

Лекционные демонстрации

Лектор

РЕМНЕ НИКОЛАЙ ГЕРБЕРТОВИЧ,

профессор кафедры физики

ЛЕКЦИЯ 1

12 февраля 2013г.

Электростатика

План лекции

1. Электрический заряд. Свойства и законы;
2. Силовые характеристики электрического поля;
3. Напряженность. Принцип суперпозиции электрических полей;
4. Потенциал. Связь между напряженностью и потенциалом.

Электростатика

Электростатика - раздел учения об электричестве, в котором изучаются взаимодействия и свойства систем электрических зарядов, неподвижных относительно выбранной инерциальной системы отсчёта.

Электростатическое поле. Электрический заряд

Электростатическое поле - частная форма электромагнитного поля, представляющая собой вид материи, посредством которой взаимодействуют неподвижные электрические заряды.

Электрический заряд - скалярная физическая величина, определяющая интенсивность электромагнитного взаимодействия.

Заряд всех элементарных частиц одинаков по модулю и представляет собой наименьший электрический заряд, встречающийся в природе. Этот заряд называется **элементарным зарядом** и обозначается символом e .

Электростатика

Электростатическое поле. Электрический заряд

Свойства зарядов.

- заряды: *положительные* (протон) и *отрицательные* (электрон);
- всякий заряд q кратен $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ (заряд квантуется);
- во всех системах отсчета заряд тела или частицы имеет одно и то же значение (*инвариантность*);
- заряд любой системы равен сумме зарядов составляющих эту систему тел (частиц) (*аддитивность*);

Электростатика

Закон сохранения электрического заряда:

Алгебраическая сумма электрических зарядов тел или частиц, образующих электрически изолированную систему, не изменяется при любых процессах, происходящих в этой системе.

Закон Кулона:

Сила электрического взаимодействия между двумя неподвижными заряженными частицами в вакууме прямо пропорциональна произведению их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \cdot 10^9 \approx 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф},$$

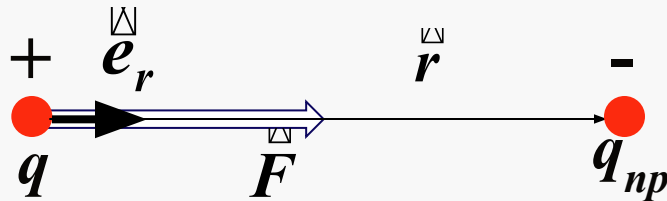
$$(\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м})$$

Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

Количественными характеристиками электростатического поля являются *напряженность* и *потенциал*.

Напряженность электрического поля.



q - неподвижный точечный заряд;

$q_{пр}$ - пробный (точечный, не вносящий искажения) заряд;

\vec{r} - радиус-вектор;

\vec{e}_r - орт радиус-вектора.

На пробный заряд действует сила

$$\vec{F} = q_{пр} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r \right)$$

Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

$$\vec{F} = q_{np} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r \right)$$

Отношение \vec{F}/q_{np} для всех пробных зарядов будет одно и то же и зависит лишь от величин, определяющих само поле, т.е. от q и r .

Поэтому отношение \vec{F}/q_{np} принимается за величину, характеризующую электрическое поле:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{np}}$$

- напряженность электрического поля в точке, в которую помещен пробный заряд.

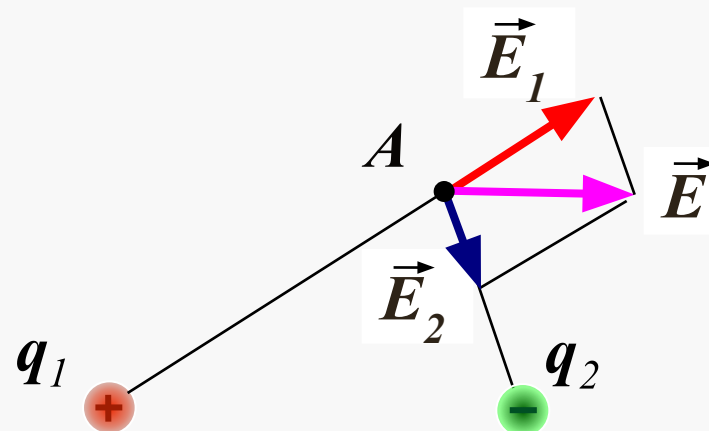
Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

Принцип суперпозиции электрических полей:

Напряженность поля системы зарядов равна **векторной** сумме напряженностей полей, которые создавал бы каждый из зарядов системы в отдельности.

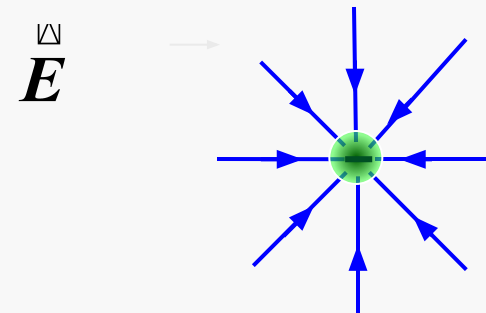
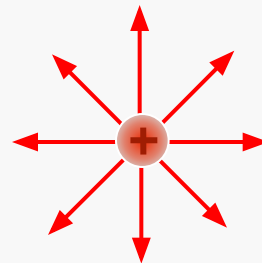
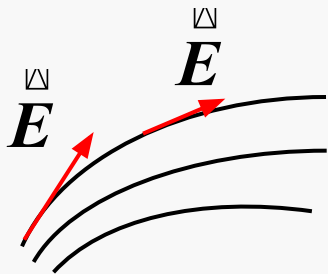
$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i$$



Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

Графически электрическое поле изображается линиями напряженности (силовыми линиями). Линии напряженности проводят таким образом, чтобы касательная к ним в каждой точке совпадала с направлением вектора \vec{E} , а густота линий определяла величину (модуль) вектора.



Силовые линии \vec{E}

1. Всегда незамкнуты: начинаются на положительных и заканчиваются на отрицательных зарядах.
2. Нигде не пересекаются.

Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

Электростатическое поле является **потенциальным**.

Стационарное силовое поле, в котором работа силы поля на пути между двумя любыми точками не зависит от формы пути, а зависит только от положения этих точек, называется *потенциальным*, а сами силы - *консервативными*.

Аналогичным свойством обладает и гравитационное поле.

Следствие из определения потенциального поля:

Работа сил электростатического поля при перемещении заряда по любой замкнутой траектории равна нулю.

Свойство *потенциальности* электростатического поля позволяет ввести понятие **потенциальной энергии заряда** в этом поле.

Работа A_{12} , совершаемая электростатическое полем при перемещений точечного заряда q из точки (1) в точку (2), равна разности значений потенциальной энергии W в этих точках.

Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

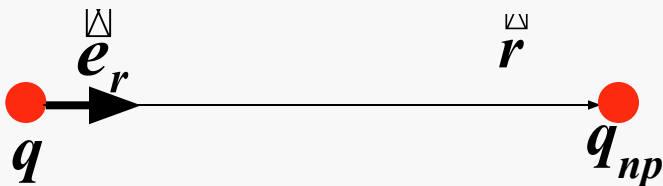
Потенциал.

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2}$$

Найдем выражение для потенциальной энергии пробного заряда, помещенного в электрическое поле, созданное зарядом q

$$dA = -dW_p$$

Пусть заряд совершил малое перемещение dr . При этом полем будет выполнена работа dA .



$$dA = (\vec{F}, d\vec{r})$$

$$\vec{F} = q_{np} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r \right)$$

Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

Выражение для работы:

$$dA = q_{np} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \right) dr \quad A_{12} = \frac{qq_{np}}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2}$$

Работа сил консервативного поля может быть представлена как убыль потенциальной энергии

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2} \quad W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_{np}}{r} + \text{const}$$

Константа определяется из равенства нулю потенциальной энергии, если пробный заряд удалить на бесконечность.

Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

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

- выражение для потенциальной энергии пробного заряда, помещенного в электрическое поле, созданное зарядом q .

Потенциальная энергия, которой обладает пробный заряд, зависит не только от величины этого заряда, но и от величин q и r , определяющих поле.

Сохраняется постоянным отношение W_p / q_{np} .

Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

$$\frac{W_p}{q_{np}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} = const$$



$$\varphi = \frac{W_p}{q_{np}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

φ - **потенциал поля** в рассматриваемой точке.

φ - энергетическая характеристика электростатического поля.

Для электрического поля, созданного системой N точечных зарядов, справедливо выражение

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i}$$

Потенциал поля, создаваемого системой зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым из зарядов в отдельности.

Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

Из выражения для потенциала $\varphi = W_p / q$ вытекает, что заряд q , находящийся в точке поля с потенциалом φ , обладает потенциальной энергией $W_p = q\varphi$.

Следовательно, работа сил поля над зарядом q может быть выражена через разность потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2)$:

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Если заряд q из точки с потенциалом φ удаляется на бесконечность, работа сил поля будет равна $A_\infty = q\varphi$.

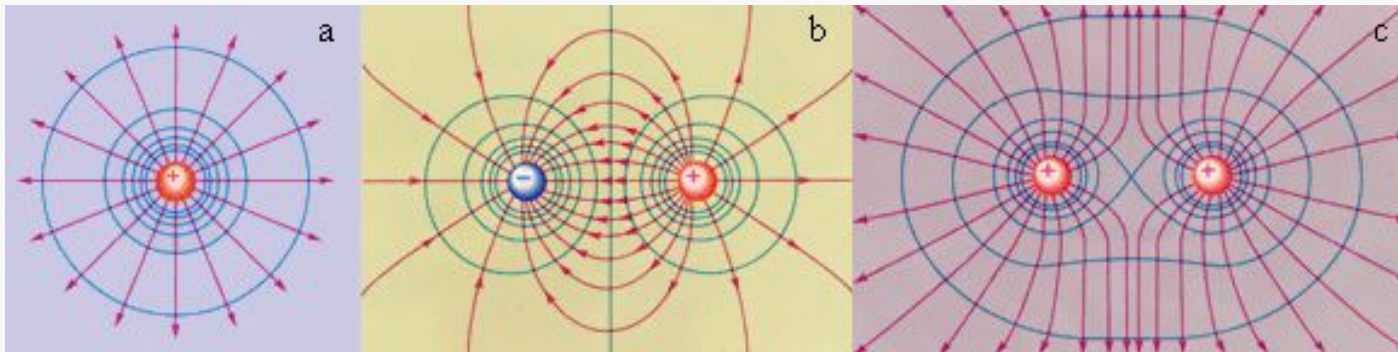
Потенциал численно равен работе, которую совершают силы электрического поля над единичным положительным зарядом при удалении его из рассматриваемой точки на бесконечность.

Электростатика

Электростатическое поле. Характеристики

Для наглядного представления электростатического поля наряду с силовыми линиями используют *эквипотенциальные поверхности*.

Эквипотенциальная поверхность - поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения.



Эквипотенциальные поверхности:

1. Всегда *замкнуты*.
2. Перпендикулярны силовым линиям (линиям напряженности).

Электростатическое поле. Характеристики

Связь между напряженностью и потенциалом

Напряженность поля \mathbf{E} пропорциональна силе, действующей на заряд.

Потенциал φ пропорционален потенциальной энергии заряда.

Связь должна быть аналогична связи между потенциальной энергией и силой.

$$\vec{F} = -q \text{grad } W_p(x, y, z) = -\left(\frac{\partial W_p}{\partial x} e_x + \frac{\partial W_p}{\partial y} e_y + \frac{\partial W_p}{\partial z} e_z \right)$$

Для заряженной частицы в электростатическом поле

$$\vec{F} = q\vec{E}, \quad W_p = q\varphi \quad \longrightarrow \quad q\vec{E} = -q \text{grad } (q\varphi) = -q \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} e_x + \frac{\partial \varphi}{\partial y} e_y + \frac{\partial \varphi}{\partial z} e_z \right)$$

$$\vec{E} = -q \text{grad } (\varphi) = -\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} e_x + \frac{\partial \varphi}{\partial y} e_y + \frac{\partial \varphi}{\partial z} e_z \right) = -\nabla \varphi$$

$$\vec{E} = -\nabla \varphi$$

Электростатическое поле. Характеристики

Связь между напряженностью и потенциалом

Напряженность поля \mathbf{E} пропорциональна силе, действующей на заряд.

Потенциал φ пропорционален потенциальной энергии заряда.

Связь должна быть аналогична связи между потенциальной энергией и силой.

$$\vec{F} = -q \operatorname{grad} W_p(x, y, z) = -\left(\frac{\partial W_p}{\partial x} e_x + \frac{\partial W_p}{\partial y} e_y + \frac{\partial W_p}{\partial z} e_z \right)$$

Для заряженной частицы в электростатическом поле

$$\vec{F} = q\vec{E}, \quad W_p = q\varphi \quad \longrightarrow \quad q\vec{E} = -q \operatorname{grad} (q\varphi) = -q \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} e_x + \frac{\partial \varphi}{\partial y} e_y + \frac{\partial \varphi}{\partial z} e_z \right)$$

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} (\varphi) = -\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} e_x + \frac{\partial \varphi}{\partial y} e_y + \frac{\partial \varphi}{\partial z} e_z \right) = -\nabla \varphi$$

$$\vec{E} = -\nabla \varphi$$

Задание: разобраться, что такое градиент.