

# ПОТЕНЦИАЛ. РАБОТА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Преподаватель: Бахмат С.А.

# Работа электростатического поля

Рассмотрим ситуацию: заряд  $q_0$  попадает в электростатическое поле. Это электростатическое поле тоже создается каким-то заряженным телом или системой тел, но нас это не интересует. На заряд  $q_0$  со стороны поля действует сила, которая может совершать работу и перемещать

$$A = \vec{F} \vec{s} \cos \alpha = \left[ \vec{F} = \vec{E} q_0 \right] = \vec{E} q_0 \vec{s} \cos \alpha$$

$A$  – работа электростатического поля

$\vec{E}$  – напряженность поля

$q$  – заряд, который находится в поле

$\vec{s}$  – перемещение заряда

$\alpha$  – угол между векторами  $\vec{E}$  и  $\vec{s}$

$$[A] = 1 \text{ Дж}$$

$$[E] = 1 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$[q] = 1 \text{ Кл}$$

$$[s] = 1 \text{ м}$$

$$A = \vec{E} q \vec{s} \cos \alpha$$

# Работа электростатического поля

Работа электростатического поля не зависит от траектории. Работа поля при перемещении заряда по замкнутой траектории равна нулю. По этой причине силы электростатического поля называются *консервативными*, а само поле называется *потенциальным*.

# Потенциал

Система "заряд - электростатическое поле" или "заряд - заряд" обладает потенциальной энергией, подобно тому, как система "гравитационное поле - тело" обладает потенциальной энергией.

Физическая скалярная величина, характеризующая энергетическое состояние поля называется *потенциалом* данной точки поля. В поле помещается заряд  $q$ , он обладает потенциальной энергией  $W$ . Потенциал - это характеристика электростатического

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

$\varphi$  - потенциал электростатического поля

$W$  - потенциальная энергия поля

$A$  - работа по перемещению заряда из данной

точки поля на нулевой уровень потенциальной энергии

$q$  - заряд, который находится в поле

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

$$[W] = 1 \text{ Дж} \quad [q] = 1 \text{ Кл} \quad [\varphi] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1 \text{ В (Вольт)}$$

# Потенциал

Вспомним потенциальную энергию в механике.

Потенциальная энергия равна нулю, когда тело находится на земле. А когда тело поднимают на некоторую высоту, то говорят, что тело обладает потенциальной энергией.

Касательно потенциальной энергии в электричестве, то здесь нет нулевого уровня потенциальной энергии. Его выбирают произвольно. Поэтому потенциал является относительной физической величиной.

В механике тела стремятся занять положение с наименьшей потенциальной энергией. В электричестве же под действием сил поля положительно заряженное тело стремится переместится из точки с более высоким потенциалом в точку с более низким потенциалом, а отрицательно заряженное тело - наоборот.

Потенциальная энергия поля - это работа, которую выполняет электростатическая сила при перемещении заряда из данной точки поля в точку с нулевым

# Потенциал

Рассмотрим частный случай, когда электростатическое поле создается электрическим зарядом  $Q$ . Для исследования потенциала такого поля нет необходимости в него вносить заряд  $q$ . Можно высчитать потенциал любой точки такого поля, находящейся на расстоянии  $r$  от заряда  $Q$ .

$$\varphi = k \frac{Q}{\epsilon r}$$

$\varphi$  – потенциал поля в некоторой точке

$k$  – постоянная  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$

$r$  – расстояние от заряда до исследуемой точки поля

$Q$  – заряд, который создает поле

$\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды

$[r] = 1\text{м}$        $[Q] = 1\text{Кл}$        $[\varphi] = 1\text{В}$        $[\epsilon]$  – безразмерная

Диэлектрическая проницаемость среды имеет известное значение (табличное), характеризует среду, в которой существует поле. Для воздуха она равна единице.

## Разность потенциалов

Работа поля по перемещению заряда из одной точки в другую, называется разностью потенциалов

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1-2}}{q}$$

$\varphi_1$  – потенциал первой точки поля

$\varphi_2$  – потенциал второй точки поля

$A_{1-2}$  – работа по перемещению заряда из первой во вторую точки поля

$q$  – заряд, который находится в поле

$$[A] = 1 \text{ Дж} \quad [q] = 1 \text{ Кл} \quad [\varphi] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1 \text{ В (Вольт)}$$

# Разность потенциалов

Эту формулу можно представить в ином виде

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta W}{q}$$

$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  - приращение потенциала

$\Delta W = W_2 - W_1$  - изменение потенциальной энергии

$q$  - заряд, который находится в поле

$$[W] = 1 \text{ Дж} \quad [q] = 1 \text{ Кл} \quad [\varphi] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1 \text{ В (Вольт)}$$

Эквипотенциальная поверхность (линия) - поверхность равного потенциала. Работа по перемещению заряда вдоль эквипотенциальной поверхности равна нулю.



# Напряжение

Разность потенциалов называют еще **электрическим напряжением** при условии, что сторонние силы не действуют или их действием можно пренебречь.

Напряжение между двумя точками в однородном электрическом поле, расположенными по одной линии напряженности, равно произведению модуля вектора напряженности поля на расстояние между этими точками.

$$U = E \cdot (d_1 - d_2)$$

$U$  – напряжение

$E$  – напряженность поля

$d = d_1 - d_2$  – расстояние между точками поля

$$[U] = 1B$$

$$[E] = 1 \frac{H}{Kл}$$

$$[d] = 1м$$

От величины напряжения зависит ТОК в цепи и энергия заряженной частицы.

## Принцип суперпозиции

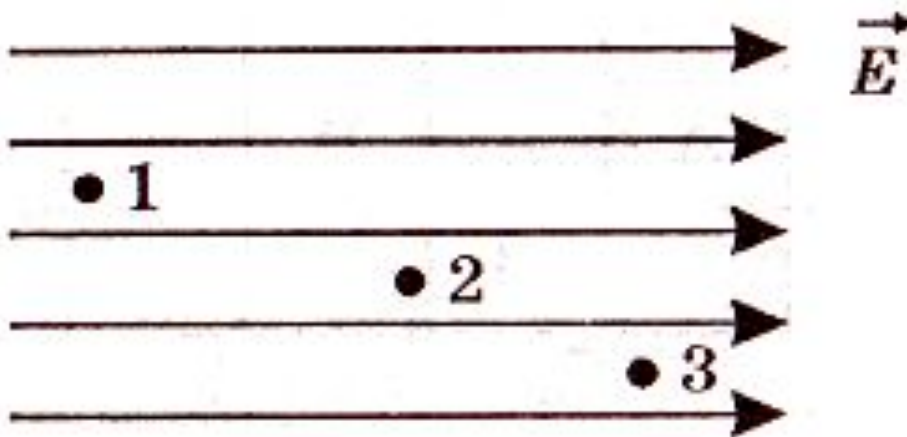
Потенциал поля, созданного несколькими зарядами, равен алгебраической (с учетом знака потенциала) сумме потенциалов полей каждого поля в отдельности

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_i$$

## Как определить знак потенциала

При решении задач возникает много путаницы при определении знака потенциала, разности потенциалов, работы.

На рисунке изображены линии напряженности. В какой точке поля потенциал больше?



Верный ответ - точка 1. Вспомним, что линии напряженности начинаются на положительном заряде, а значит положительный заряд находится слева, следовательно максимальным потенциалом обладает крайняя левая точка.

## Как определить знак потенциала

Если происходит исследование поля, которое создается отрицательным зарядом, то потенциал поля вблизи заряда имеет отрицательное значение, в этом легко убедиться,

формулу  $\varphi = \frac{kQ}{\epsilon r}$  подставить заряд со знаком "минус". Чем дальше от отрицательного заряда, тем потенциал поля больше.

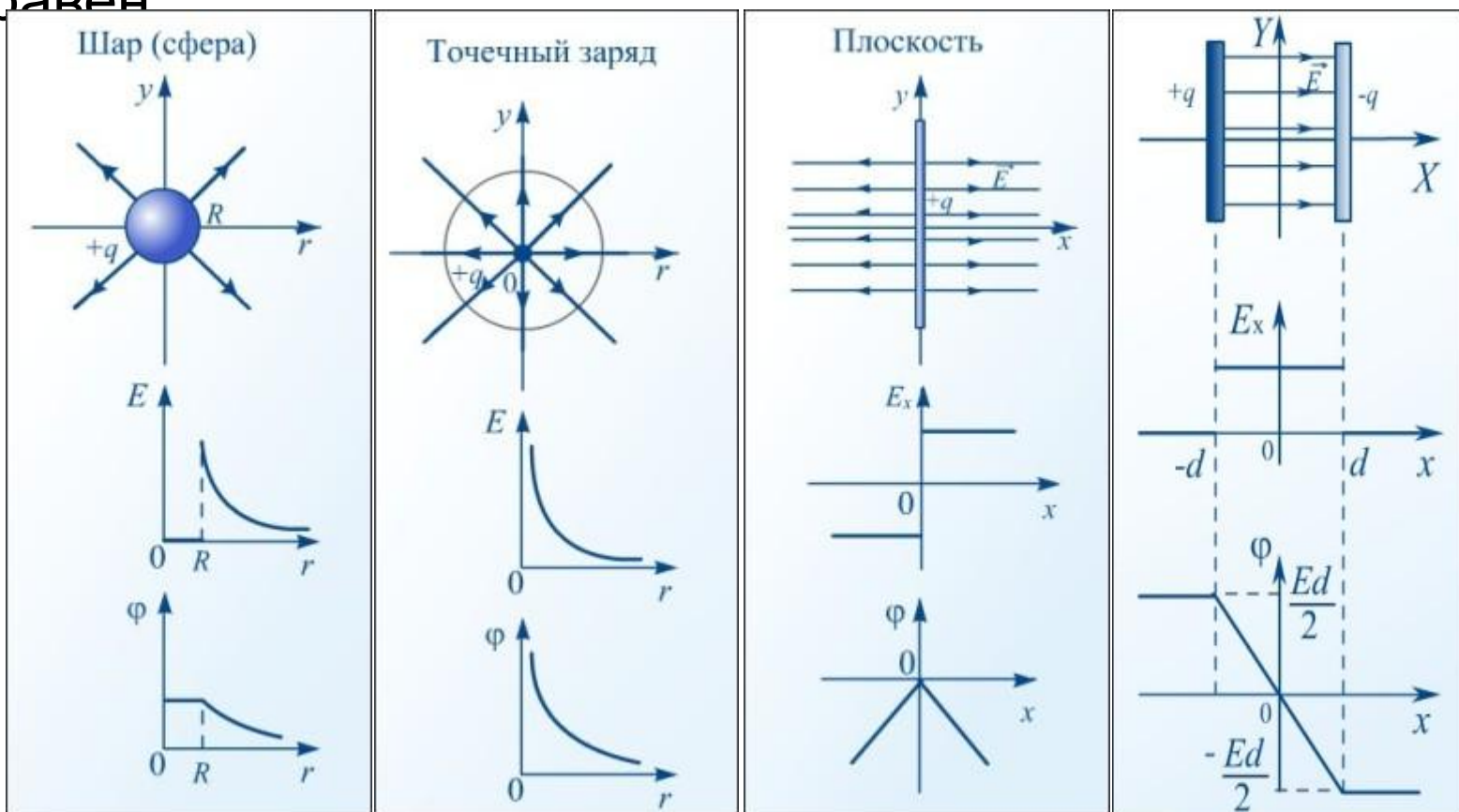
Если происходит перемещение положительного заряда вдоль линий напряженности, то разность потенциалов и работа являются положительными. Если вдоль линий напряженности происходит перемещение отрицательного заряда, то разность потенциалов имеет знак "+", работа имеет знак "-".

Порассуждайте самостоятельно отрицательные или положительные значения будут принимать работа и разность потенциалов, если заряд перемещать в обратном направлении относительно линий напряженности.

# Зависимость напряженности и потенциала от расстояния

Потенциал поля, созданного равномерно заряженной сферой радиусом  $R$  и зарядом  $q$  на расстоянии  $r$  от центра сферы, равен

$$\varphi = \begin{cases} \frac{kq}{R}, & r \leq R \\ \frac{kq}{r}, & r > R \end{cases}$$



## Напряжение в природе

Напряжение в клетках сетчатки глаза при попадания в них света около 0,01 В.

Напряжение в телефонных сетях может достигать 60 В.

Электрический угорь способен создавать напряжение до 650 В.



## Энергия взаимодействия зарядов\*

Из определения потенциала следует, что потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух зарядов  $q_1$  и  $q_2$ , находящихся на расстоянии  $r$  друг от друга, численно равна работе, которая совершается при перемещении точечного заряда  $q_2$  из бесконечности в данную точку поля,

$$W_2 = q_2 \varphi_1 = \left[ \varphi_1 = k \frac{q_1}{\epsilon r} \right] = k q_2 \frac{q_1}{\epsilon r} \quad \text{Аналогичн} \quad W_1 = q_1 \varphi_2 = \left[ \varphi_2 = k \frac{q_2}{\epsilon r} \right] = k q_1 \frac{q_2}{\epsilon r}$$

Тогда энергия взаимодействия двух точечных зарядов

$$W = \frac{1}{2} \frac{k q_1 q_2}{\epsilon r} + \frac{1}{2} \frac{k q_2 q_1}{\epsilon r} = \frac{1}{2} (q_1 \varphi_2 + q_2 \varphi_1)$$

Энергия  
взаимодействия  $n$  зарядов

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i$$