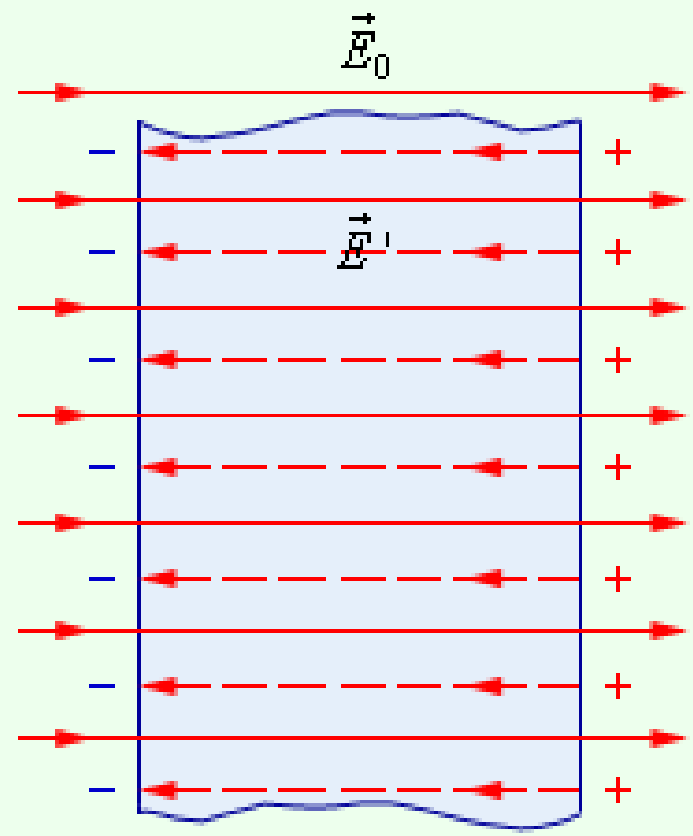
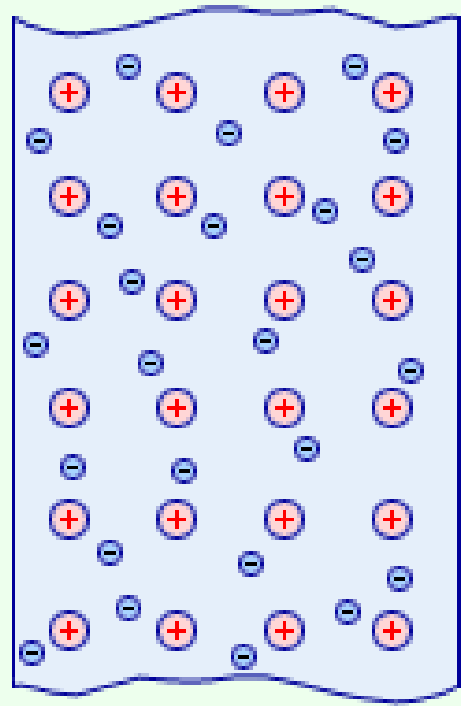
$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Проводник в электрическом поле



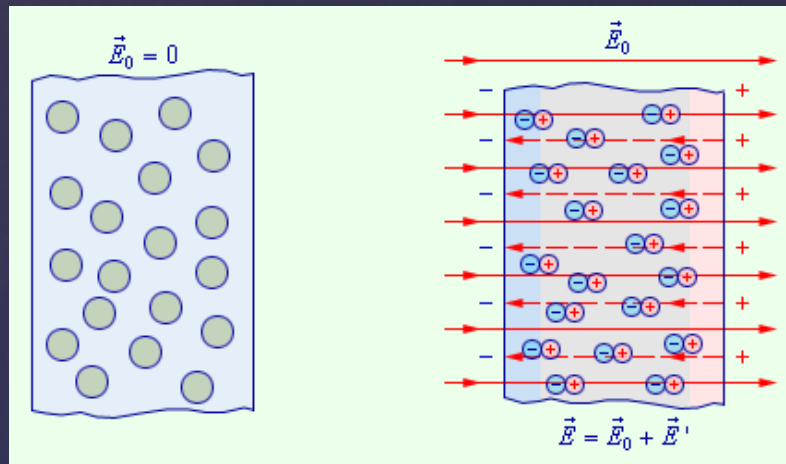
$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_{\text{инд}} = 0$$

$$\vec{E}_0 = 0$$

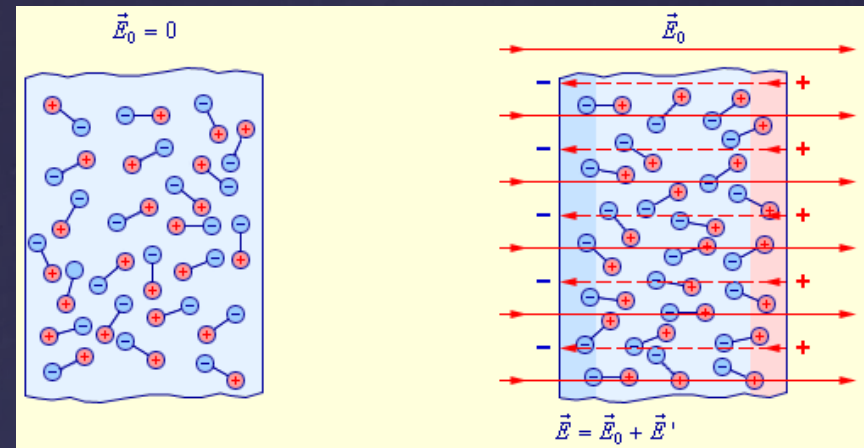


$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' = 0$$

Типы диэлектриков



неполярный



полярный

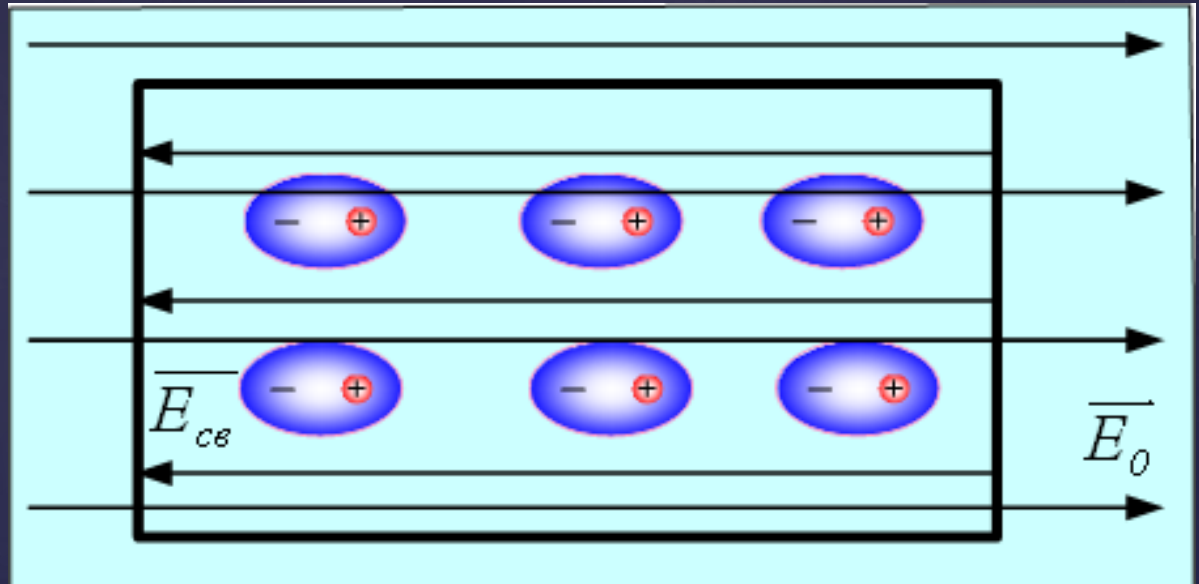
Диэлектрик в электрическом поле

$$\vec{E}_D = \vec{E} + \vec{E}_{CB}$$

$$E_D = E - E_{CB}$$

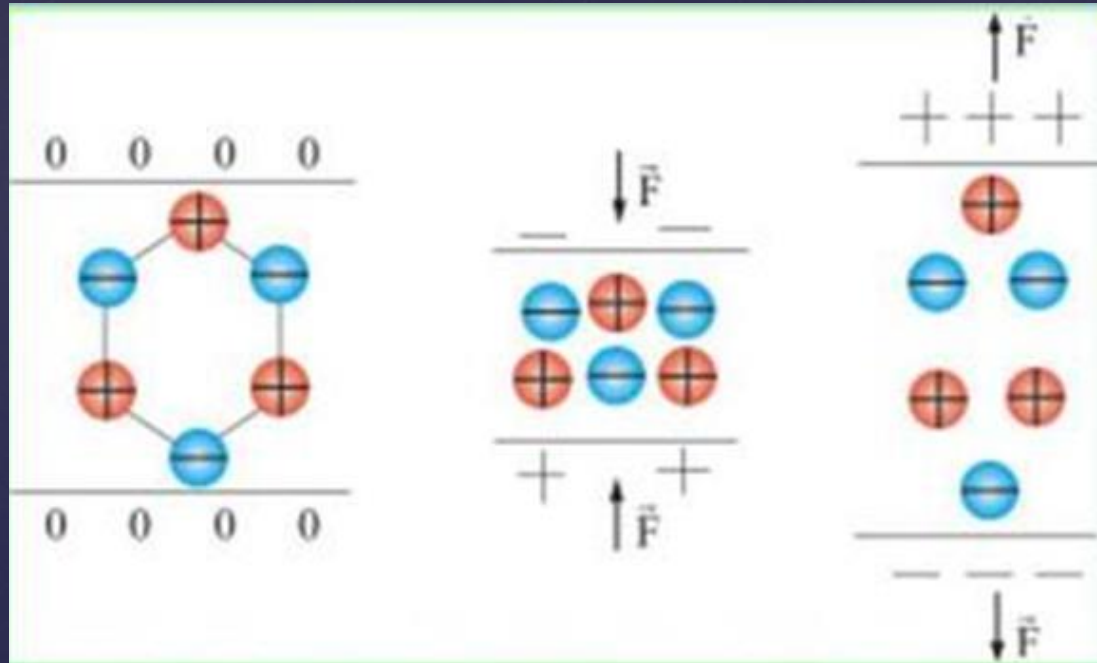
$$E = \varepsilon \cdot E_D$$

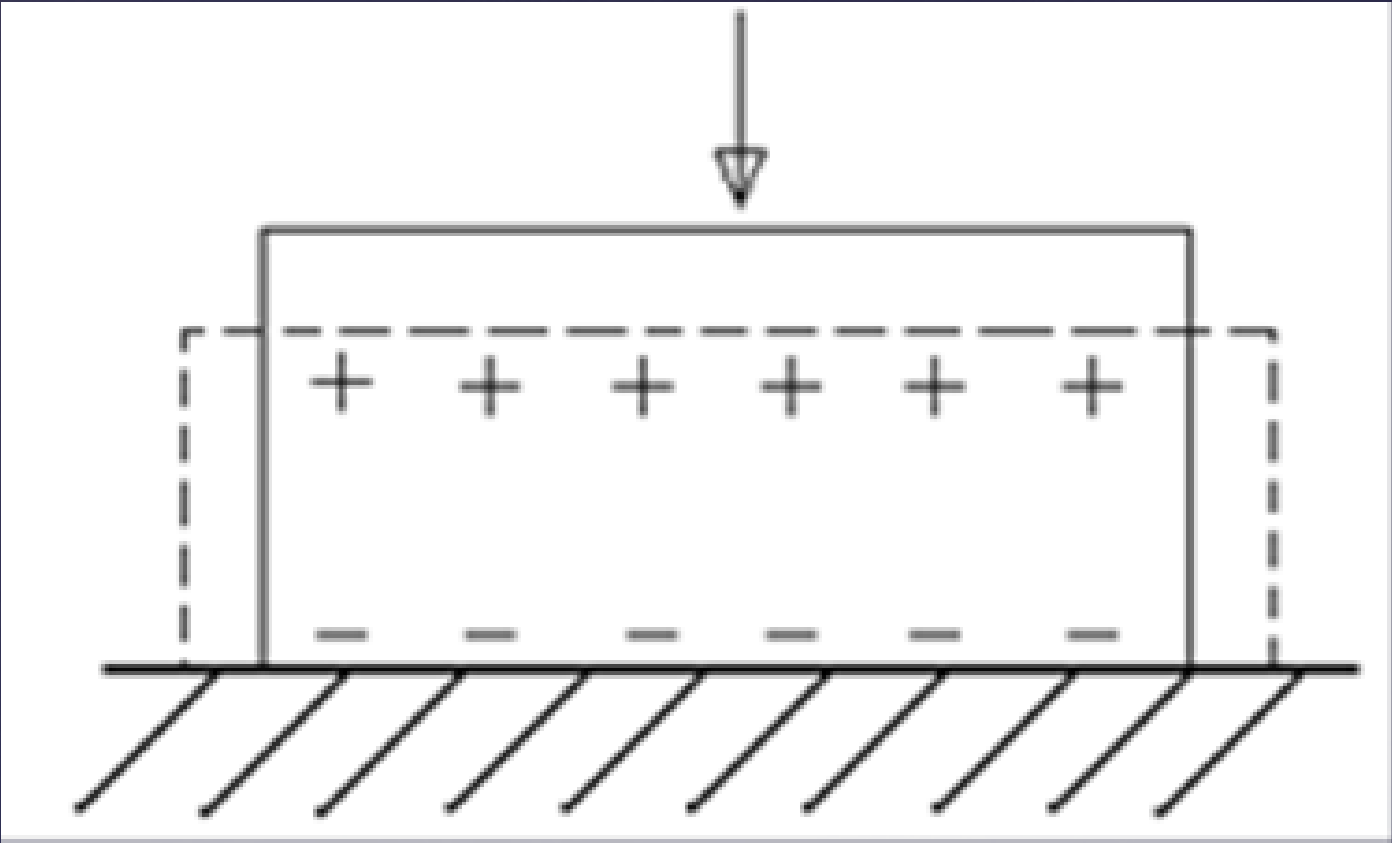
$$\varepsilon = \frac{E}{E_D}$$



4 вопрос

Деформация диэлектрика





Прямой пьезоэлектрический эффект (пьезоэффект)

– образование электростатических зарядов на поверхности диэлектрика и электрической поляризации внутри его, происходящие в результате воздействия механических деформаций

Величина электростатического заряда

$$q = d_{нэ} \cdot F$$

Пьезоэффект был открыт в 1880 г. П. и Ж. Кюри, наблюдавшими его у кварца и некоторых других кристаллов.

В настоящее время существует свыше 1500 элементов и соединений, обладающих пьезоэлектрическим эффектом.

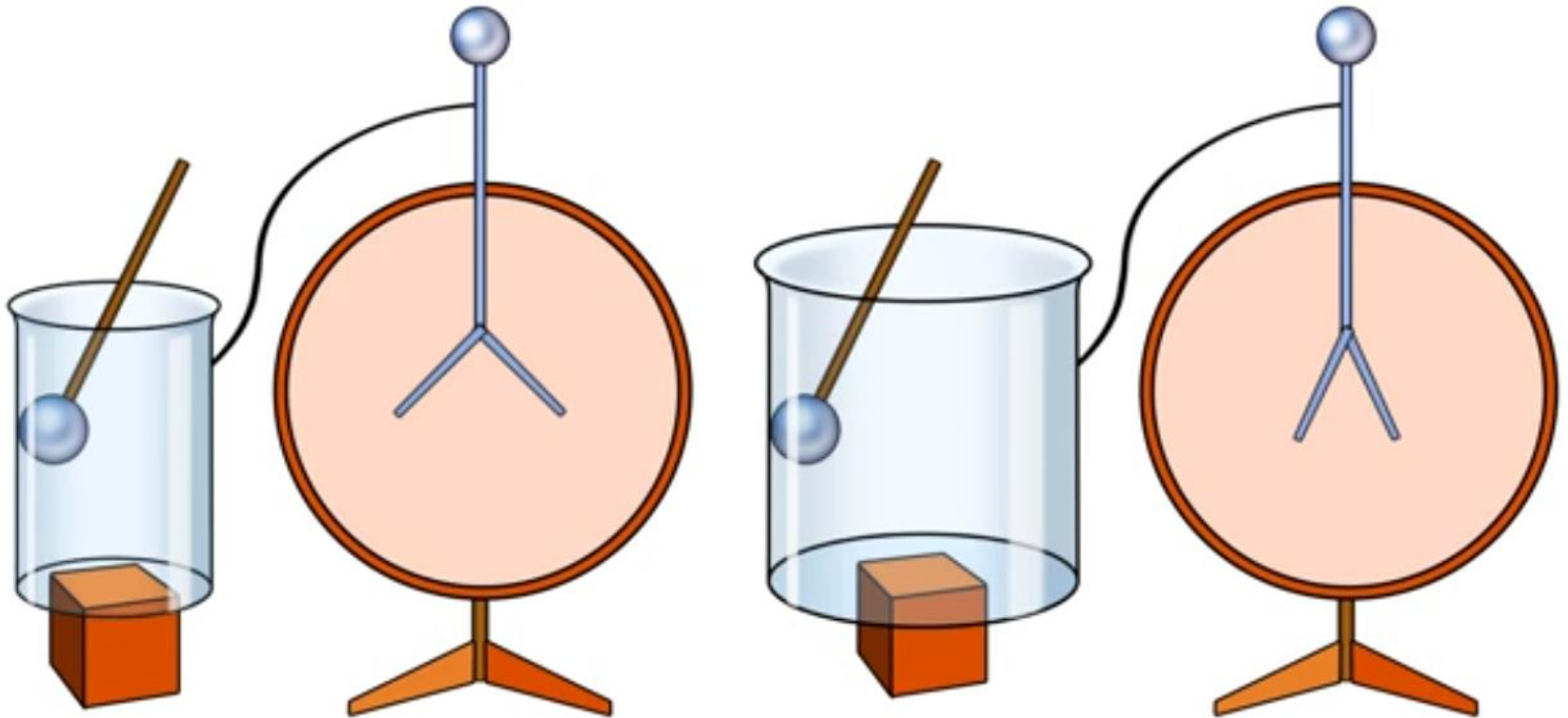
Пьезоэффект используется в акустоэлектронике для создания источников УЗ-волн, излучателей и приемников звука, в микрофонах, резонаторах, т.е. в тех случаях, когда необходимо преобразовать механические колебания в электрические или наоборот. Кроме того, в медицине пьезоэффект используют в датчиках для измерения **пульса**, в виброметрах – приборах для измерения вибраций. Поляризация диэлектриков при отсутствии электрического поля происходит не только в пьезоэлектриках, но также и в пироэлектриках, электретах.

Пироэлектрики – кристаллы, в которых изменение спонтанной поляризации происходит при изменении температуры. Типичный пироэлектрик – турмалин. В нем при изменении температуры **на 1 °С** возникает электрическое поле $E \sim 4 \cdot 10^4$ В/м. Пироэлектрики – приемники и индикаторы излучений.

Электреты – вещества, в которых продолжительное время вектор поляризации не равняется нулю, создавая в окружающем пространстве собственное электрическое поле. С этой точки зрения электреты подобны постоянным магнитам, которые создают собственное магнитное поле. Первый электрет был создан в 1922 г. японским физиком Егучи. Он расплавил вещество, состоящее из полярных молекул, поместил его в сильное электрическое поле, т.е. сориентировал дипольные моменты молекул, затем охладил. Это так называемые термоэлектреты. Существуют также фотоэлектреты, радиоэлектреты, механоэлектреты и т.п. Электреты применяют в качестве источников постоянного электрического поля, а также чувствительных датчиков в приборах дозиметрии, электронной памяти.

5 вопрос

Способность проводников или системы из нескольких проводников накапливать электрические заряды имеет большое практическое значение.



Данный опыт доказывает, что различные тела электризуются одним и тем же зарядом по-разному. И существует некоторая величина, которая показывает способность тела накапливать электрический заряд.

Электроемкость

Уединенный проводник – это проводник, расположенный так далеко от заряженных тел, что в месте нахождения нашего проводника полем других зарядов можно пренебречь. Потенциал уединённого проводника прямо пропорционален его заряду.

Коэффициент пропорциональности называют **электрической емкостью проводника**.

$$q = C \varphi$$

Електроємкость

Електроємкость характеризує здатність провідників накопичувати електричні заряди (а відповідно, і електроенергію).

Електроємкость – визначається кількістю електричествa, перенесеним на провідник, в результаті якого потенціал цього провідника змінився на одиницю (1 Вольт)

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

C – ємкість;

q – переданий заряд;

φ – потенціал, до якого зарядився провідник

Единицы измерения

СИ:

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

1 фарад – емкость проводника, у которого изменение заряда на 1 Кл вызывает изменение потенциала на 1В.

$$\& 1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$\& 1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$$

Электроемкость сферы

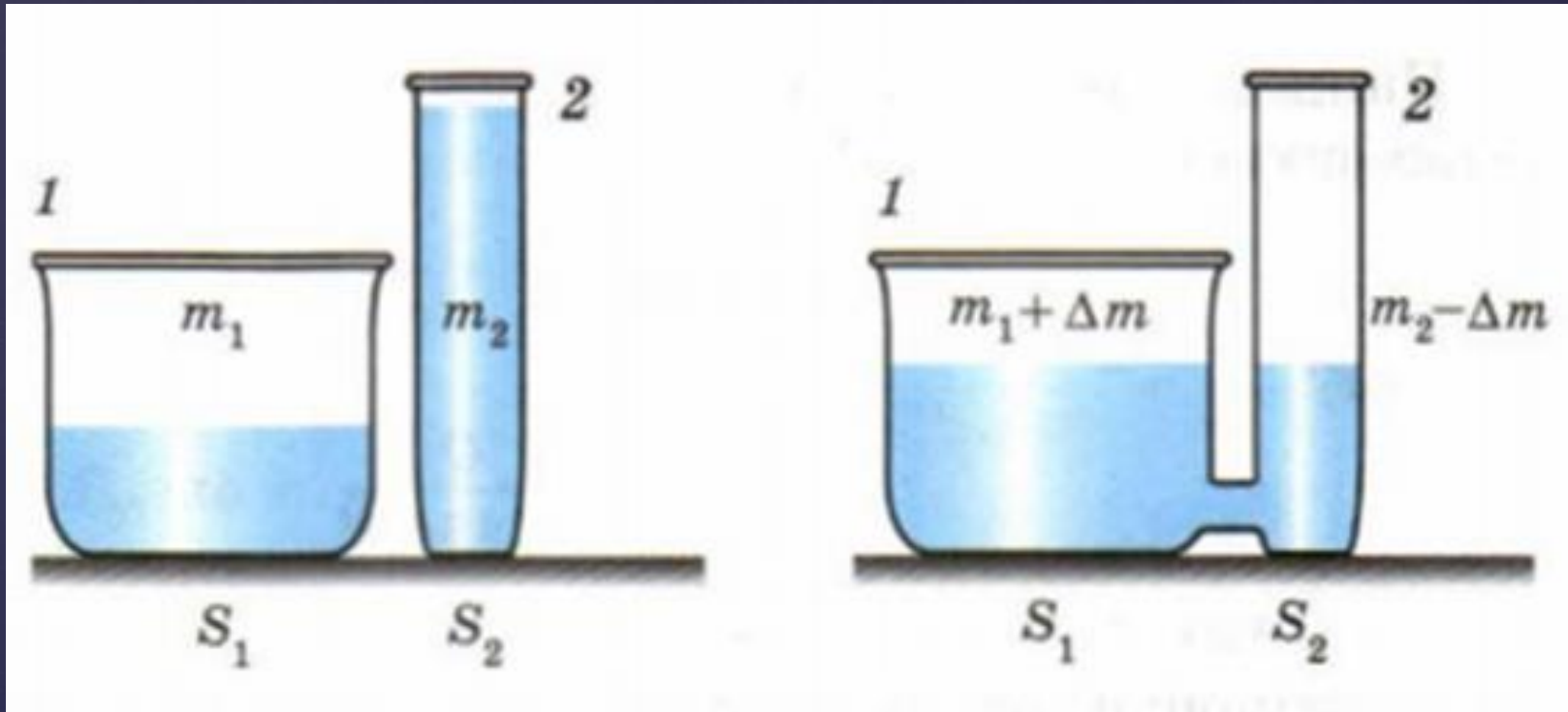
$$\varphi_{\text{сферы}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$C = \frac{q}{\varphi} = \frac{q \cdot 4\pi\epsilon_0 r}{q} = 4\pi\epsilon_0 r$$

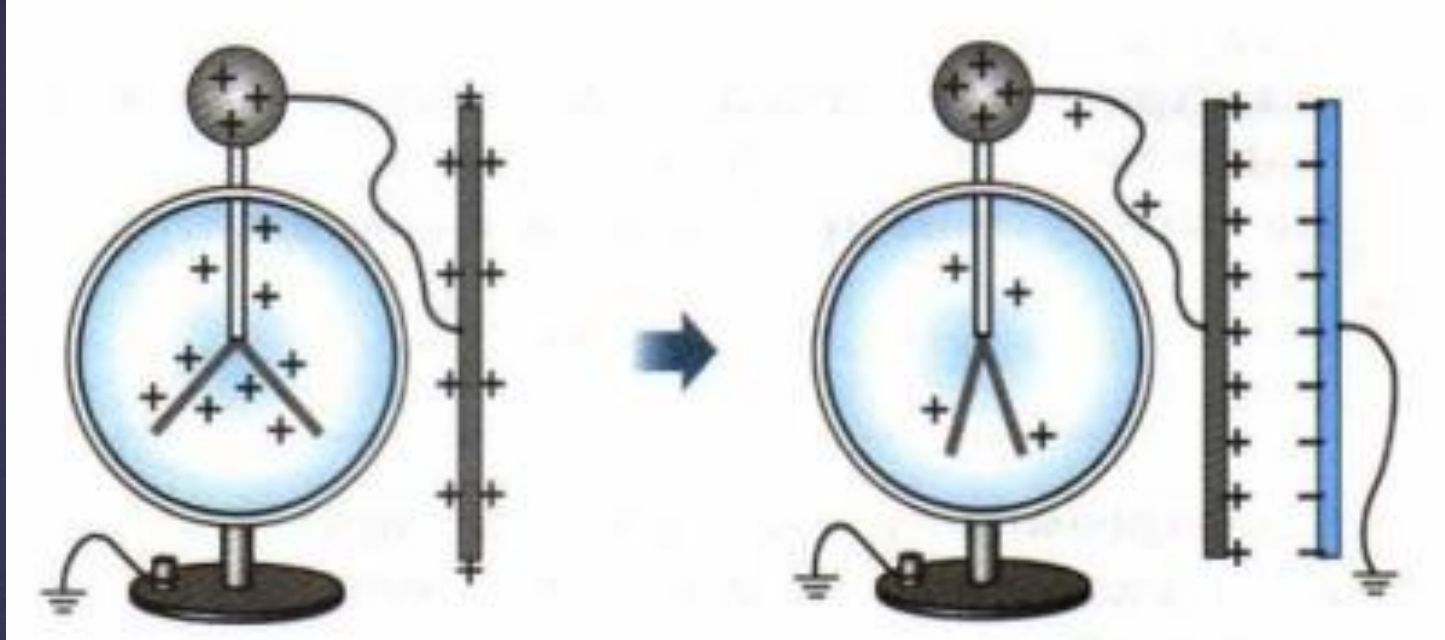
$$C_{\text{Земли}} = 4\pi\epsilon_0 R_{\text{Земли}}$$

$$C_{\text{Земли}} = 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 4 \cdot 10^{-12} \cdot 6,4 \cdot 10^6 = \underline{\underline{7,12 \cdot 10^{-4} \text{Ф}}}$$

Гидростатическая аналогия распределения зарядов на соединенных металлических сферах



Масса жидкости в сообщающихся сосудах пропорциональна их емкости



Присоединим положительно заряженную пластину к электроскопу.

При этом положительный заряд перераспределится между ними.

Придвинем теперь к заряженной пластине нейтральную заземлённую пластину.

На ближайшей к положительной пластине стороне индуцируются отрицательные заряды, положительные заряды стекают на Землю, имеющую значительную электрическую ёмкость.

Отрицательные заряды на заземленной пластине притягивают дополнительные положительные заряды к положительной пластине от электроскопа.

Таким образом, введение дополнительного проводника (заземлённой пластины) увеличивает способность системы накапливать заряды, т. е. увеличивает электроёмкость системы.

Конденсаторы

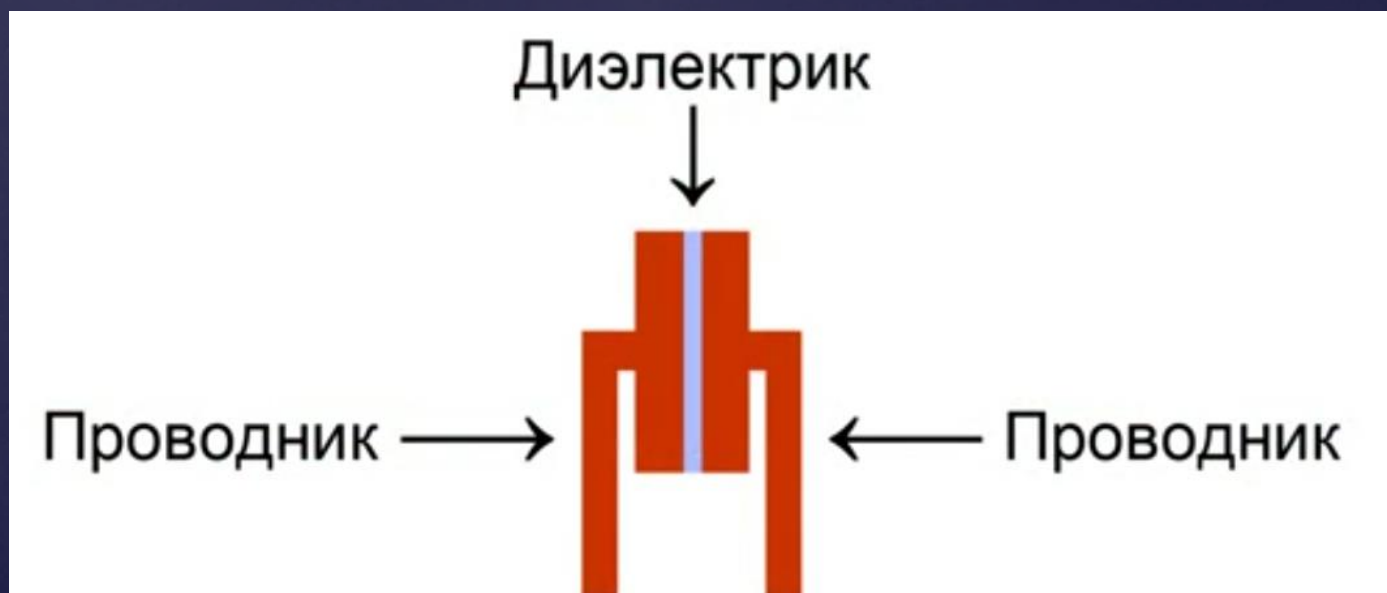
Существуют такие конфигурации проводников, при которых электрическое поле оказывается сосредоточенным (локализованным) лишь в некоторой области пространства. Такие системы называются **конденсаторами**, а проводники, составляющие конденсатор, – **обкладками**.



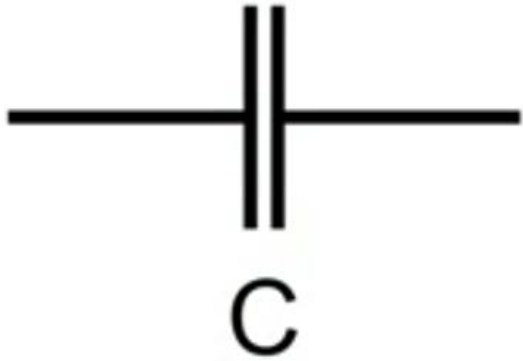
Конденсаторы

Конденсатор (сгущаю) – это устройство, специально предназначенное для накопления электрических зарядов.

Конденсатор – это система из двух проводников (обкладок), разделенных слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с линейными размерами проводников.

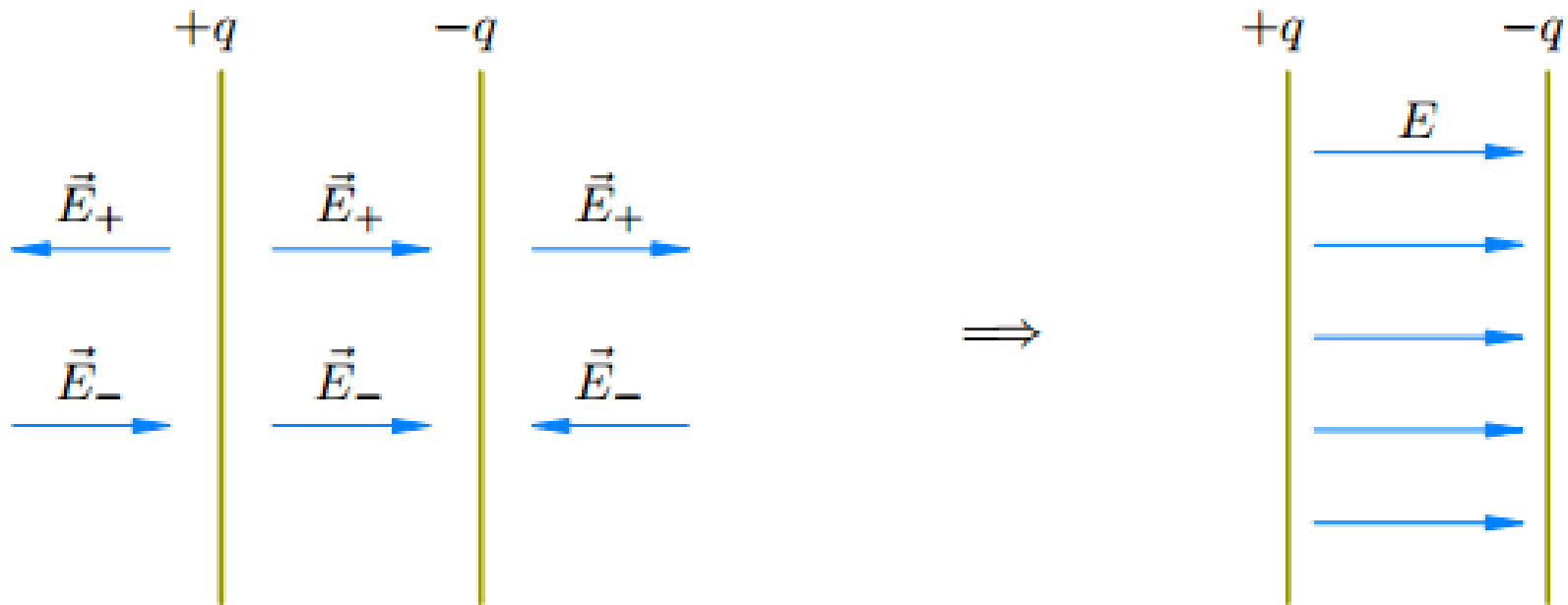


Изображение конденсатора на схемах



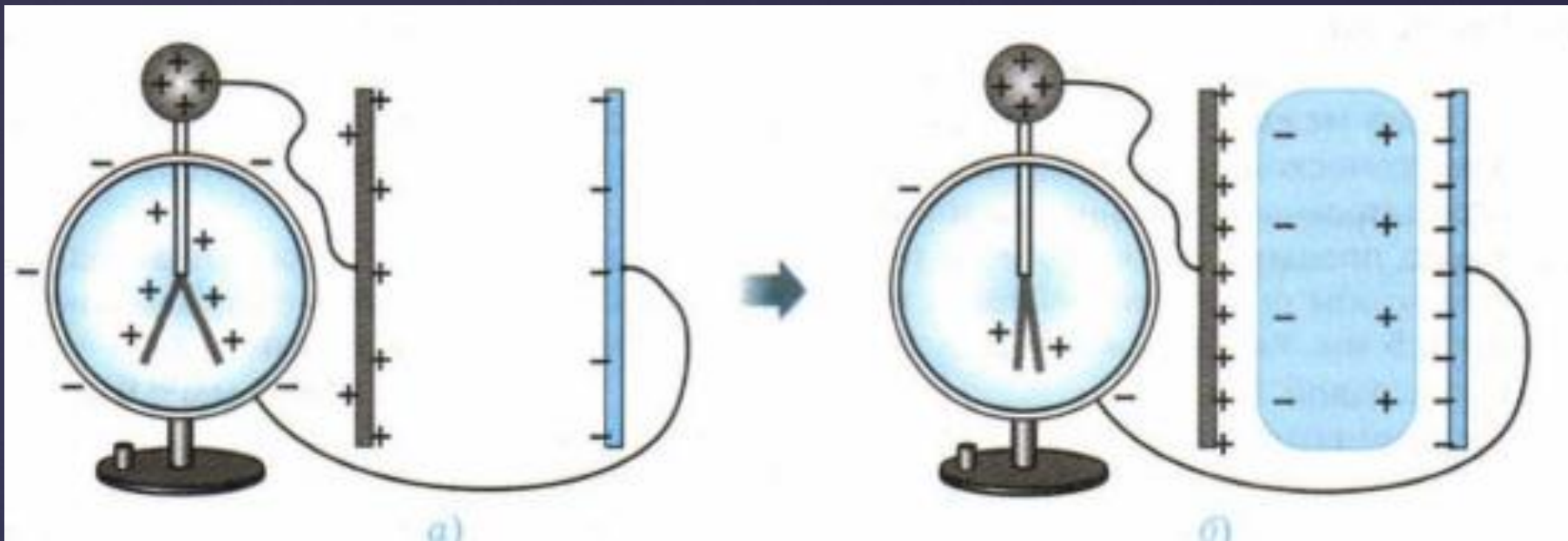
Обкладки конденсатора имеют равные и противоположные по знаку заряды, причем конфигурация проводников такова, что поле, ими создаваемое, сосредоточено в основном между проводниками.

Плоский конденсатор



Плоский конденсатор представляет собой систему из двух близко расположенных плоских пластин с разноименными равными по модулю зарядами.

Электроемкость плоского конденсатора



Если между пластинами конденсатора поместить диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ϵ , то электроёмкость конденсатора с диэлектриком возрастает в ϵ раз по сравнению с электроёмкостью воздушного конденсатора:

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

ϵ – диэлектрическая проницаемость диэлектрика, заполняющего конденсатор

Электроемкость конденсатора ЗАВИСИТ ОТ:

- размеров проводников;
- формы проводников;
- расстояния между ними;
- электрических свойств диэлектрика (ϵ).

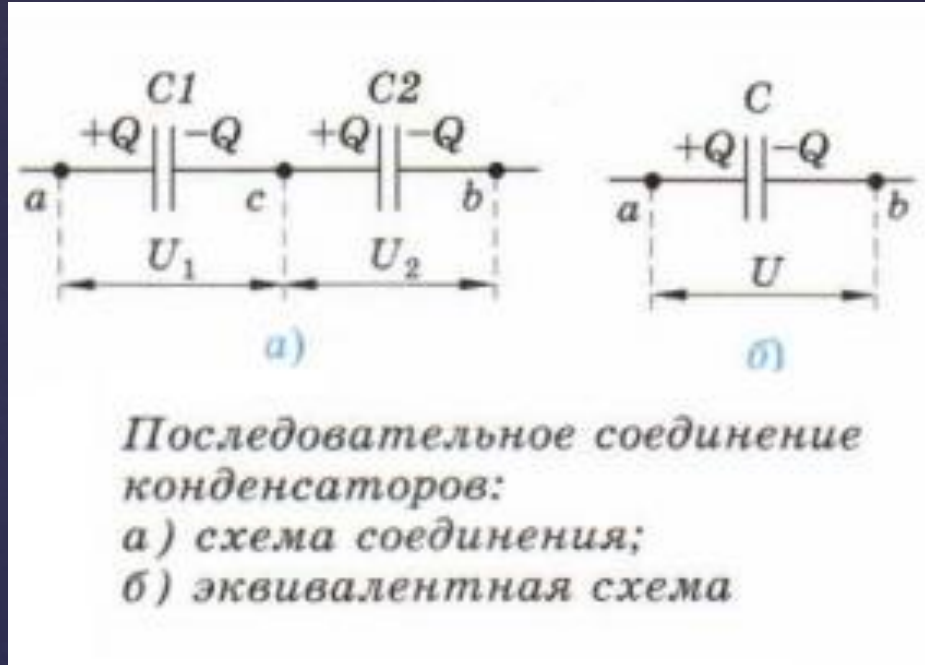
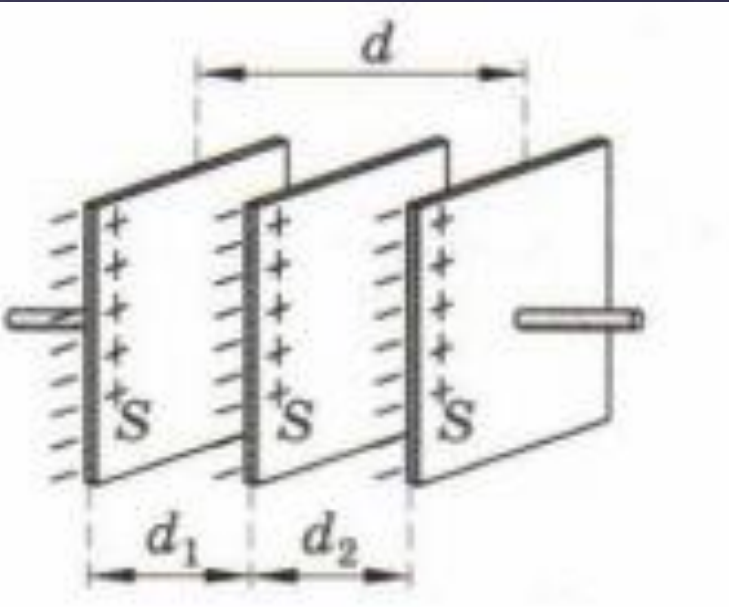
Электроемкость конденсатора
не зависит от:

‣ величины заряда;

‣ напряжения;

‣ материала проводников.

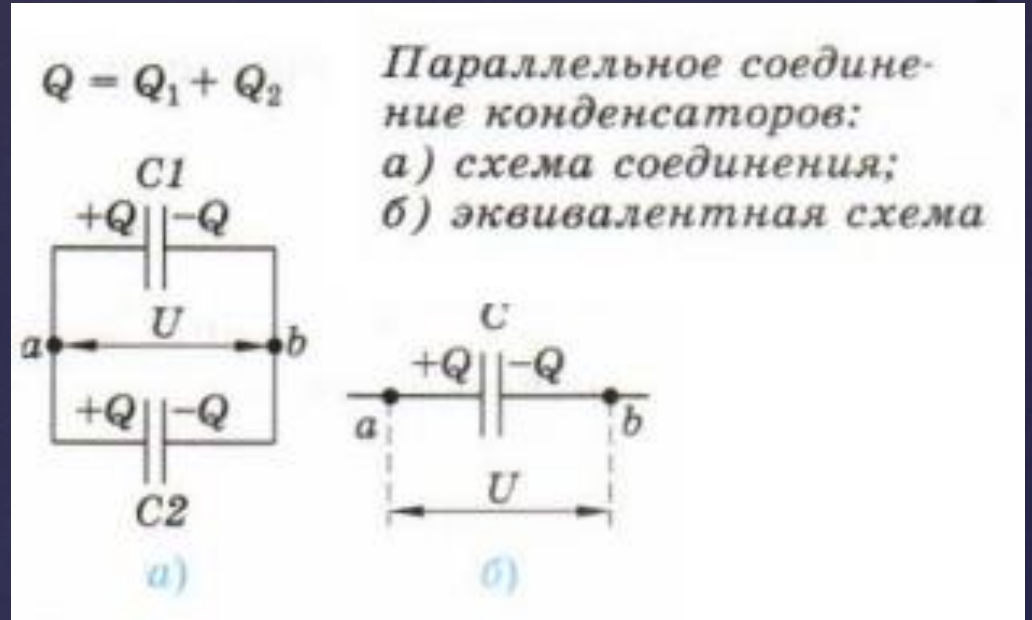
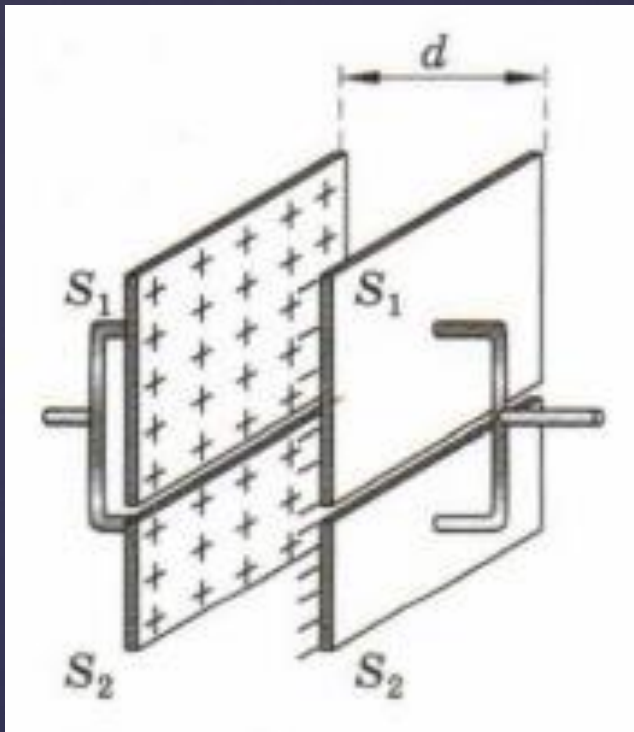
Последовательное соединение конденсаторов



Ёмкость батареи последовательно соединённых конденсаторов меньше ёмкости каждого конденсатора в отдельности.

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

Параллельное соединение конденсаторов



Ёмкость батареи параллельно соединённых конденсаторов больше ёмкости любого из этих конденсаторов.

$$C = C_1 + C_2$$

Виды конденсаторов

по виду диэлектрика

- Воздушные
- Слюдяные
- Керамические
- Электролитические

по форме обкладок

- Плоские
- Сферические
- Цилиндрические

по величине емкости

- Постоянные
- Переменные (подстроечные).

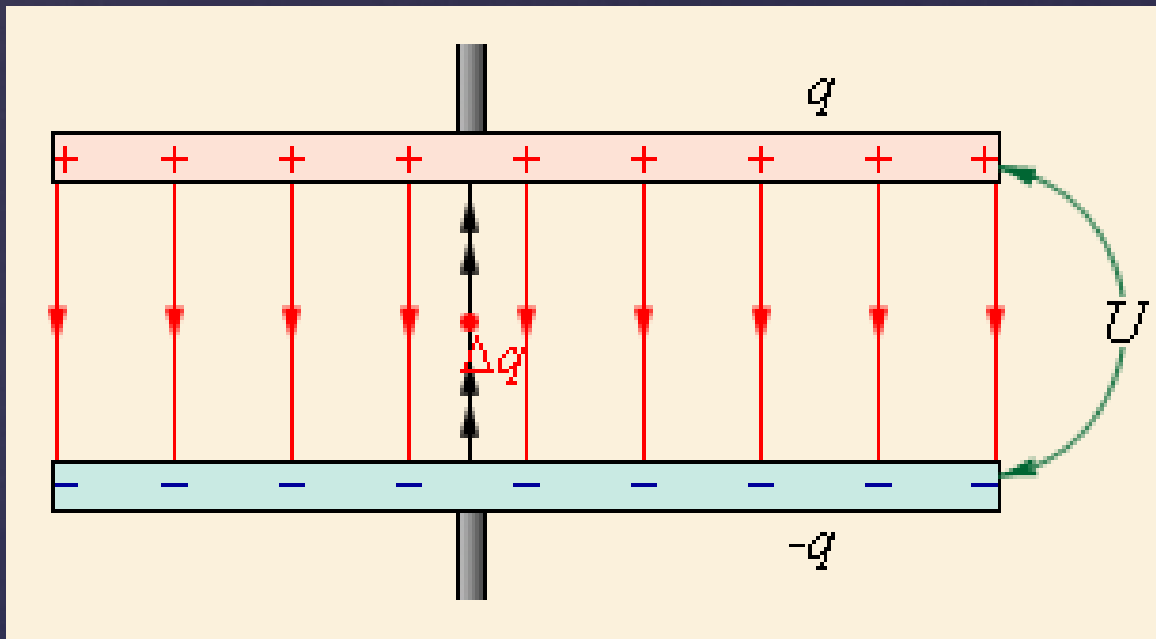
6 вопрос

Энергия электрического ПОЛЯ

Вся энергия заряженного конденсатора распределена в пространстве, где сосредоточено электрическое поле конденсатора.

Энергия заряженного конденсатора равна работе внешних сил, которую необходимо затратить, чтобы зарядить конденсатор.

Энергия заряженного конденсатора



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

Энергия электрического поля конденсатора

$$W_{nom} = \frac{q \cdot \Delta\varphi}{2}$$

$$W_{nom} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2 \cdot S \cdot d}{2} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2}{2} \cdot V$$

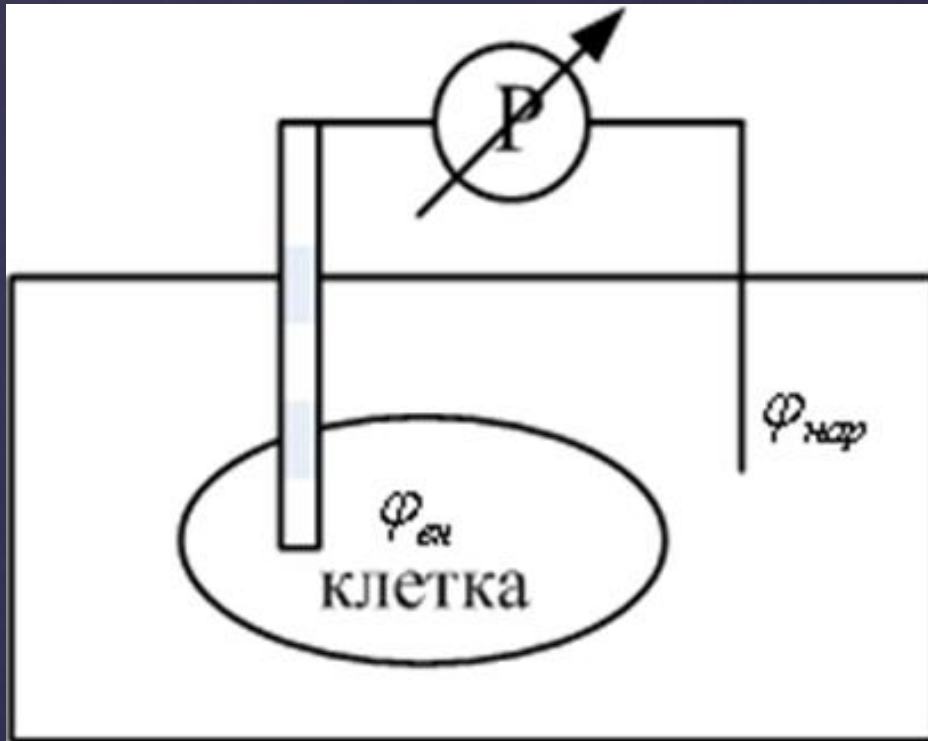
Плотность энергии

$$\omega = \frac{W}{V}$$

$$\omega_{\text{эл}} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2}{2}$$

7 вопрос

Мембранный биопотенциал



$$\Delta \varphi_m = \varphi_{вн} - \varphi_{нар}$$

Содержание ионов в нейроне

	Внутри клетки	Во внешней среде
Ионы натрия	50 ммоль/литр	440 ммоль/литр
Ионы калия	400 ммоль/литр	20 ммоль/литр

Работа, совершаемая при увеличении концентрации раствора при постоянной температуре

$$A = \frac{m}{M} R \cdot T \cdot \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$A = R \cdot T \cdot \ln \frac{c_2}{c_1}$$

Работа электрического поля по перемещению зарядов

$$A = q \cdot \Delta \varphi$$

$$q = F \cdot z$$

Формула Нернста

$$\Delta \varphi_m^p = - \frac{R \cdot T}{Z \cdot F} \cdot \ln \frac{c_{вн}}{c_{нар}}$$