

ТОЭ

Электрическое поле

Подготовлено Степановым К.С.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

• *Электрическое поле* – это особая форма существования материи, связанная с электрическими зарядами и осуществляющая взаимодействие между заряженными телами. Электрический заряд является физической величиной, определяющей интенсивность электромагнитных взаимодействий.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Суммарный заряд электрически изолированной системы не изменяется (закон сохранения электрического заряда).

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Электростатикой называется раздел электродинамики, в котором изучается взаимодействие неподвижных электрических зарядов.

Неподвижные точечные электрические заряды взаимодействуют в вакууме с силой, определяемой *законом Кулона*:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

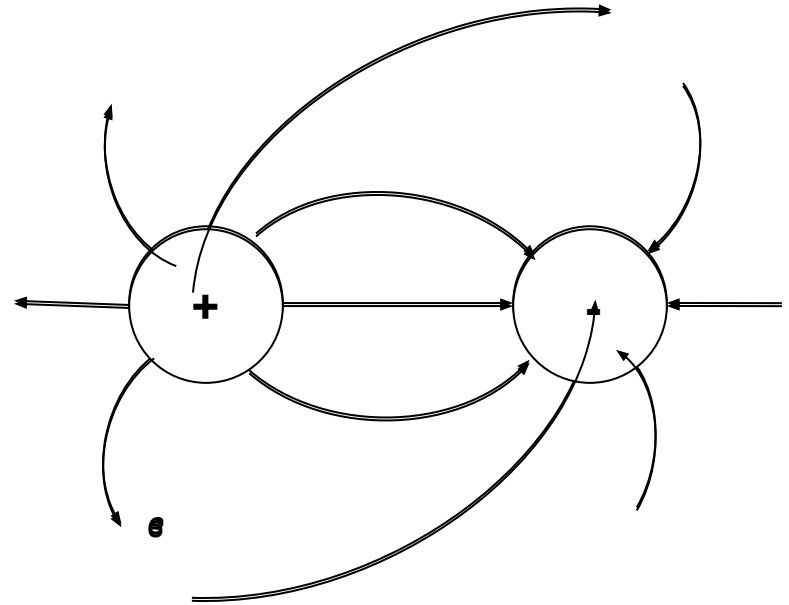
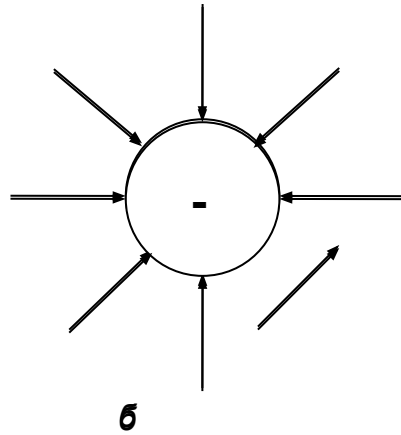
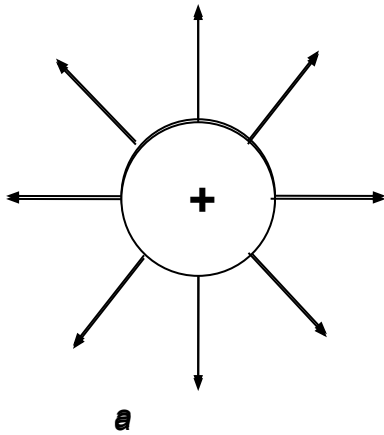
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Напряженность электростатического поля – это сила, действующая со стороны поля на единичный положительный заряд, помещенный в данную точку поля, то есть **напряженность электростатического поля** является силовой характеристикой.

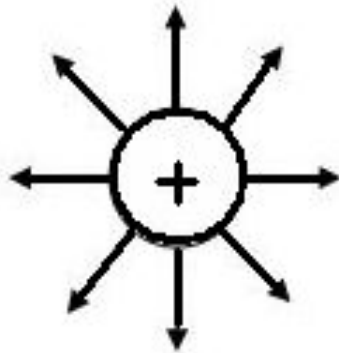
$$E = \frac{F}{q_0}.$$

где: F – сила, действующая на заряд
 q_0 – единичный заряд

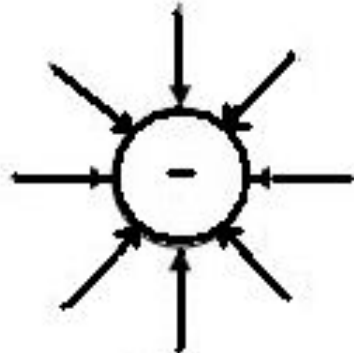
Графическое изображение электрического поля



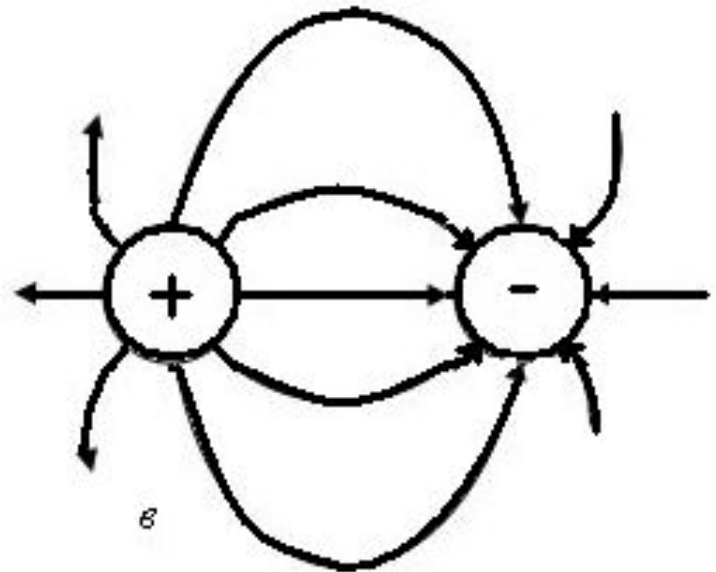
Графическое изображение электрического поля



a



б



в

Работа электрического поля

- *Электростатическое поле является потенциальным, т.е. работа, совершаемая при перемещении заряда, не зависит от траектории, а определяется лишь начальным и конечным положениями заряда. Эта работа численно равна изменению потенциальной энергии:*

Работа электрического поля

$$A_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r_2} = U_1 - U_2.$$

- Энергетической характеристикой поля является **потенциал**. Он характеризует потенциальную энергию, которой обладал бы единичный положительный заряд, помещенный в данную точку поля:

$$\varphi = \frac{U}{q_0}.$$

Работа электрического поля

- Силовая и энергетическая характеристики поля связаны между собой соотношением

$$\overline{E} = -grad\varphi,$$

Если поле однородно (например, поле плоского конденсатора), то модуль напряженности определяется по формуле

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}.$$

- Вычисление напряженности поля большой системы электрических зарядов с помощью принципа суперпозиции электростатических полей можно упростить, используя *теорему Гаусса*:

Теорема Гаусса

- Поток вектора напряженности электростатического поля в вакууме сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключенных внутри этой поверхности зарядов, деленной на электрическую постоянную.

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i,$$

Теорема Гаусса для поля в диэлектрике

Поток вектора смещения электростатического поля в диэлектрике сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключенных внутри этой поверхности свободных электрических зарядов, т.е.

$$\oint_S \bar{D} d\bar{S} = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n q_{i\text{св}}.$$

Где \bar{D} вектор электрического смещения
(электрической индукции)

$$\bar{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \bar{E}.$$

Способность проводника накапливать электрические заряды характеризуется электрической ёмкостью:

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

Электрическая ёмкость не зависит от заряда проводника, но зависит от геометрических размеров, расположения относительно других проводников и свойствами окружающей среды.

Ёмкость конденсатора

- *Ёмкостью конденсатора* называется физическая величина, равная отношению заряда q накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов между обкладками:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}.$$

Электрическая ёмкость плоского конденсатора

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

Магнитное поле

- Взаимодействие между проводниками с током, т.е. взаимодействие между движущимися электрическими зарядами, осуществляется посредством особой формы материи – *магнитного поля*. Магнитное поле, как и электрическое, является одной из сторон единого электромагнитного поля

Магнитное поле

- Основной характеристикой магнитного поля является *вектор магнитной индукции* . Магнитная индукция в данной точке однородного магнитного поля определяется максимальным вращающим моментом, действующим на рамку с единичным магнитным моментом, когда нормаль к рамке перпендикулярна направлению поля:

$$B = \frac{M_{max}}{p_m} .$$

Магнитное поле

- Магнитная индукция поля в некоторой точке A , создаваемого элементом проводника с током I определяется *законом Био-Савара-Лапласа*

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r^3} [d\vec{l} \cdot \vec{r}],$$

- *где* - радиус-вектор, проведенный из элемента проводника в точку A .

магнитное поле

- На движущуюся заряженную частицу в магнитном поле действует *сила Лоренца*

$$F_{л} = qvB \sin \alpha,$$

- *где α - угол между v и B . Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки. Магнитное поле действует только на движущиеся в нем заряды.*

магнитное поле

- На движущуюся заряженную частицу одновременно в электрическом и магнитном полях действует сила (*формула Лоренца*)

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v} \cdot \vec{B}].$$

- Электрическое поле изменяет скорость, а следовательно, кинетическую энергию частицы; магнитное поле изменяет только направление ее движения.

Магнитное поле

- Циркуляция вектора по произвольному замкнутому контуру в вакууме равна произведению магнитной постоянной на алгебраическую сумму токов, охватываемых этим контуром:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k,$$

- где n – число проводников с токами, охватываемых контуром L произвольной формы. Циркуляция вектора электростатического поля всегда равна нулю, т.е. электростатическое поле является *потенциальным*. Циркуляция вектора магнитного поля не равна нулю, такое поле называется *вихревым*

Магнитное поле

- Поток вектора магнитной индукции сквозь произвольную замкнутую поверхность равен нулю (*теорема Гаусса для поля*):

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = \oint_S B_n dS = 0.$$

Эта теорема отражает факт отсутствия в природе магнитных зарядов, вследствие чего линии магнитной индукции не имеют ни начала, ни конца и являются замкнутыми.

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля

- Согласно гипотезе Максвелла, *всякое переменное магнитное поле возбуждает в окружающем пространстве электрическое поле, которое и является причиной возникновения индукционного тока в контуре. Электрическое поле, возбуждаемое переменным магнитным полем, как и само магнитное поле, является вихревым.*

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля

- По Максвеллу, должна иметь место симметрия во взаимозависимости электрических и магнитных полей: *всякое изменение электрического поля должно вызывать появление в окружающем пространстве вихревого магнитного поля.*

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля

- Для установления количественных соотношений между изменяющимся электрическим полем и возбуждаемым им магнитным полем, Максвеллом введено понятие *тока смещения*. Току смещения Максвелл приписал способность создавать в окружающем пространстве магнитное поле.

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля

- в интегральной форме

$$\oint_L \bar{H} d\bar{l} = \int_S \left(\bar{j} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \right) d\bar{S},$$

$$\oint_S \bar{B} d\bar{S} = 0,$$

$$\oint_L \bar{E} d\bar{l} = - \int_S \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} d\bar{S},$$

$$\oint_S \bar{D} d\bar{S} = q = \int_V \rho dV$$

- Величины, входящие в эти уравнения связаны между собой соотношениями

$$\bar{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \bar{E}, \quad \bar{B} = \mu_0 \mu \bar{H}, \quad \bar{j} = \gamma \bar{E}.$$

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля

- в дифференциальной форме

$$\operatorname{rot}\bar{H} = \bar{j} + \frac{\partial\bar{D}}{\partial t},$$

$$\operatorname{div}\bar{B} = 0,$$

$$\operatorname{rot}\bar{E} = -\frac{\partial\bar{B}}{\partial t},$$

$$\operatorname{div}\bar{D} = \rho.$$

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля

- Уравнения Максвелла отражают тот факт, что *источниками электрического поля могут быть либо электрические заряды, либо изменяющиеся во времени магнитные поля. Магнитные поля могут возбуждаться либо движущимися электрическими зарядами (электрическими токами), либо переменными электрическими полями.*

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля

- Уравнения Максвелла не обладают симметрией относительно электрического и магнитного полей. Это связано с тем, что в природе существуют электрические заряды, но нет зарядов магнитных
- Электрическое и магнитное поля неразрывно связаны друг с другом и образуют *единое электромагнитное поле*.

Теорема Стокса

- Циркуляция векторного поля по замкнутой кривой L равна потоку ротора этого поля через поверхность S , опирающуюся на кривую L :

$$\oint_L \overline{A} d\overline{r} = \int_S \text{rot} \overline{A} d\overline{S}.$$

Формула Гаусса-Остроградского

- Для пространственной области G , ограниченной замкнутой поверхностью S ,

$$\iiint_G \operatorname{div} \bar{A} dV = \oiint_S \bar{A} d\bar{S}.$$

ОБЩИЙ КУРС ФИЗИКИ

- **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ЯВЛЕНИЙ**

- Конспект лекций
- АН Александр Федорович
- САМОХИН Анатолий Васильевич.