

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
МОДУЛЬНЫЙ УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС
МУК-ЭМ2

Учебно-методическое пособие

Составители:
А. М. Солодуха,
С. Н. Дрождин,
Г. С. Григорян

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2015

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	4
2. Работа № ЭМ2-1. Изучение электростатического поля	5
3. Работа № ЭМ2-2. Свойства источника ЭДС.....	12
4. Работа № ЭМ2-3. Изучение свойств ферромагнетиков.....	16
5. Работа № ЭМ2-4. Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний.....	27
6. Работа № ЭМ2-5. Свободные электромагнитные колебания.....	34
7. Работа № ЭМ2-6. Активные и реактивные сопротивления в цепях переменного тока.....	43
8. Библиографический список	51

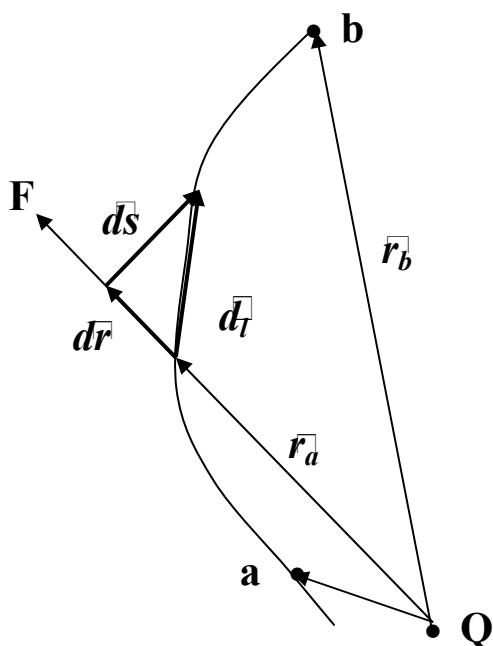


Рис. 1

В Международной системе единиц СИ напряженность электрического поля измеряется в вольтах на метр (В/м).

Электрическое поле можно изображать с помощью силовых линий. *Силовая линия* – это воображаемая направленная линия, проведенная в поле так, что касательная в каждой ее точке совпадает по направлению с вектором напряженности в этой точке. Силовые линии не могут пересекаться, поскольку в каждой точке поля напряженность имеет только одно совершенно определенное значение. Чтобы оценивать с помощью силовых линий не только направление, но и величину вектора напряженности, было условлено считать, что напря-

женность поля численно равна количеству силовых линий, пересекающих поверхность единичной площади, расположенной в данном месте поля перпендикулярно силовым линиям.

Силовые линии электростатического поля начинаются на положительных зарядах (или в бесконечности) и заканчиваются на отрицательных зарядах (или в бесконечности).

Другая характеристика электрического поля (энергетическая) – это потенциал φ , который в отличие от напряженности является скалярной величиной.

Если точечный заряд q перемещается в электростатическом поле из точки a в точку b (рис.1), то силы, действующие на него со стороны поля в каждой точке траектории, совершают над зарядом работу:

$$A = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l}, \quad (4)$$

где $\vec{F} = q\vec{E}$ – это электрическая сила, действующая на заряд в каждой точке, а $d\vec{l}$ – это вектор малого перемещения заряда вдоль траектории. Для простоты будем считать, что поле создано неподвижным точечным зарядом Q . Тогда сила \vec{F} в (4) – это сила кулоновского взаимодействия зарядов Q и q (см. формулу (2)).

Перемещение $d\vec{l}$ можно представить как сумму перемещений по линии действия силы – $d\vec{r}$ и в перпендикулярном этой линии направлении – $d\vec{s}$ (рис.1):

$$d\vec{l} = d\vec{r} + d\vec{s}. \quad (5)$$

Поскольку на участках $d\vec{s}$ работа не совершается, то с учетом (2) и (5) из формулы (4) получим:

$$A = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \int_a^b \frac{dr}{r^2} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r_a} - \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r_b}. \quad (6)$$

Из (6) видно, что работа по перемещению заряда q в поле заряда Q не зависит от формы пути, а зависит лишь от положения в поле начальной (r_a) и конечной (r_b) точек. Отсюда следует, что работа по перемещению заряда в электростатическом поле по **любому** замкнутому контуру равна нулю, что можно записать в следующем виде:

$$q \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0. \quad (7)$$

Поскольку $q \neq 0$, то из (7) следует принципиальный для электростатического поля результат: **циркуляция вектора напряженности электростатического поля вдоль произвольного замкнутого контура равна нулю**:

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0. \quad (8)$$

Полученные результаты (формулы (6)–(8)) свидетельствуют о том, что **электростатическое поле является потенциальным**, а следовательно, работа в нем может быть представлена как убыль потенциальной энергии:

$$A = W_a - W_b, \quad (9)$$

где W_a и W_b значения потенциальной энергии заряда q в точках поля a и b .

Сравнивая формулы (6) и (9) для работы, можно написать выражение для потенциальной энергии взаимодействия зарядов Q и q (или, другими словами, для потенциальной энергии заряда q в электростатическом поле, созданном зарядом Q):

$$W = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (10)$$

Индексы в (10) опущены, поскольку эта формула справедлива для любой точки поля.

Выражение (9) позволяет найти лишь изменение потенциальной энергии заряда q , но не ее абсолютное значение, которое может быть определено лишь с точностью до произвольной постоянной, добавление которой в правую часть (10) ничего не меняет при вычислении работы по формуле (9). Поэтому, для того чтобы определить абсолютное значение потенциальной энергии, надо условиться, в какой точке поля считать ее значение, равным нулю. Из (10) видно, что потенциальную энергию следует считать равной нулю в бесконечно удаленной точке ($r \rightarrow \infty$).

Потенциальная энергия заряда q не может служить характеристикой поля, так как она зависит от самого заряда, но отношение W/q от q не зависит

и поэтому является характеристикой самого поля. Это отношение называется **потенциалом электрического поля**:

$$\varphi = \frac{W}{q}. \quad (11)$$

В частности, потенциал поля точечного заряда в произвольной точке может быть найден по формуле

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (12)$$

Естественно, что абсолютная величина потенциала определена с точностью до произвольной постоянной, т.е. зависит от выбора точки, в которой $\varphi = 0$. Обычно считают равным нулю потенциал бесконечно удаленной точки поля: $\varphi_\infty = 0$.

Работа сил любого электростатического поля по перемещению заряда q из одной точки поля в другую, как следует из (9) и (11), может быть представлена в виде:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (13)$$

откуда можно определить физический смысл разности потенциалов двух точек поля: разность потенциалов двух точек поля – это физическая величина, численно равная работе по перемещению единичного положительного заряда из первой точки поля во вторую.

Аналогично определяется и физический смысл потенциала данной точки поля. Для этого надо положить, что вторая (конечная) точка является бесконечно удаленной и, следовательно, для нее $\varphi_2 = 0$. Тогда в соответствии с (13): **потенциал данной точки поля – это физическая величина, численно равная работе по перемещению единичного положительного заряда из данной точки поля в бесконечность.**

В системе СИ за единицу разности потенциалов принимается 1 вольт (В), т.е. разность потенциалов двух таких точек поля при перемещении между которыми заряда в 1 кулон совершается работа в 1 джоуль.

Совокупность всех точек поля, имеющих одинаковый потенциал ($\varphi = \text{const}$), называется эквипотенциальной поверхностью. При перемещении заряда по эквипотенциальной поверхности работа не совершается. Силовые линии поля всегда расположены перпендикулярно к эквипотенциальным поверхностям.

Две физические величины – вектор напряженности \mathbf{E} и потенциал φ , характеризующие один и тот же объект – электрическое поле, связаны между собой. Эту связь легко установить, вычислив элементарную работу dA при перемещении заряда q на малое расстояние dx вдоль силовой линии поля между двумя близкими эквипотенциальными поверхностями с потенциалами φ и $\varphi + d\varphi$ (рис. 2) по формулам:

$$dA = qE \cdot dx, \quad (14)$$