

ЛЕКЦИЯ 4

05 марта 2013г.

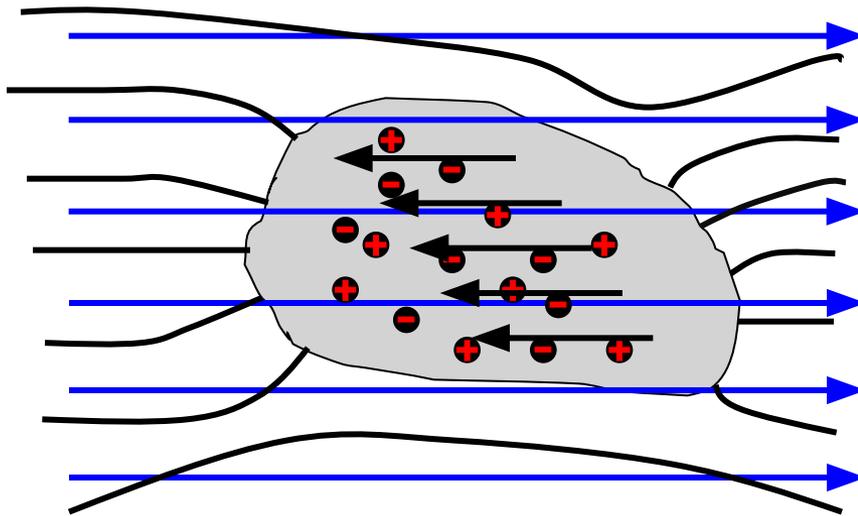
Электростатика

План лекции

1. Проводники в электростатическом поле.
2. Емкость. Конденсаторы.
3. Энергия электрического поля.
4. Электрический ток. Сила и плотность тока.
5. Электродвижущая сила (ЭДС). Источники ЭДС.
6. Закон Ома. Сопротивление проводников.
7. **Мощность тока. Закон Джоуля – Ленца.**

Проводники в электрическом поле

Вещества, у которых под действием электрического поля преобладающим является процесс неограниченного движения зарядов, называются **проводниками**.



При внесении проводника в электростатическое поле носители заряда приходят в движение: \oplus - в направлении вектора E , \ominus - в обратную сторону.

У концов проводника собираются заряды противоположного знака

Это индуцированные заряды. Процесс их возникновения называется электростатической индукцией

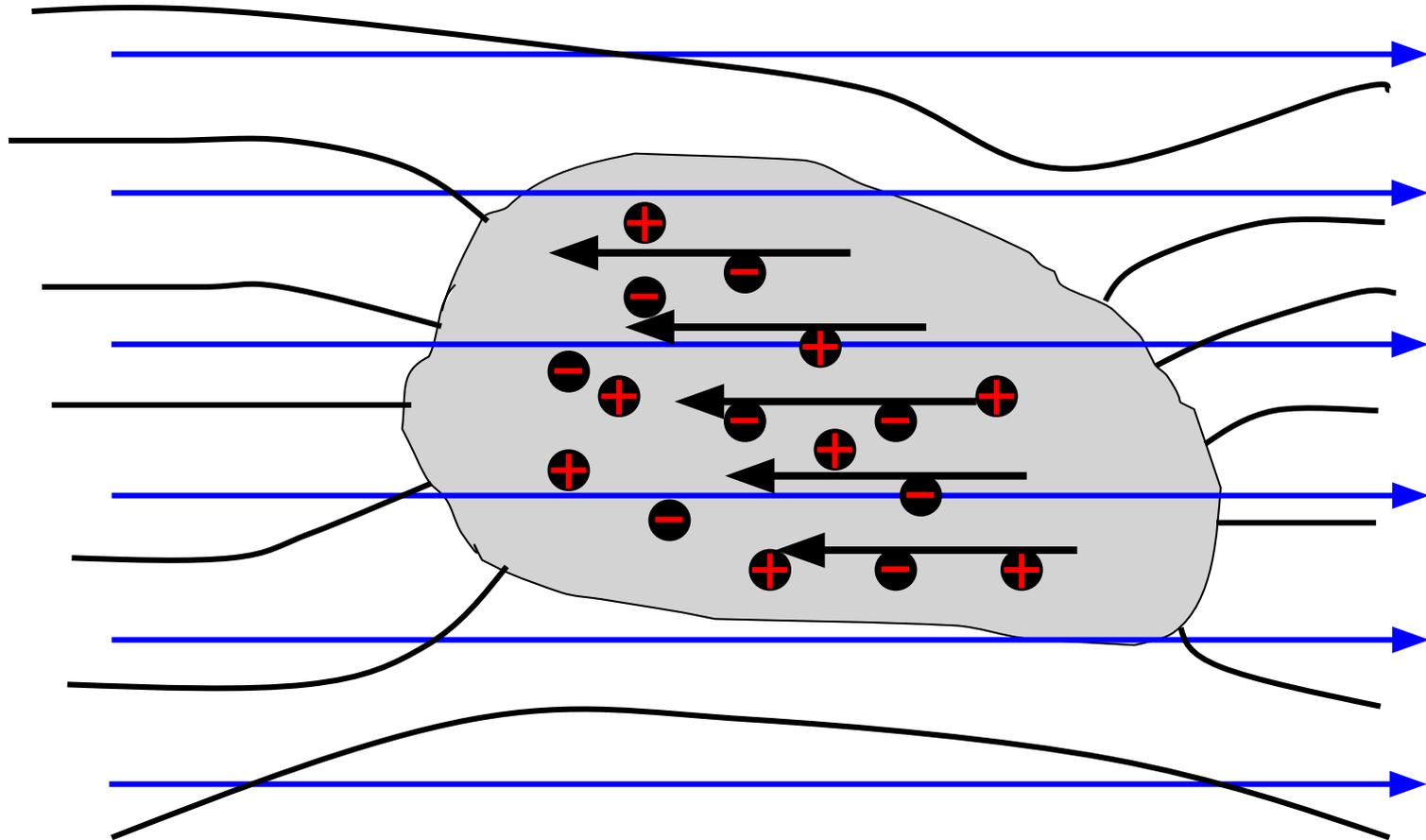


- линии напряженности внешнего поля без проводника

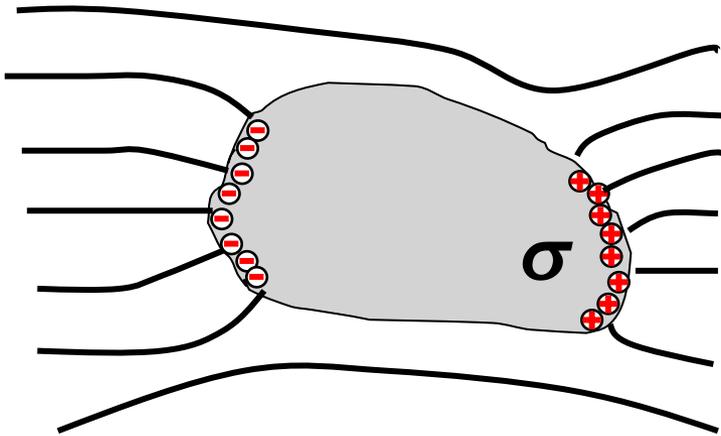


- линии напряженности внешнего поля с проводником

Проводники в электрическом поле



Проводники в электрическом поле



Заряды - в поверхностном тонком слое проводника и характеризуются поверхностной плотностью σ .

Проводник *эквипотенциален*.

Если внутри проводника имеется полость, то поле внутри полости отсутствует. Эффект **электростатической защиты**.

Вблизи поверхности проводника:

$$E = \sigma / \epsilon\epsilon_0$$

Проводники в электрическом поле

Емкость уединенного проводника.

Если проводнику сообщить дополнительный заряд, то он распределяется по его поверхности подобно предыдущему заряду.

Это справедливо, если проводник уединен, (окружающие тела не влияют на распределение зарядов).

Потенциал уединенного проводника пропорционален заряду $q = C\phi$

C - *электрическая емкость* уединенного проводника.

Электрическая емкость уединенного проводника - мера его способности накапливать электрический заряд.

$$C = dq/d\phi$$

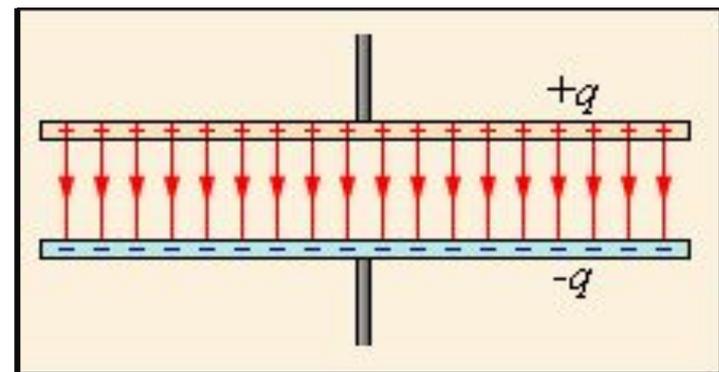
Единица емкости – *фарад*. В СИ: 1 фарад - емкость проводника потенциал которого изменяется на 1 вольт при сообщении проводнику заряда в 1 Кулон.

Проводники в электрическом поле

Конденсаторы.

Конденсаторы - устройства, имеющие большую, не зависящую от окружающих тел емкость.

Конденсаторы – это два проводника, расположенных близко друг к другу. Проводники называют **обкладками**.



Емкость такого конденсатора:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} \quad \Delta\varphi = \frac{\sigma d}{\varepsilon\varepsilon_0} \quad C = \frac{q}{\Delta\varphi}$$

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

Проводники в электрическом поле

Конденсаторы.



Энергия электрического поля

Потенциальная энергия пробного заряда, помещенного в электрическое поле заряда q :

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_{пр}}{r}$$

Рассмотрим энергию взаимодействия *системы точечных зарядов, непрерывно распределенных зарядов, заряженных проводников.*

Энергия взаимодействия электрических зарядов - энергия, за счет которой совершается работа при взаимных перемещениях заряженных частиц.

Эта энергия количественно равна работе, которую совершают силы взаимодействия при разнесении всех частиц системы на бесконечные расстояния друг от друга.

Энергия электрического поля

Рассмотрим систему заряженных частиц состоящую из двух частиц.

W_{12} - энергия первой частицы в поле второй;

W_{21} - энергия второй частицы в поле первой.

Очевидно, что $W_{12} = W_{21} = W_p \longrightarrow \frac{1}{2}(W_{12} + W_{21}) = W_p$

Выражение для энергии взаимодействия многих частиц:

$$W_p = \frac{1}{2} \sum_i W_{pi},$$

где W_{pi} - потенциальная энергия i -ой частицы в полях всех остальных частиц системы.

Энергия взаимодействия системы зарядов называется **электрической энергией** этой системы.

Энергия электрического поля

Энергия взаимодействия системы точечных зарядов

Потенциал электрического поля - это отношение потенциальной энергии заряда в электрическом поле к величине заряда:

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


для энергии взаимодействия системы точечных зарядов:

$$W_p = \frac{1}{2} \sum_i W_{pi} = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i$$


$$W_p = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i$$

где φ_i - полный потенциал, созданный всеми остальными зарядами системы в точке, где расположен заряд q_i .

Энергия электрического поля

Энергия заряженного конденсатора

Параметры конденсатора:

$+q, \varphi_1$ и $-q, \varphi_2$ - заряды и потенциалы обкладок.

Применим формулу для энергии взаимодействия системы зарядов:

$$W_p = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i$$

Результат:

$$W_p = \frac{1}{2} [(+q)\varphi_1 + (-q)\varphi_2] = \frac{1}{2} q(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{1}{2} qU$$

$$W_p = \frac{1}{2} qU$$

$$C = q/U$$



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

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Если через некоторую поверхность переносится заряд, то через эту поверхность протекает *электрический ток*.

Ток проводимости - ток, образованный направленным движением свободных зарядов под действием электрического поля.

Сила тока - заряд, переносимый через поверхность в единицу времени.

Если за время dt через поверхность переносится заряд dq , то сила тока равна:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Сила тока *в проводнике* измеряется зарядом, который переносится в единицу времени через поперечное сечение проводника. Скалярная величина. Направление тока совпадает с направлением движения положительных зарядов. В СИ ток измеряется в *Амперах*.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Плотность тока \vec{j} - векторная величина, которая характеризует интенсивность и направление переноса заряда в любой точке поверхности S .

Плотность тока – вектор, направленный в сторону движения положительных зарядов и численно равный величине заряда dq , ежесекундно переносимого через единичную площадку dS_{\perp} , перпендикулярную к направлению движения зарядов.

$$\vec{j} = \frac{dq}{dt dS_{\perp}} \vec{v}^0$$

\vec{v}^0 - единичный вектор направления движения зарядов.

Если вектор плотности тока известен в каждой точке пространства, можно найти силу тока через любую поверхность S :

$$I = \int_S (\vec{j}, d\vec{S})$$

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС)

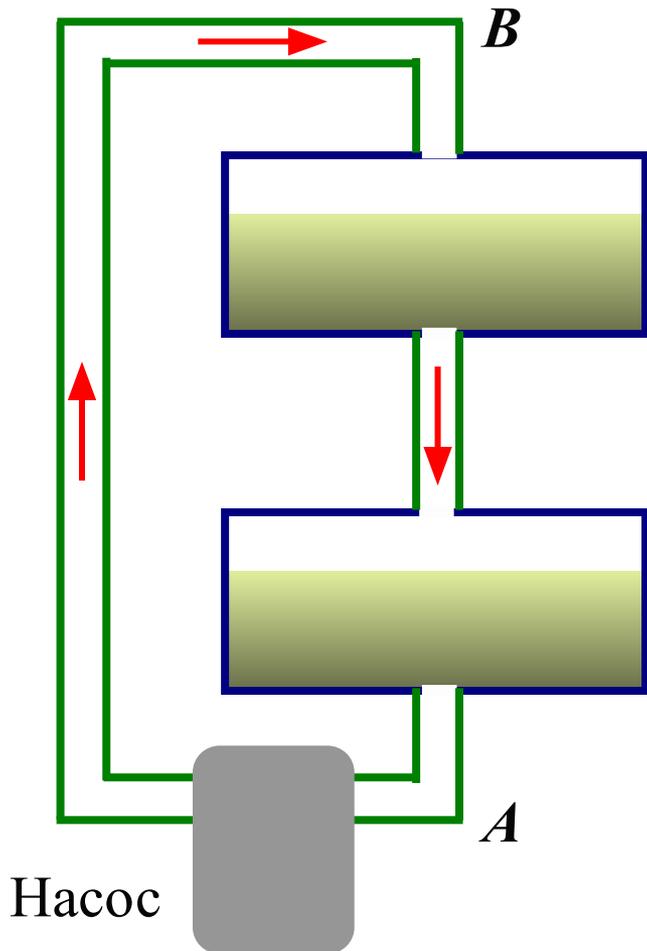
Электростатическое поле не может поддерживать в проводнике постоянный электрический ток.

Необходимо создать условия для кругооборота зарядов. Должна быть совершена работа против сил электрического поля.

Такая работа может совершаться только за счет сил, имеющих не электростатическую природу.

Силы, поддерживающие постоянный электрический ток, называются **сторонними электродвижущими силами (ЭДС)**.

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС)



Источник сторонних сил в цепи тока необходим, как, к примеру, насос для создания постоянной циркуляции жидкости в гидравлической системе.

От *A* до *B* вода движется против силы тяжести, под действием сторонних сил, создаваемых насосом.

От точки *B* до точки *A* вода движется под действием силы тяжести.

Роль насоса в электрической цепи играет источник сторонних сил.

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС)

Природа сторонних ЭДС: механическая, химическая, электромагнитная и т.д.

Устройства для получения сторонних ЭДС – это источники ЭДС.

Способность источников вызывать электрический ток определяется *электродвижущей силой*.

Электродвижущая сила \mathcal{E} - работа, совершаемая сторонними силами источника по перемещению единичного положительного заряда внутри источника от отрицательного полюса к положительному.

Если A - это работа сторонних сил над зарядом, то $\mathcal{E} = A/q$.
Следовательно, размерность \mathcal{E} совпадает с размерностью потенциала.

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС)

Величина, численно равная работе, совершаемой электростатическими и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда - *падение напряжения* U на участке цепи.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + E$$

Участок цепи, на котором на носители заряда не действуют сторонние силы - однородный.

Участок цепи, на котором на носители заряда действуют сторонние силы - неоднородный.

Для однородного участка цепи

$$E = 0 \longrightarrow$$

$$U = \varphi_1 - \varphi_2$$

Т.е. напряжение совпадает с разностью потенциалов на концах участка.

ЗАКОН ОМА. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ.

Экспериментально установлен закон:

Сила тока, текущего по однородному металлическому проводнику, пропорциональна падению напряжения на проводнике.

$$I = \frac{1}{R} U$$

R - электрическое сопротивление проводника. Единица сопротивления – Ом, равный сопротивлению проводника, в котором при напряжении в 1 Вольт течет ток 1 Ампер.

R зависит от формы, размеров, свойств материала проводника

Для цилиндрического проводника длиной l , с площадью поперечного сечения S , изготовленного из материала с однородными свойствами:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ - удельное электрическое сопротивление проводника. В СИ измеряется в Ом*м.

ЗАКОН ОМА. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ.

Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \sigma \vec{E}$$

Для большинства материалов, проводящих ток, $\sigma \sim 1/T$

Сверхпроводимость материалов: у большой группы металлов и сплавов при температурах, близких к нулю, удельное сопротивление скачком обращается в нуль.

ЗАКОН ОМА. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ.

Падение напряжения на участке цепи $U = \varphi_1 - \varphi_2 + E$

Можем записать закон Ома для неоднородного участка цепи в виде:

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + E$$

Здесь ЭДС E и сила тока I величины алгебраические, при расчете электрических цепей учитывается направление носителей тока.

Если в законе Ома для неоднородного участка цепи $\varphi_1 = \varphi_2$, то

$$I = \frac{E}{R}$$

E - ЭДС, действующая в цепи,

R - суммарное сопротивление всей цепи.

МОЩНОСТЬ ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА

ИЗУЧИТЬ САМОСТОЯТЕЛЬНО!