

Тема 3. Заряженные проводники. Проводники в ЭСП.

П.1. Электростатическое поле заряженного проводника.

П.2. Два заряженных проводника. Конденсаторы.

П.3. Плоский конденсатор.

П.4. Электростатическая индукция (ЭСИ).

П.1. Электростатическое поле заряженного проводника.

Проблема: Что произойдет, если поместить электрический заряд на тело?

Исследования показали, что есть вещества, называемые *диэлектриками*, у которых передаваемый телу заряд остается в том месте, куда его разместили.

Есть также и другие вещества, называемые *проводниками*, которые обеспечивают изменение размещенного заряда в результате перемещения собственных свободных зарядов.

Перемещение продолжается до тех пор, пока не обратится в 0 напряженность электрического поля внутри проводника.

Поэтому в электростатике (при $t \rightarrow \infty$) заряженный проводник может иметь избыточный заряд только *на поверхности*.

Внутри проводящего тела электрическое поле отсутствует, т.е.
 $E_{\text{ВНУ}} = 0$.

Тогда $\Delta\phi_{\text{ВНУ}} = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{E}_{\text{ВНУ}} d\vec{r} = 0$ и $\phi_{\text{ВНУ}} = \text{const}$.

Поэтому можно ввести понятие потенциала тела:

$$\phi_{\text{ТЕЛА}} = \phi_{\text{ВНУ}} = \int_{\text{ПОВ. ТЕЛА}}^{\infty} \vec{E}_{\text{ВНЕ}} \cdot d\vec{r}.$$

Потенциал проводящего тела численно равен работе сил поля по перемещению единичного положительного (пробного) заряда от поверхности тела до выделенной точки r_0 (обычно на бесконечности), в которой потенциал принят за 0.

Задача: Связать потенциал и заряд тела.

Известно: напряженность поля в каждой точке пространства пропорциональна заряду, создающему поле $\vec{E}_i(\vec{r}) = \vec{k}_i(\vec{r}) \cdot q_i$.

Суммарная напряженность поля вне тела:

$$\vec{E}_{ВНЕ}(\vec{r}) = \vec{k}(\vec{r}) \cdot \sum_{i=1}^N q_i = \vec{k}(\vec{r}) \cdot Q_{ТЕЛА}.$$

Потенциал тела получим после интегрирования. Он также пропорционален заряду:

$$\phi_{ТЕЛА} = \frac{Q_{ТЕЛА}}{C}.$$

Таким образом, потенциал тела прямо пропорционален заряду и обратно пропорционален некоторой константе тела, которую называют электроемкостью (емкостью) тела:

ТЕСТ

$$C = \frac{Q_{ТЕЛА}}{\phi_{ТЕЛА}}.$$

Емкость проводящего тела численно равна отношению заряда тела к его потенциалу.

ЗАМЕЧАНИЕ: Любое проводящее тело имеет емкость; диэлектрик не имеет емкости, т.к. для диэлектрика нельзя ввести понятие единого потенциала тела.

ТЕСТ

П.2. Два заряженных проводника. Конденсаторы.

ПРОБЛЕМА: Как накопить электрический заряд самым безопасным способом?

Решение (плохое) : использовать одно проводящее тело.

Причина: Заряженное тело создает вокруг себя электрическое поле, величина которого пропорциональна заряду.

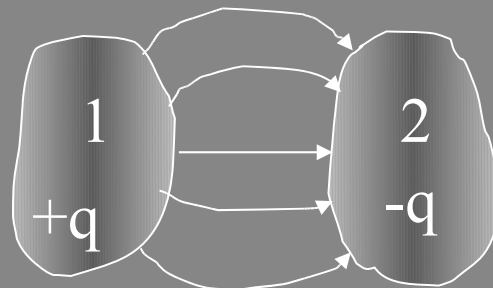
Если напряженность поля превысит «пробойное» значение, воздух превратится в проводник и заряд тела исчезнет через канал искрового разряда. Человек может пострадать!

Этот разряд называется молнией, если заряд накапливается в облаках.

ТЕСТ

ТЕСТ

Решение проблемы: взять 2 тела, зарядить их одинаковыми по величине, но разными по знаку зарядами, и придать им соответствующую форму:



Конденсатор – устройство для накопления электрических зарядов при минимальном электрическом поле вне конденсатора.

В качестве конденсатора можно использовать два проводящих тела, имеющих такую форму и расположенных так близко, что при зарядении этих тел одинаковыми по величине и противоположными по знаку зарядами электрическое поле будет сосредоточено в основном между телами.

ТЕСТ

Задача: связать заряд на каждой пластине конденсатора с ее потенциалом.

Найдем разность потенциалов двух заряженных тел:

$$U_{12} = \phi_1 - \phi_2 = \int_1^{\infty} \vec{E} d\vec{L} - \int_2^{\infty} \vec{E} d\vec{L} = \int_1^{\infty} \vec{E} d\vec{L} + \int_{\infty}^2 \vec{E} d\vec{L} = \int_1^2 \vec{E} d\vec{L}.$$

\vec{E} - напряженность суммарного поля. Она зависит от каждого заряда.

Но у двух пластин конденсатора одинаковые по величине (но противоположные по знаку) заряды $q_1 = q$, $q_2 = -q$, поэтому

$E \sim q$ и $U_{12} \sim q$:

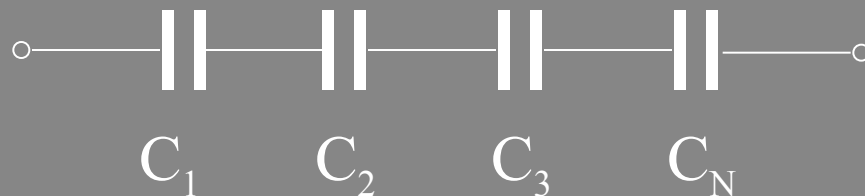
$$U_{12} = \frac{q}{C_{12}}.$$

Коэффициент пропорциональности где C_{12} – взаимная емкость двух тел.

Замечание: Емкость конденсатора это взаимная емкость двух тел (пластин), образующих конденсатор.

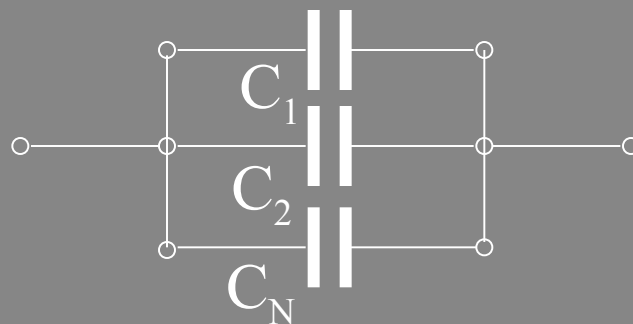
Последовательное соединение

$$\frac{1}{C_{ОБЩ}^{ПОСЛ}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$$



Параллельное соединение

$$C_{ОБЩ}^{ПАР} = \sum_{i=1}^N C_i$$

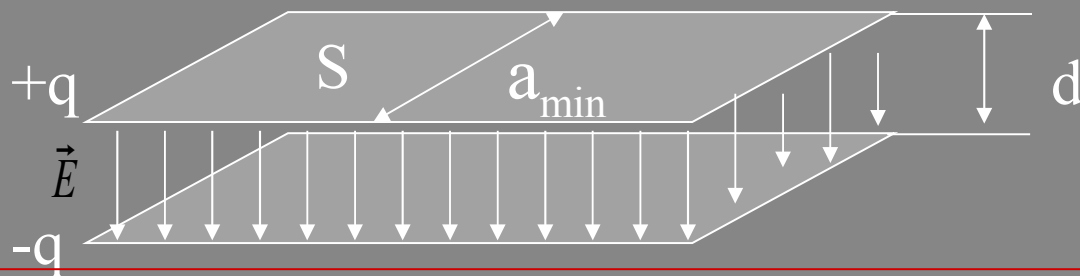


СРС. Вывести формулы для параллельно и последовательно соединенных конденсаторов.

П.3.Плоский конденсатор.

Проблема: Сконструировать простейший конденсатор и найти его емкость.

Решение – взять 2 плоские пластины, выполненные из проводника, и закрепить их параллельно друг другу с помощью диэлектрических элементов крепежа.



Плоским конденсатором называется устройство, состоящее из двух проводящих плоских пластин, расположенных параллельно на малом расстоянии друг от друга $d \ll a_{min}$.

Задача: Вычислить емкость плоского конденсатора.

Между пластинами плоского конденсатора существует однородное электрическое поле.

Используем: $U_{12} = \frac{q}{C_{12}}$ - связь напряжения с зарядом и емкостью;

$U_{12} = Ed$ - связь напряжения с напряженностью поля для однородного поля в конденсаторе;

$\sigma = \frac{q}{S}$ – определение поверхностной плотности заряда.

$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ - связь напряженности поля с плотностью заряда;

СРС ¼ стр. Вывести это соотношение, используя закон Гаусса.

$$U_{12} = E \cdot d = \frac{\sigma \cdot d}{\varepsilon_0} = \frac{q \cdot d}{S \varepsilon_0} = \frac{q}{C_{12}}$$

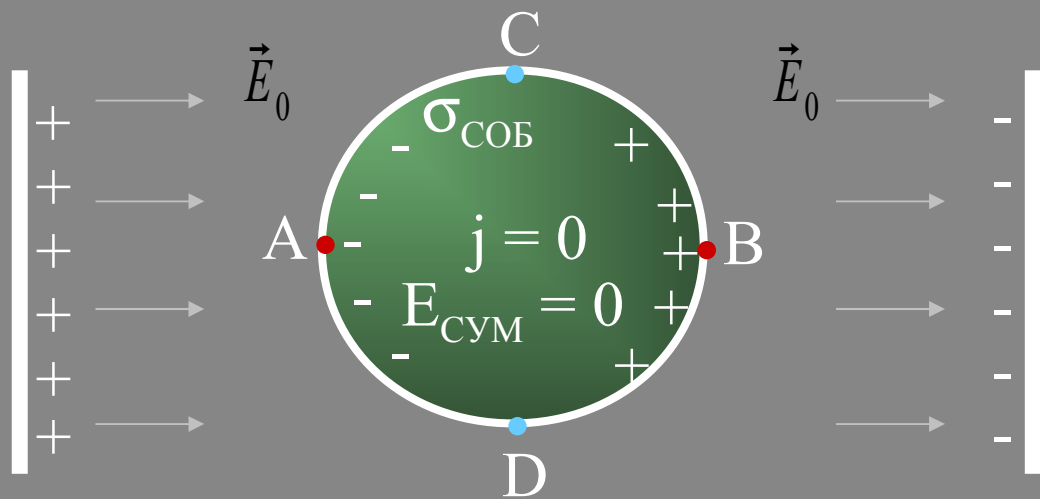
Отсюда $C_{12} = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$ – формула емкости плоского конденсатора.

ЗАМЕЧАНИЕ: Данный способ (алгоритм) определения емкости системы проводников является универсальным. Таким же способом определяется, например, емкость сферического конденсатора.

П.4.Электростатическая индукция (ЭСИ).

ПРОБЛЕМА: Что произойдет, если проводящее тело поместить в ЭСП?

Электростатической индукцией (ЭСИ) называется *явление перераспределения свободных зарядов в проводнике, помещенном во внешнее электрическое поле.*



Внутри проводника не может быть тока, поэтому $j = 0$ и $E_{\text{СУМ}} = 0$.

Выделим характерные точки

Внутри проводника

$$\vec{E}_{\text{СУМ}} = 0,$$

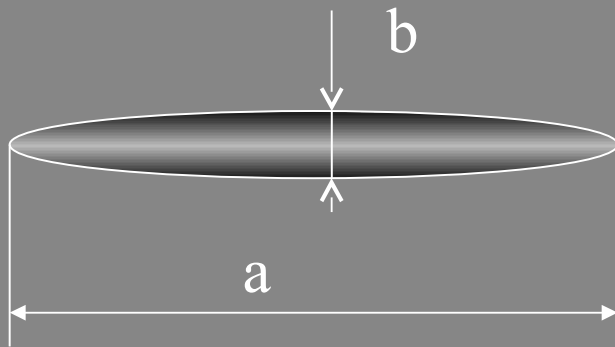
$$\vec{E}_{\text{СУМ}} = \vec{E}_0 + \vec{E}_{\text{СОБ}} = 0,$$

$$E_A = E_B = E_{\text{СУМ}}^{\text{MAX}} = kE_0 > E_0,$$

$$E_C = E_D < E_0.$$

Расчет для тел простой формы дает:

Для шара $k = 3$. Для эллипсоида вращения



$$k = \left(\frac{a}{b}\right)^2 \left(\ln \frac{2a}{b} - 1\right)^{-1}.$$

Атмосферное электричество

Частный случай – самолет и электрическое поле атмосферы.

Возможно резкое усиление поля в носовой и хвостовой частях самолета.

1-й источник поля – Земля (несет отрицательный заряд);

2-й источник поля – облака.

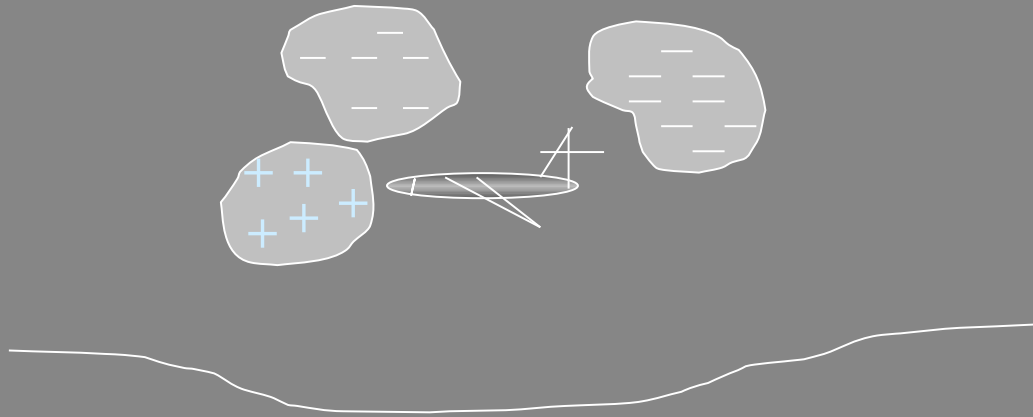
В обычном состоянии атмосфера – диэлектрик, но она может перейти в состояние проводника при пробое.

При атмосферном давлении пробой в воздухе имеет вид искрового разряда и называется молнией.

Условие возникновения пробоя (молнии) – напряженность поля выше критической ($E > E_{\text{пр}}$). Пробойное поле $E_{\text{пр}} \approx 10^6 \text{ В/м}$.

В облаках возникают заряды из-за тепловых потоков.

Они разделяются: в одной зоне “+”, в другой “-”.



Самолет подлетает к заряженной области, в результате явления электростатической индукции усиливает поле и инициирует разряд атмосферного электричества.

Последствия могут быть следующие:

1) Легкие (сколы краски, возникновение точечных оплавлений, выгорание элементов в разрядниках статического поля) .

Для предотвращения разрушения носовой части, там расположены молниезащитные шины.

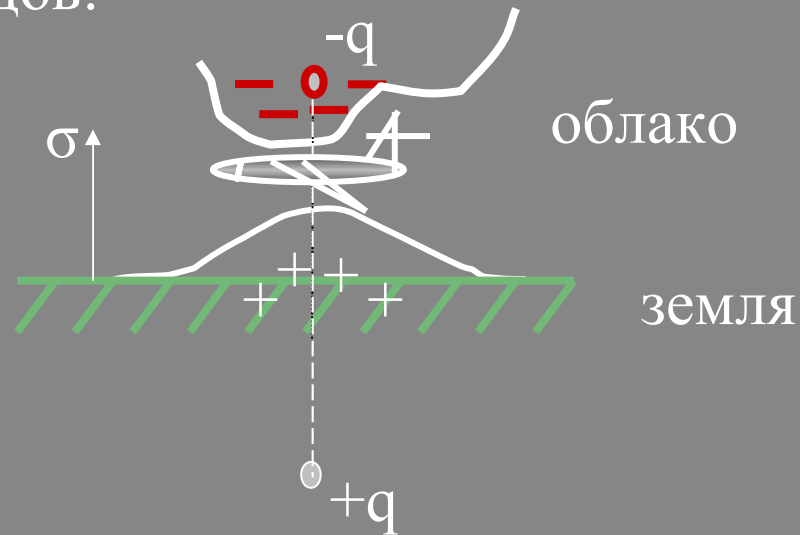
2) Средние.

Различные нарушения в работе бортового оборудования (компьютеры, связное и навигационное оборудование, токопроводы).

3) Тяжелые.

Пампаж (остановка) двигателей, взрыв топлива внутри топливного бака.

Поле, возникающее, когда заряд располагается вблизи проводящей поверхности, эквивалентно полю двух точечных зарядов:



Следствие: Самое сильное поле будет под центром заряда в облаке. Здесь самое опасное для пробоя (т.е. поражения самолета разрядом атмосферного электричества) место.