

Троицкий АТК – филиал МГТУ ГА

**Методическая разработка по теме:**

**«Электрическое поле»**

Троицк 2018г.

В предлагаемой методической разработке изложены основные сведения из электростатики по теме: «Электрическое поле» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования по учебной дисциплине «Электротехника»

Данная методическая разработка позволяет курсантам самостоятельно изучать материал и использовать вопросы и задачи приведённые в каждой главе для самоконтроля.

Организация – разработчик: Троицкий АТК – филиал МГТУ ГА

Разработчик:

Жукова О.А., преподаватель Троицкого АТК – филиала МГТУ ГА

Эксперты:

Техническая экспертиза: Жукова О.А., преподаватель Троицкого АТК – филиала МГТУ ГА

Содержательная экспертиза: Ларичева Н. И., преподаватель Троицкого АТК – филиала МГТУ ГА

Программа рассмотрена и одобрена

на заседании цикловой комиссии АиРЭО

Протокол № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Председатель цикловой комиссии \_\_\_\_\_ ГАЙКОВА О. К.

Согласовано:

Заместитель директора

по профессиональному образованию \_\_\_\_\_ В. А. ХОМУТКОВА

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Глава 1. Основные понятия.....</b>	<b>4</b>
Контрольные вопросы и задания.....	6
<b>Глава 2. Закон Кулона.....</b>	<b>7</b>
Контрольные вопросы и задания.....	10
<b>Глава 3. Электрическое поле нескольких зарядов.....</b>	<b>10</b>
Контрольные вопросы и задания.....	11
<b>Глава 4. Напряжённость электрического поля.....</b>	<b>12</b>
<b>Глава 5. Теорема Гаусса.....</b>	<b>15</b>
Контрольные вопросы и задания .....	18
<b>Глава 6. Потенциал и разность потенциалов.....</b>	<b>18</b>
<b>Глава 7. Электрическая ёмкость.....</b>	<b>19</b>
<b>Глава 8. Проводники и диэлектрики в электрическом поле.....</b>	<b>24</b>
<b>8.1 Проводники.....</b>	<b>24</b>
<b>8.2 Диэлектрики.....</b>	<b>25</b>
<b>8.3. Удельное сопротивление.....</b>	<b>26</b>
<b>8.4. Электрическая проницаемость.....</b>	<b>28</b>
Задачи для самостоятельного решения.....	28
Контрольные вопросы.....	30

## Глава 1. Основные понятия

Электрически заряженные тела или частицы обладают положительным или отрицательным зарядом. Разноименно заряженные частицы или тела притягиваются друг к другу, а одноименно заряженные — отталкиваются. Силовое поле, посредством которого взаимодействуют электрические заряды, называется *электрическим*.

Неподвижные электрические заряды создают *электростатическое поле*. Электрическое поле можно обнаружить пробным зарядом, если поместить его в это поле. *Пробным* называется заряд, внесение которого не приводит к искажению электростатического поля. Электрический заряд обозначается буквой  $Q$  или  $q$  и измеряется в кулонах (Кл). Например, электрический заряд электрона составляет  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Пусть электрическое поле создано зарядом  $Q$  (рисунок 1). Если в произвольную точку  $M$  этого поля внести пробный заряд  $q$ , то на него будет действовать сила  $F$ .

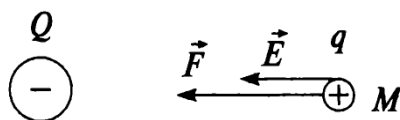


Рисунок 1

Таким образом, электрическое поле оказывает силовое воздействие на электрически заряженные тела или частицы, т.е. оно способно совершать работу и обладает потенциальной энергией. Эту энергию называют *электрической*  $W$ .

Основными характеристиками электрического поля являются:

- $E$  — напряженность;
- $U$  — электрическое напряжение;
- $\Phi$  — электрический потенциал.

Каждая точка электрического поля характеризуется напряженностью  $E$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad (1)$$

т.е. *напряженность*  $E$  в любой точке электростатического поля численно равна силе  $F$ , с которой поле действует на единичный положительный пробный заряд  $q$ , помещенный в данную точку поля. Напряженность электростатического поля является *силовой характеристикой* и измеряется

$$[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

Напряженность рассматривают как векторную величину. Направление вектора  $E$  совпадает с направлением вектора силы  $E$ , с которой поле действует на положительный пробный заряд, помещенный в данную точку поля (см. рисунок 1).

Изображается электрическое поле линиями напряженности, или силовыми линиями. Линии напряженности проводятся так, чтобы направление касательной в любой её точке совпадало с направлением вектора напряженности  $E$  в этой точке. На рисунке 2, *а* изображены линии напряженности точечного заряда, а на рисунок 2, *б* — поле между двумя заряженными пластинами.

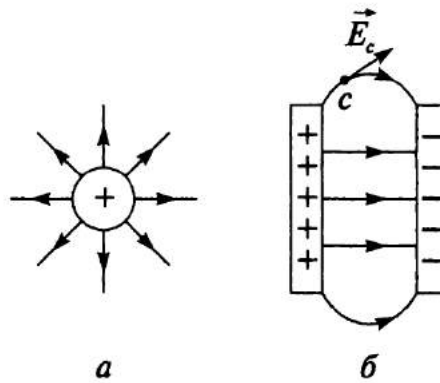
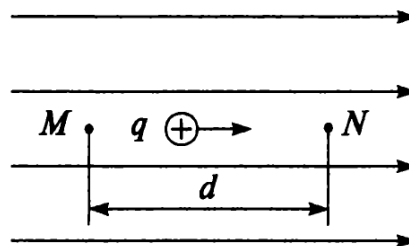


Рисунок 2

Электрическое поле, во всех точках которого векторы напряженности одинаковы по модулю и направлению, называется *однородным*. Примером однородного поля может служить электрическое поле между двумя заряженными пластинами (см. Рисунок 2, *б*), однако у краев пластин векторы напряженности изменяются по модулю и направлению, т.е. поле здесь неоднородно.

Допустим, что заряд  $q$  переместился в однородном электрическом поле из точки  $M$  в точку  $N$  на расстояние  $d$  (рисунок 3) в направлении поля. При этом была совершена работа по перемещению заряда  $q$  на расстояние  $d$

$$A = Fd.$$



### Рисунок 3

Подставив в последнюю формулу значение силы  $F$  из выражения (1), получим

$$A = Eqd. \quad (2)$$

Величина, равная отношению работы по перемещению точечного положительного заряда к величине этого заряда, называется *электрическим напряжением*:

$$U = U_{MN} = \frac{A}{q}.$$

Учитывая выражение (2), получим

$$U = \frac{Eqd}{q} = Ed,$$

откуда напряженность электрического поля

$$E = \frac{U}{d}. \quad (3)$$

Из курса физики известно, что напряжение между двумя точками электрического поля равно разности потенциалов этих точек

$$U_{MN} = \Phi_M - \Phi_N.$$

Потенциал — это *энергетическая характеристика* электрического поля. Отношение потенциальной энергии заряженной частицы, помещенной в данную точку поля, к величине ее заряда называется *электрическим потенциалом*:

$$\Phi_M = \frac{W_M}{q}.$$

#### Контрольные вопросы и задания

1. Чем обусловлено взаимодействие заряженных частиц?
2. Какое поле называется электростатическим?
3. Как можно обнаружить электрическое поле?
4. Докажите, что электрическое поле обладает энергией.
5. Назовите силовую характеристику электрического поля.
6. Напишите формулу и укажите единицу измерения напряженности электрического поля.
7. Напишите формулу силы, действующей на заряд в электрическом поле.
8. Как определить направление вектора напряженности?

9. Как изображается электрическое поле?
10. Как проводятся линии напряженности?
11. Какое поле называется однородным?
12. Приведите примеры однородного и неоднородного электрического поля.
13. Что называют электрическим напряжением?
14. Назовите энергетическую характеристику электрического поля.
15. Что называют электрическим потенциалом?

## Глава 2. Закон Кулона

В 1785 году Ш.О. Кулон опытно установил закон взаимодействия двух заряженных тел.

Опыты Кулона показали, что электрическое поле точечного заряда  $q_1$  (рисунке 4) действует на помещенный в точку  $A$  точечный заряд  $q_2$  с силой  $F_1$  и с такой же силой  $F_2$  поле заряда  $q_2$  действует на заряд  $q_1$  т.е.

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = \vec{F}.$$

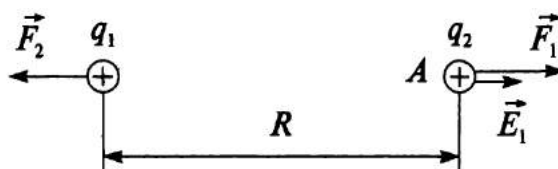


Рисунок 4

Силу  $F$  называют электростатической и ее величину определяют по закону Кулона: *сила взаимодействия двух точечных неподвижных зарядов прямо пропорциональна величине зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:*

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi R^2 \epsilon_a} \quad (4)$$

где  $q_1$  и  $q_2$  — величины зарядов;

$R$  — расстояние между зарядами;

$\epsilon_a$  — абсолютная диэлектрическая проницаемость, которая учитывает влияние среды.

Различные среды имеют разные значения абсолютной диэлектрической проницаемости. Абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума обозначается  $\epsilon_0$ , называется *электрической постоянной* и равна

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{М}}$$

Отношение абсолютной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_a$  данной среды к абсолютной диэлектрической проницаемости вакуума  $\epsilon_0$  называют *диэлектрической проницаемостью*  $\epsilon$ :

$$\epsilon = \frac{\epsilon_a}{\epsilon_0}$$

Для воздуха значение диэлектрической проницаемости принимают  $\epsilon = 1$ , т.е.

$$\epsilon_a = \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{М}}$$

В таблице 1 даны значения диэлектрической проницаемости некоторых веществ

Таблица 1

Материал	$\epsilon$	Материал	$\epsilon$
Бумага парафинированная	4,3	Слюда	5–7
Вода дистиллированная	80	Фарфор	5,5–6
Масло минеральное	2,2	Стекло	5,5–8
Мрамор	8–10	Гетинакс	5–8
Парафин	2,2–2,3	Воздух	1,0
Миканит	5,2	Эбонит	2,8–3,5
Резина	3–6		

Подставляя формулу (4) в формулу (1), можно определить напряженность поля, созданного зарядом  $q_1$  в точке  $A$  (рисунок 4):

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2}, \quad (5)$$

и, подставив значение электрической постоянной  $e_0$  в формулу (5), получим

$$E_1 = \frac{9 \cdot 10^9 q_1}{\epsilon R^2}.$$



Тогда электростатическую силу  $F$  можно определить по следующей формуле

$$F = F_1 = F_2 = E_1 q_2 = \frac{9 \cdot 10^9 q_1 q_2}{\epsilon R^2}. \quad (6)$$

**Пример 1.** Определить силу взаимодействия между двумя зарядами, находящимися в пустоте на расстоянии один от другого 5 см. Величина зарядов равна  $2 \cdot 10^{-8}$  Кл. и  $3 \cdot 10^{-5}$  Кл.,

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot r^2} = \frac{2 \cdot 10^{-8} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \cdot 9 \cdot 10^9}{4\pi \cdot 1 \cdot 0,05^2} = 2,16 \text{ н},$$

так как  $1 \text{ Н} = 102 \Gamma$ , то  $F = 2,16 \cdot 102 = 220 \Gamma$ .

Те же заряды, помещенные на том же расстоянии в керосин, будут взаимодействовать между собой с силой:

$$F = \frac{2 \cdot 10^{-8} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \cdot 9 \cdot 10^9}{4\pi \cdot 2 \cdot 0,05^2} = 1,08 \text{ н} = 110 \Gamma,$$

т. е. сила уменьшилась в два раза.

### Пример 2

На заряд  $q_1 = 3 \cdot 10^{-7}$  Кл. действует сила  $F_2 = 0,4$  Н. Определить расстояние, на котором находится заряд  $q_2 = 6,4 \cdot 10^{-7}$  Кл. от заряда  $q_1$ , если оба заряда находятся в воздухе.

### Решение

Из формулы (6) определим расстояние  $R$ :

$$R = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 q_1 q_2}{\epsilon F_2}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-7} \cdot 6,4 \cdot 10^{-7}}{1 \cdot 0,4}} = 0,07 \text{ м}.$$

## Контрольные вопросы и задания

1. Сформулируйте закон Кулона.
2. Напишите формулу закона Кулона и назовите все величины, входящие в это выражение.
3. Напишите формулу связи между величинами  $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_0$  и  $\epsilon$ .

## Глава 3. Электрическое поле нескольких зарядов

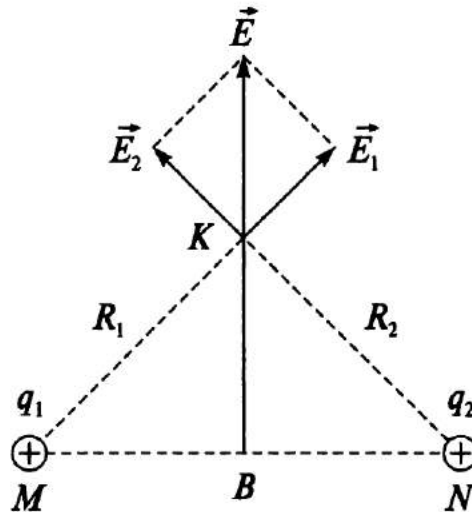


Рисунок 5

Пусть электрическое поле создается двумя зарядами  $q_1$  и  $q_2$  (рисунок 5). Для определения силы или напряженности в какой-либо точке поля применяют принцип наложения электростатических полей. Напряженность результирующего поля нескольких зарядов равна геометрической сумме напряженностей полей, создаваемых в данной точке поля каждым из зарядов в отдельности. Для двух зарядов напряженность в точке  $K$  (рисунок 5)

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Соответственно сила в точке  $K$  равна геометрической сумме двух сил

$$F = F_1 + F_2.$$

Рассмотрим принцип наложения на конкретном примере.

**Пример 1.2** Два заряда (рисунок 5)  $q_1 = q_2 = 8 \cdot 10^{-7}$  Кл. расположены в воздухе на расстоянии 14 см в точках  $M$  и  $N$  соответственно. Определить напряженность поля в точке  $K$ , если она находится на перпендикуляре  $KB$  к прямой  $MN$  и отрезки  $MB = BN = KB$ .

### Решение:

На основании равенства прямоугольных треугольников  $\Delta MBK = \Delta BNK$  и согласно теореме Пифагора расстояния до точки К

$$R_1 = R_2 = \sqrt{(MB)^2 + (BK)^2} = \sqrt{7^2 + 7^2} = 9,9 \text{ см} = 0,099 \text{ м.}$$

Учитывая, что заряды находятся в воздухе ( $\varepsilon_a = \varepsilon_0$ ), находим

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi R_1^2 \varepsilon_a} = \frac{8 \cdot 10^{-11}}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,099^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 73 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

Поскольку  $R_1 = R_2$  и  $q_1 = q_2$ , то  $E_1 = E_2 = 73 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ .

Результирующий вектор напряженности поля в точке К определяется из условия, что вектор  $E_1$  перпендикулярен вектору  $E_2$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{73^2 + 73^2} = 103,2 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

### Контрольные вопросы и задания

1. В чем состоит принцип наложения?
2. Электрическое поле создано в воздухе двумя зарядами  $q_1 = 5 \cdot 10^{-7}$  Кл и  $q_2 = 7 \cdot 10^{-7}$  Кл, которые находятся на расстоянии  $R = 6$  см. Определить напряженность поля в точке М, удаленной от заряда  $q_1$  на расстояние  $R_1 = 2,5$  см, а от заряда  $q_2$  на расстояние  $R_2 = 5$  см.
3. Определите направление силы, действующей на заряд  $q_u$  находящийся в поле зарядов  $q_2$  и  $q_3$  (рис. 1.6). Заряды находятся в вершинах равностороннего треугольника.

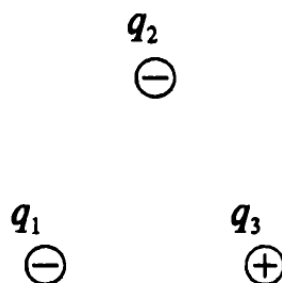


Рисунок 6

## Глава 4. Напряжённость электрического поля. Поток вектора напряженности

Электрическое поле, напряженность которого в разных точках пространства одинакова по величине и по направлению, называется однородным полем.

Общее число электрических силовых линий, проходящих через какую-либо поверхность, помещенную в электрическом поле, называется потоком вектора напряженности сквозь эту поверхность и обозначается буквой  $N$ . Сквозь поверхность помещенную перпендикулярно вектору напряженности, в однородном электрическом поле напряженностью  $E$  будет проходить поток вектора напряженности  $N$ :

$$N = ES.$$

Размерность потока вектора напряженности

$$[N] = [ES] = \frac{\text{В} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = \text{В} \cdot \text{м}.$$

Если вектор напряженности не перпендикулярен к площадке  $S$  (рисунок 7), то определяют нормальную составляющую вектора  $E_n$

$$E_n = E \cos \beta,$$

и тогда поток вектора напряженности электрического поля

$$N = E \cdot \cos \beta \cdot S$$

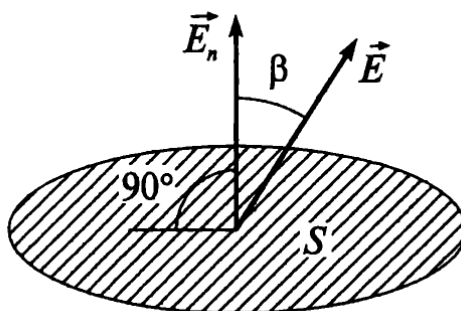


Рисунок 7

В случае неоднородного электрического поля площадку  $S$  разбивают на элементарные бесконечно малые площадки  $dS$ , где в пределах которых поле можно считать однородным. При этом элементарный поток

$$dN = E_n dS.$$

Суммарный поток через площадку  $S$  можно найти, суммируя элементарные потоки:

$$N = \int_S E_n dS.$$

Полученное выражение носит название теоремы Гаусса.

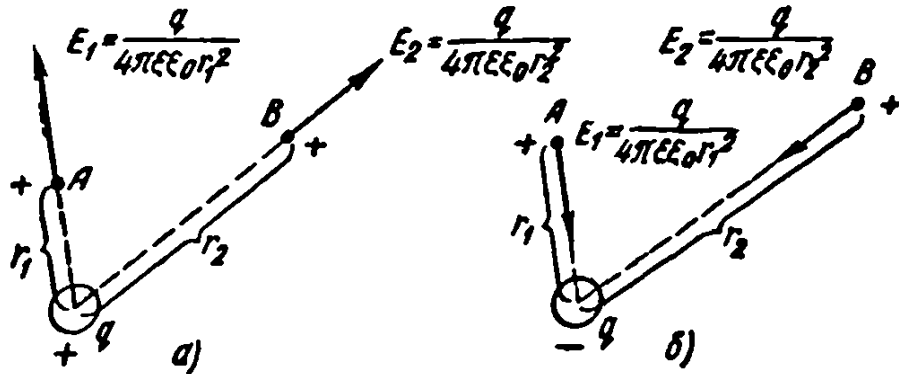


Рисунок 8. Напряженность электрического поля в разных точках пространства

На рисунке 8, а графически показана напряженность электрического поля в точках А и В, удаленных на расстояние  $r_1$  и  $r_2$  от положительного заряда  $q$ , помещенного в какой-либо среде. Как видно из чертежа, напряженность поля достаточно малого (точечного) положительного заряда направлена от заряда вдоль радиуса. Напряжённость поля в точках А и В, равноудалённых от заряда  $q$ , различна и изменяется по мере удаления от заряда обратно пропорционально квадрату расстояния. На рисунке 6,б графически показана напряжённость электрического поля в точках А и В, удалённых на расстояниях  $r_1$  и  $r_2$  от отрицательного заряда  $q$ , находящегося в какой – либо среде. Напряжённость поля в этом случае направлена вдоль радиуса к заряду.

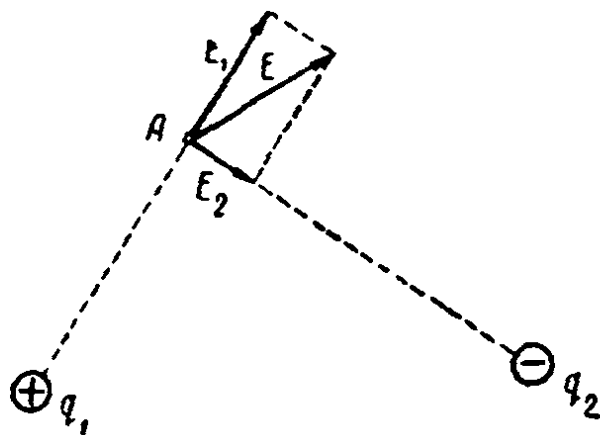


Рисунок 9. Определение напряженности двух точечных зарядов

Рассмотрим теперь, чему равна напряженность поля, созданного двумя электрическими зарядами  $+q_1$  и  $-q_2$ , в некоторой точке А (рисунок 9).

Если убрать заряд  $-q_2$ , то напряженность поля в точке А, созданная зарядом  $+q_1$ , будет  $E_1$ . Наоборот, если убрать заряд  $+q_1$ , то напряженность поля в

точке  $A$ , созданная зарядом  $-q_2$ , будет  $E_2$ . Так как напряженности  $E_1$  и  $E_2$  направлены под углом одна к другой, то для получения результирующей напряженности поля  $E$  от совместного действия зарядов  $+q_1$  и  $-q_2$  необходимо напряженности  $E_1$  и  $E_2$  сложить по правилу параллелограмма.

Тем же способом можно вычислить и построить напряженность в любой точке поля при любом числе электрических зарядов.

Положительный электрический заряд, внесенный в поле положительно заряженного тела шарообразной формы, удаленного от других зарядов, будет отталкиваться по прямой линии, являющейся продолжением радиуса заряженного тела.

Помещая электрический заряд в различные точки поля заряженного шара и отмечая траектории движения заряда под действием его электрических сил, получим ряд радиальных прямых, расходящихся от шара во все стороны. Эти воображаемые линии, по которым стремится двигаться положительный, лишённый инерции заряд, внесенный в электрическое поле, называется *электрическими силовыми линиями*.

С помощью силовых линий можно графически изобразить не только направление, но и величину напряженности электрического поля в данной точке

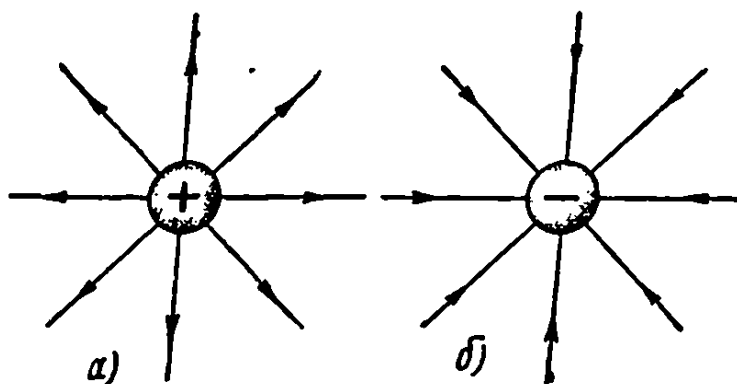
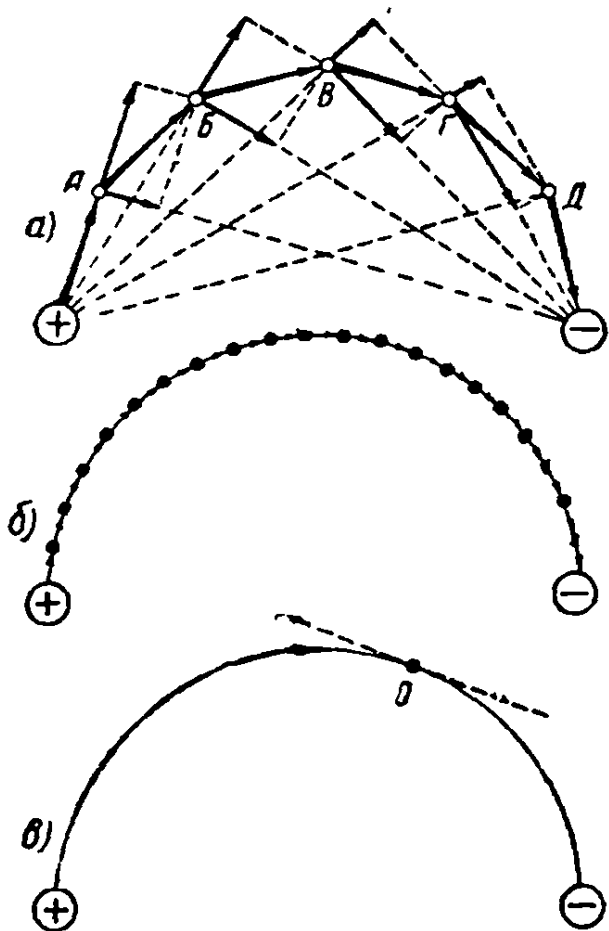


Рисунок 10. Силовые линии заряженного шара

На рисунке 10,  $a$  дано электрическое поле положительно заряженного шара, удаленного от других зарядов, а на рисунке 10,  $b$  дано поле отрицательно заряженного шара.

Рассмотрим более сложное электрическое поле между двумя разноименно заряженными физически точечными зарядами (рисунок 11,  $a$ ). Возьмем точку  $A$  и построим для нее вектор напряженности с учетом одно-временного действия двух заряженных тел. На конце вектора напряженности  $E_1$  ставим точку  $B$  и строим вектор напряжения в этой точке.

В точке  $B$ , установленной на конце вектора напряженности  $E_2$  строим вектор напряженности и т. д. Ломаная линия  $AB\Gamma D$  показывает направление электрического поля в точках  $A$ ,  $B$ ,  $\Gamma$  и  $D$ .



При большем числе точек (рисунок 11, б) ломаная линия, соединяющая эти точки, будет точнее передавать направление поля.

Точное представление о направлении поля даст линия с бесконечно большим числом точек на ней. При этом ломаная линия переходит в некоторую плавную кривую (рисунок 11, в).

Направление поля в данной точке совпадает с направлением напряженности в этой точке и может быть указано направлением касательной к силовой линии в этой же точке.

Рисунок 11. Направление поля в различных точках пространства

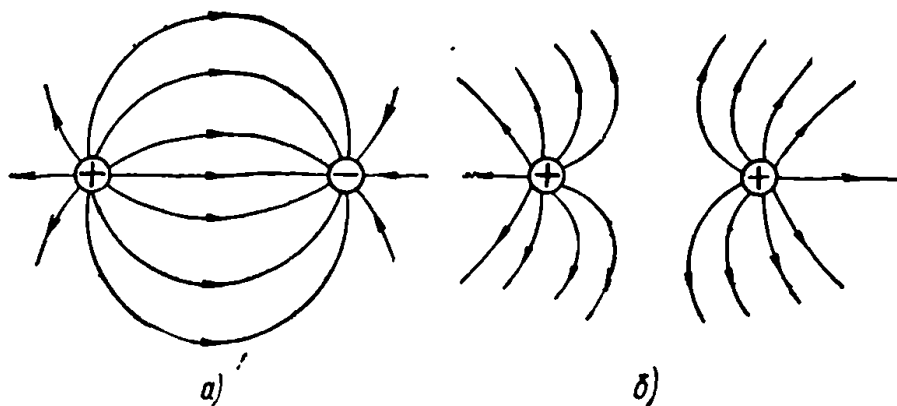
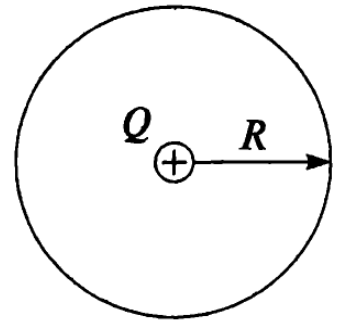


Рисунок 12. Электрические поля двух равных разноименных и одноименных зарядов

На рисунке 12, а дано изображение электрического поля двух физически точечных разноименных зарядов, а на рисунке 12, б — двух одноименных зарядов.

## Глава 5. Теорема Гаусса

Пусть точечный заряд  $Q$  помещен в центре сферы радиусом  $R$  (рисунок 13). Так как линии напряженности перпендикулярны этой поверхности, то поток напряженности сквозь сферическую поверхность



$$N = \oint_S E dS = E \oint_S dS = E4\pi R^2, \quad (7)$$

Рисунок 13

где  $\oint_S dS = 4\pi R^2$  — площадь сферической поверхности радиуса  $R$ .

Подставив значение напряженности  $E$  из формулы (5), найдем поток вектора напряженности

$$N = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2} 4\pi R^2 = \frac{Q}{\epsilon\epsilon_0}. \quad (8)$$

Заменив  $\epsilon_a = \epsilon\epsilon_0$ , получим математическое выражение теоремы Гаусса:

$$N = \frac{Q}{\epsilon_a} \quad (9)$$

Теорема Гаусса формулируется так: *поток вектора напряженности сквозь замкнутую поверхность равен отношению суммы зарядов, расположенных внутри этой поверхности, к абсолютной диэлектрической проницаемости среды.*

Теорему Гаусса применяют для расчета электрических полей.

Рассмотрим плоский конденсатор (рис. 1.9), который представляет собой две заряженные металлические пластины, разделенные диэлектриком.

Выделим на одной из пластин конденсатора площадку  $S$ , заряд которой

$$Q = \sigma S, \quad (10)$$



где  $\sigma$  — поверхностная плотность заряда, т.е. заряд, приходящийся на единицу поверхности.

Используя формулу (10) и теорему Гаусса (9), найдем поток вектора напряженности через выделенную поверхность

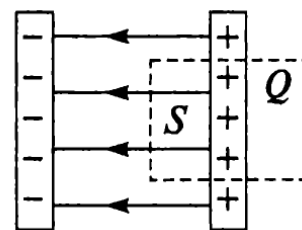


Рисунок 14

$$N = \frac{Q}{\epsilon_a} = \frac{\sigma S}{\epsilon_a} \quad (11)$$

Поскольку поле между пластинами конденсатора однородно, то можно подставить в формулу (11) выражение  $N = E S$

$$E S = \frac{\sigma S}{\epsilon_a}$$

Тогда напряженность поля между пластинами конденсатора с учетом (10)

$$E = \frac{\sigma S}{\epsilon_a S} = \frac{Q}{\epsilon_a S} \quad (12)$$

### Пример 1.3

В сферическую поверхность радиусом  $R = 6$  мм, заполненную дистиллированной водой, помещен заряд  $Q = 7 \cdot 10^{-7}$  Кл (рисунок 13). Определить поток вектора напряженности сквозь поверхность и напряженность на поверхности сферы.

### Решение

Подставив в формулу (1.9)  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м и  $\epsilon = 80$  для дистиллированной воды (из таблицы 1), определим поток вектора напряженности сквозь сферическую поверхность

$$N = \frac{Q}{\epsilon_a} = \frac{Q}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{7 \cdot 10^{-11}}{80 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 0,1 \text{ В} \cdot \text{м}.$$

Из формулы (1.7) найдем напряженность на поверхности сферы

$$E = \frac{N}{4\pi R^2} = \frac{0,1}{4 \cdot 3,14 \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2} = 221 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

## Контрольные вопросы и задания

1. Что называют потоком вектора напряженности электростатического поля?
2. Напишите формулу потока вектора напряженности однородного электрического поля и укажите единицу измерения.
3. Сформулируйте теорему Гаусса.
4. Применяя теорему Гаусса, выведите формулу напряженности однородного поля плоского конденсатора.

## Глава 6. Потенциал и разность потенциалов

Пусть мы имеем бесконечное равномерное электрическое поле. В точке  $M$  помещен заряд  $+Q$ . Предоставленный самому себе заряд  $+Q$  под действием электрических сил поля будет перемещаться в направлении поля на бесконечно большое расстояние. На это перемещение заряда будет затрачена энергия электрического поля. Потенциалом данной точки поля называется работа, которую затрачивает электрическое поле, когда оно перемещает положительную единицу заряда из данной точки поля в бесконечно удаленную точку.

Чтобы переместить заряд  $+Q$  из бесконечно удаленной точки снова в точку  $M$ , внешние силы должны произвести работу  $A$ , идущую на преодоление электрических сил поля. Тогда для потенциала  $\varphi$  точки  $M$  получим:

$$\varphi = \frac{A}{q} = \frac{1 \text{ джоуль}}{1 \text{ кулон}} = 1 \text{ вольт,}$$

так как 1 джоуль =  $10^7$  эрг, а 1 кулон =  $3 \cdot 10^9$  абс. ед. заряда,

$$\text{то } \varphi_{\text{практик}} = \frac{10^7}{3 \cdot 10^9} = \frac{1}{300} \text{ абс. ед. потенциала.}$$

Таким образом, абсолютная электростатическая единица потенциала больше практической единицы — вольта в триста раз.

Если заряд, равный 1 кулону, из бесконечно удаленной точки перемещается в точку поля, потенциал которой равен 1 вольту, то при этом совершается работа в 1 джоуль. Если же в точку поля с потенциалом 10 В из бесконечно удаленной точки перемещается 15 кулонов электричества, то совершается работа  $10 \cdot 15 = 150$  джоулей.

Математически эта зависимость выражается формулой:

$$A = 10 \cdot (20 - 15) = 50 \text{ джоулей}$$

или

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) \text{ джоулей.}$$

Изучая электрическое поле, отметим, что в этом поле разность потенциалов двух точек поля называется также напряжением между ними, измеряется в вольтах и обозначается буквой  $U$ .

Работу сил электрического поля можно записать и так:

$$A = qU.$$

## Глава 7. Электрическая емкость

Сообщение электрического заряда проводнику называется *электризацией*. Чем больший заряд принял проводник, тем больше его электризация, или, иначе говоря, тем выше его электрический потенциал.

Между количеством электричества и потенциалом данного уединенного проводника существует линейная зависимость: отношение заряда проводника к его потенциалу есть величина постоянная:

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

Для какого-либо другого проводника отношение заряда к потенциалу есть также величина постоянная, но отличная от этого отношения для первого проводника.

Одной из причин, влияющих на эту разницу, являются размеры самого проводника. Один и тот же заряд, сообщенный различным проводникам, может создать различные потенциалы. Чтобы повысить потенциал какого-либо проводника на одну единицу потенциала, необходим определенный заряд. •

Свойство проводящих тел накапливать и удерживать электрический заряд, измеряемое отношением заряда уединенного проводника к его потенциалу, называется *электрической емкостью*, или просто ёмкостью, и обозначается буквой  $C$ .

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

Приведенная формула позволяет установить единицу ёмкости.

Практически заряд измеряется в кулонах, потенциал в вольтах, а емкость в фарадах:

$$1 \text{ фарада} = \frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ вольт}}.$$

Емкостью в 1 фараду обладает проводник, которому сообщают заряд в 1 кулон и при этом потенциал проводника увеличивается на 1 вольт.

Единица емкости — фарада (обозначается  $\varphi$  или  $F$ ) очень велика. Поэтому чаще пользуются более мелкими единицами — микрофарадой ( $мкф$  или  $\mu F$ ), составляющей миллионную часть фарады:

$$1 \text{ мкф} = 10^{-6} \text{ ф},$$

и пикофардой (*пф*), составляющей миллионную часть микро. фарады:

$$1 \text{ пф} = 10^{-5} \text{ мкф} = 10^{-12} \text{ ф}.$$

Найдем выражение практической единицы — фарады в абсолютных единицах:

$$\frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ вольт}} = \frac{3 \cdot 10^9}{1/300} = 9 \cdot 10^{11} \text{ абс. ед. емкости (сантиметров)}.$$

Устройство, предназначенное для накопления электрических зарядов, называется *электрическим конденсатором*. Конденсатор состоит из двух металлических пластин (обкладок), разделенных между собой слоем диэлектрика. Чтобы зарядить конденсатор, нужно его обкладки соединить с полюсами электрической машины. Разноименные заряды, скопившиеся на обкладках конденсатора, связаны между собой электрическим полем. Близко расположенные пластины конденсатора, влияя одна на другую, позволяют получить на обкладках большой электрический заряд при относительно невысокой разности потенциалов между обкладками.

*Ёмкость конденсатора* — это отношение заряда конденсатора к разности потенциалов между его обкладками:

$$C = \frac{Q}{U} \text{ или } Q = CU.$$

Как показывают измерения, емкость конденсатора увеличится, если увеличить поверхность обкладок или приблизить их одну к другой. На ёмкость конденсатора оказывает влияние также материал диэлектрика. Чем больше электрическая проницаемость диэлектрика, тем больше емкость конденсатора по сравнению с емкостью такого же конденсатора, диэлектриком в котором служит пустота (воздух).

Выбирая диэлектрик для конденсатора, нужно стремиться к тому, чтобы диэлектрик обладал большой электрической прочностью (хорошими изолирующими качествами). Плохой диэлектрик приводит к пробоем его и разряду конденсатора. Несовершенный диэлектрик повлечет за собой утечку тока через него и постепенный разряд конденсатора.

Длинные линии передачи высокого напряжения можно рассматривать как своеобразные обкладки конденсатора. Емкость провода нужно рассматривать не только относительно другого провода, но также относительно земли, стен

помещений и окружающих предметов. Значительной емкостью обладают подводные и подземные кабели ввиду близкого расположения токоведущих жил между собой.

Конденсаторы, емкость которых изменять нельзя, называются *конденсаторами постоянной емкости*.

Наиболее распространенные в настоящее время конденсаторы постоянной емкости состоят из очень тонких металлических (станиолевых) листов с парафинированной бумажной или слюдяной прослойкой между ними.

Для увеличения емкости (увеличения площади пластин конденсатора) чаще всего берут по несколько станиолевых листов и соединяют их в две группы, входящие одна в другую и разделенные диэлектриком, как схематически показано на рисунке 14.

Иногда также берут две длинные станиолевые пластины, прокладывают между ними и снаружи парафинированную бумагу и затем свертывают все в компактный пакет или в трубку. Конденсаторы большой емкости во многих случаях, помещают в металлическую коробку и заливают парафином.

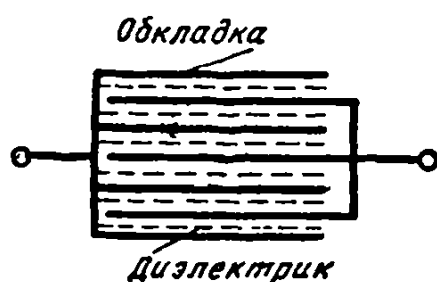


Рисунок 15. Схема устройства Конденсатора постоянной ёмкости

Определим емкость плоского конденсатора. Возьмем произвольную замкнутую поверхность вокруг одной из пластин конденсатора. Тогда по теореме Гаусса поток вектора напряженности, проходящий через любую замкнутую поверхность, внутри которой находится электрический заряд равен,

$$N = ES = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0}. \quad (a)$$

Предполагая, что поле конденсатора однородно (пренебрегая искажением поля у краев пластин), получаем:

$$E = \frac{U}{d}, \quad (б)$$

где  $d$  — расстояние между пластинами или толщина диэлектрика. Подставив значение  $E$  из формулы (б) в формулу (а), получим:

$$\frac{U}{d}S = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0},$$

откуда

$$q = U \frac{S\epsilon\epsilon_0}{d}.$$

Так как

$$C = \frac{q}{U},$$

то выражение емкости плоского конденсатора примет вид:

$$C = S \frac{\epsilon \epsilon_0}{d},$$

где  $S$  — площадь пластин в  $\text{м}^2$ ;

$d$  — толщина диэлектрика в м;

$\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость.

Таким образом, для увеличения емкости плоского конденсатора нужно увеличить площадь его пластин (обкладок)  $S$ , уменьшить расстояние между ними  $d$  и в качестве диэлектрика поставить материал с большой относительной электрической проницаемостью ( $\epsilon$ ).

Конденсаторы, емкость которых можно менять, называются *конденсаторами переменной емкости*.

Когда емкость одного конденсатора мала, то соединяют несколько конденсаторов параллельно (рисунок 17).

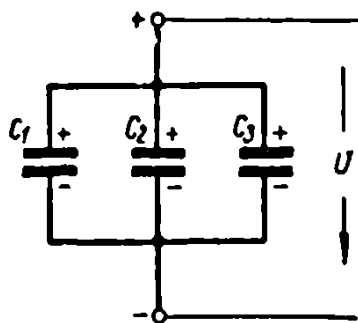


Рисунок 17 Параллельное Соединение конденсаторов

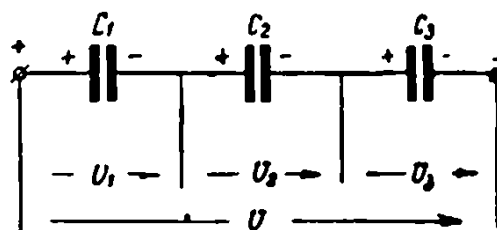


Рисунок 18. Последовательное соединение конденсаторов

При параллельном соединении конденсаторов напряжение на обкладках каждого конденсатора одно и то же. Поэтому можно написать:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U.$$

Количество электричества (заряд) каждого конденсатора:

$$q_1 = C_1 U; q_2 = C_2 U; q_3 = C_3 U.$$

Общий заряд батареи конденсаторов:

$$q = q_1 + q_2 + q_3;$$

$$q = C_1 U + C_2 U + C_3 U = U(C_1 + C_2 + C_3).$$

Обозначая емкость батареи конденсаторов через  $C$ , получаем:

$$q = CU,$$

тогда

$$CU = U(C_1 + C_2 + C_3)$$

или окончательно

$$C = C_1 + C_2 + C_3.$$

Следовательно, при параллельном соединении конденсаторов общая емкость равна сумме емкостей отдельных конденсаторов. При параллельном соединении каждый конденсатор окажется включенным на полное напряжение сети.

Рассмотрим последовательное соединение конденсаторов (рисунок 18).

При последовательном соединении каждый конденсатор независимо от величины его ёмкости получит один и тот же заряд, т. е.

$$q_1 = q_2 = q_3 = q.$$

Напряжение, приложенное ко всей батарее конденсаторов, равно сумме напряжений на обкладках каждого конденсатора:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Так как

$$U_1 = \frac{q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{q}{C_3},$$

для всей батареи

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

Тогда

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

или, сокращая на  $q$ , получим окончательно:

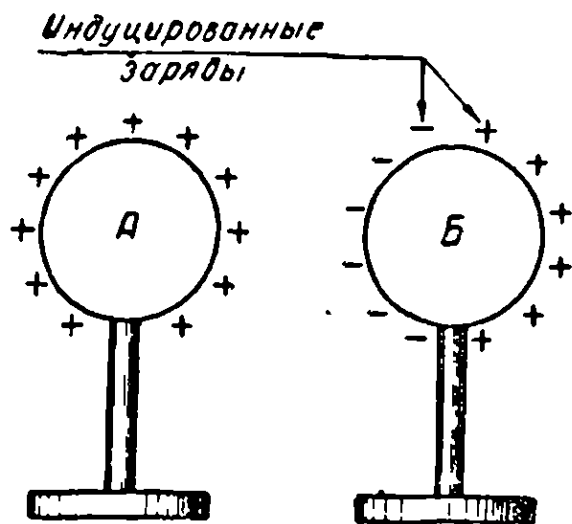
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

Таким образом, при последовательном соединении конденсаторов обратная величина общей емкости равна сумме обратных величин емкостей отдельных конденсаторов. Каждый из конденсаторов включен на меньшее напряжение, чем напряжение сети.

Конденсаторы широко применяются в радиотехнике, рентгенотехнике, высокочастотной промышленной электротехнике, для увеличения коэффициента мощности электроустановок и т. д.

## Глава 8. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

**8.1 Проводники.** Если незаряженный изолированный проводник внести в электрическое поле, то в результате действия электрических сил поля в проводнике происходит разделение электрических зарядов. На рисунке 15 показан положительно заряженный металлический шар  $A$ , в поле которого внесен проводник  $B$ . Свободные электроны проводника придут в движение в направлении, противоположном направлению электрического поля.



В результате на конце проводника, обращенном к заряженному шару, окажется избыток электронов, обуславливающий отрицательный заряд

проводника этого конца, на другом конце Рисунок 15. Электростатическая окажется недостаток электронов, индукция

обуславливающий положительный заряд

этой части проводника.

Разделение зарядов на проводнике под влиянием заряженного тела называется электризацией через влияние или электростатической индукцией, а заряды на проводнике-индуцированными зарядами.



По мере приближения проводника  $B$  к заряженному шару  $A$  количество индуцированных зарядов на проводнике увеличивается. Электрическое поле заряженного шара  $A$  изменяется, как только в нем окажется проводник  $B$ .

Электрические силовые линии шара  $A$ , расходившиеся ранее равномерно и радиально, теперь изогнутся в сторону проводника. Так как началами и концами электрических силовых линий являются электрические заряды, лежащие на поверхности проводников, то, начинаясь у поверхности с положительными зарядами, силовая линия кончается у поверхности с отрицательными зарядами. Внутри проводника электрическое поле существовать не может.

В противном случае между отдельными точками проводника существовала бы разность потенциалов, в проводнике происходило бы движение зарядов (ток проводимости) до тех пор, пока вследствие перераспределения зарядов потенциалы всех точек проводника не стали бы равными.

Этим пользуются, когда хотят оградить проводник от влияния внешних электрических полей. Для этого проводник окружают другим проводником, выполненным в виде сплошной металлической поверхности или проволочной сетки с мелкими отверстиями. Индуцированные заряды, образовавшиеся на проводнике в результате влияния на него заряженного поля, можно отделить один от другого, если разломить проводник пополам.

Проводник, попав в электрическое поле заряженного металлического тела, в свою очередь оказывает влияние на распределение частиц заряда на этом теле, заставляя большую часть заряда наэлектризованного тела скапливаться на стороне, обращенной к проводнику.

Если проводник вынести из электрического поля, то индуцированные заряды на нем пропадают и проводник снова становится незаряженным.

## 8.2 Диэлектрики

На практике необходима изоляция токоведущих частей электрических установок от заземленных частей, а также между собой. Это нужно для того, чтобы направить ток по пути, предусмотренному электрической схемой установки.

В технике применяют твердые, жидкие и газообразные диэлектрики. Твердыми диэлектриками являются фарфор, слюда, резина, стекло и др. В качестве жидких диэлектриков применяют трансформаторное, кабельное и конденсаторное масло, синтетические жидкости — совол и совтол. Наиболее часто в качестве газообразного диэлектрика применяется воздух.

Молекула диэлектрика состоит из положительных и отрицательных ионов, а также электронов. Свободных электронов в диэлектрике очень мало.

На практике диэлектрик не является абсолютным изолятором. В обычном состоянии элементарные заряды молекулы диэлектрика находятся в хаотическом тепловом колебательном движении около центров равновесия. Если включить диэлектрик в цепь постоянного напряжения (конденсатор), то под действием сил

электрического поля элементарные заряды молекул диэлектрика переместятся в направлении действующих на них сил. В результате смещения зарядов внутри диэлектрика в цепи возникает кратковременный ток, называемый *током поляризации*. Спустя очень короткое время ( $10^{-13}$ — $10^{-15}$  сек.) ток поляризации прекращается.

В реальном диэлектрике всегда имеются ионы и свободные электроны. Под действием электрического поля ионы и свободные электроны начнут перемещаться внутри диэлектрика, образуя *ток утечки*. Величина тока утечки в ряде случаев значительно больше величины тока поляризации. Проходя сквозь диэлектрик, ток утечки, по закону Джоуля—Ленца, выделяет тепло. Если включить диэлектрик в цепь переменного напряжения, то процесс поляризации будет проходить периодически то в одном, то в другом направлении и в цепи возникнет переменный ток. Непрерывно повторяющийся процесс потребует затраты энергии. Периодическое перемещение в материале диэлектрика ионов и свободных электронов вызовет ток утечки.

Важнейшими характеристиками диэлектрика являются:

- удельное сопротивление;
- электрическая проницаемость;
- угол диэлектрических потерь;
- электрическая прочность.

### 8.3. Удельное сопротивление

Так как технический диэлектрик не является абсолютным изолятором, то во время работы он пропускает ток. Величина этого тока очень мала по сравнению с рабочими токами, протекающими по токоведущим частям электрической установки (провода, шины, кабели). Ток имеет два пути для своего прохождения: сквозь толщу диэлектрика и по его поверхности (рисунок 19).

Общий ток — ток утечки  $I_y$  равен сумме токов: тока, проходящего сквозь толщу (по объему) диэлектрика —  $I_{об}$ , и тока, проходящего по поверхности диэлектрика —  $I_{пов}$ ,

$$I_y = I_{об} + I_{пов}.$$

Проходя двумя путями, ток преодолевает объемное сопротивление  $r_{об}$  и поверхностное сопротивление  $r_{пов}$ . Полное сопротивление изоляции  $r_{из}$  определится:

$$r_{из} = \frac{U}{I_y}, \quad \text{где } r_{из} = \frac{r_{об}r_{пов}}{r_{об} + r_{пов}}.$$

Сопротивление единицы объема называется удельным объемным сопротивлением и обозначается  $\rho_v$ .

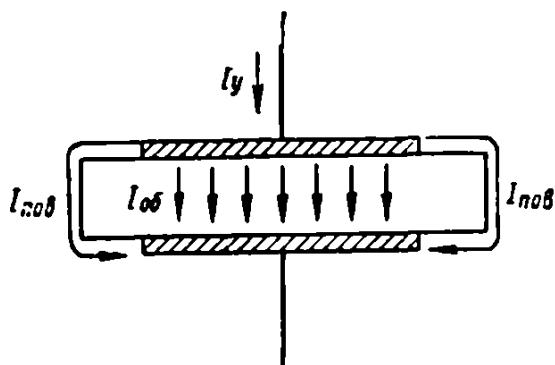


Рисунок 19. Ток утечки диэлектрика

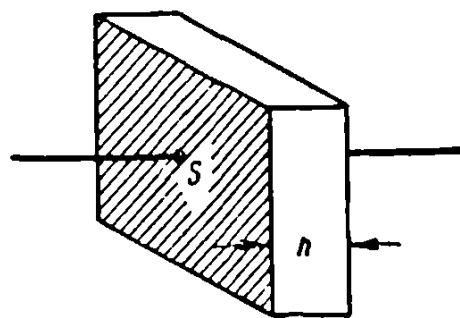


Рисунок 20. Объёмное сопротивление диэлектрика

За единицу объемного сопротивления принимают сопротивление вырезанного из данного материала кубика с ребром 1 см.

если ток проходит через две его противоположные грани (рисунок 20). Объемное сопротивление измеряется в (ом · см) и определяется по формуле

$$r_{об} = \rho_v \frac{h}{S},$$

где  $h$  — толщина диэлектрика в см<sup>2</sup>;  
 $S$  — площадь боковой грани в см<sup>2</sup>.

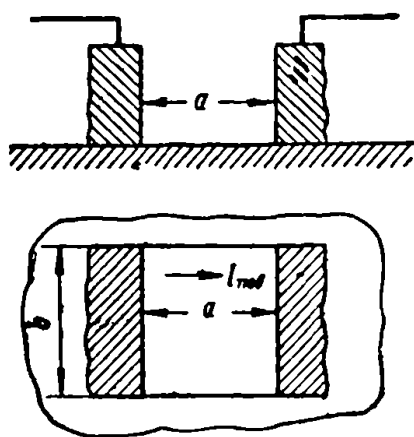


Рисунок 21

Сопротивление единицы поверхности диэлектрика называется удельным поверхностным сопротивлением,

обозначается  $\rho_s$  и измеряется в омах.

За единицу поверхностного сопротивления принимают сопротивление прямоугольника (любых размеров), выделенного на

поверхности материала, если ток проходит через две противоположные стороны этого прямоугольника (рисунок 21).

Поверхностное сопротивление определяется по формуле:

$$r_{пов} = \rho_s \frac{a}{b},$$

где  $a$  — расстояние между параллельно поставленными электродами;  
 $b$  — ширина электродов.

Удельное сопротивление диэлектрика зависит от состояния вещества (твердое, жидкое или газообразное), состава диэлектрика, влажности и температуры окружающей среды.

#### 8.4. Электрическая проницаемость

Электрическая проницаемость является величиной, характеризующей емкость диэлектрика, помещенного между обкладками конденсатора. Как известно, емкость плоского конденсатора зависит от величины площади обкладок (чем больше площадь обкладок, тем больше емкость), расстояния между обкладками или толщины диэлектрика (чем толще диэлектрик, тем меньше емкость), а также от материала диэлектрика, характеристикой которого служит электрическая проницаемость.

Численно электрическая проницаемость равна отношению емкости конденсатора с каким-либо диэлектриком к емкости такого же воздушного конденсатора. Для создания компактных конденсаторов необходимо применять диэлектрики с высокой электрической проницаемостью. Электрическая проницаемость большинства диэлектриков составляет несколько единиц.

В технике получены диэлектрики с высокой и со сверхвысокой электрической проницаемостью. Основная их часть — рутит (двуокись титана).

##### § 13. Угол диэлектрических потерь

В реальном диэлектрике при работе его в электрическом поле, образованном переменным напряжением, происходит выделение тепловой энергии. Мощность, поглощаемая при этом, называется *диэлектрическими потерями*.

В идеальном диэлектрике емкостный ток опережает по фазе напряжение на  $90^\circ$ . В реальном диэлектрике емкостный ток опережает напряжение на угол, меньший  $90^\circ$ . На уменьшение угла оказывает влияние ток утечки, называемый иначе *током проводимости*. Разность между  $90^\circ$  и углом сдвига между напряжением и током, проходящим в цепи с реальным диэлектриком, называется *углом диэлектрических потерь* или *углом потерь* и обозначается  $\delta$  (дельта). Чаше определяют не сам угол  $\delta$ , а тангенс этого угла —  $tg \delta$ .

Установлено, что диэлектрические потери пропорциональны квадрату напряжения, частоте переменного тока, емкости конденсатора и тангенсу угла диэлектрических потерь.

Следовательно, чем больше  $tg \delta$ , тем больше потери энергии в диэлектрике, тем хуже материал диэлектрика. Материалы с относительно большим  $tg \delta$  (порядка 0,08—0,1 и более) являются плохими изоляторами. Материалы с относительно малым  $tg \delta$  (порядка 0,0001) являются хорошими изоляторами.

#### 8.4. Электрическая прочность

Электрическая прочность диэлектрика является одной из основных характеристик изолирующих материалов. Напряженность электрического поля, при которой электроизолирующий материал может нормально работать, не

должна превышать некоторого вполне определенного значения. При некотором значении напряженности происходит нарушение процесса работы диэлектрика, материал его пронизывается искрой, переходящей в дугу. Диэлектрик теряет при этом свои изолирующие свойства, сопротивление его резко уменьшается, и токоведущие части, разделенные ранее изолирующим промежутком, замыкаются накоротко. Наступает пробой диэлектрика. Напряжение, при котором происходит пробой, называется *пробивным напряжением*  $U_{пр}$ , соответствующее значение напряженности поля — *пробивной напряженностью*  $E_{пр}$  или пробивной прочностью (электрической прочностью):

$$E_{пр} = \frac{U \text{ кВ}}{h \text{ см}} \text{ или } \frac{\text{кВ}}{\text{мм}},$$

где  $h$  — толщина диэлектрика.

Следовательно, электроизоляционный материал в условиях эксплуатации не должен работать при напряжении, вызывающем пробой диэлектрика.

Различают два вида пробоя твердого диэлектрика: электрический и тепловой. Электрический пробой объясняется разрушением структуры вещества под действием сил электрического поля.

В слабом электрическом поле электрические заряды упруго смещаются, вызывая поляризацию диэлектрика. Если же напряженность поля достигает величины пробивной напряженности, происходит срыв заряженных частиц с первоначальных положений, что приводит к пробую.

При работе диэлектрика в переменном электрическом поле выделяется тепло за счет электрических потерь. При отрицательном температурном коэффициенте сопротивления нагрев материала будет сопровождаться уменьшением сопротивления диэлектрика. Это приведет к увеличению тока, проходящего сквозь диэлектрик, и к еще более сильному нагреву материала. Таким образом, процесс нагрева все время усиливается до тех пор, пока материал не нагреется настолько, что будет разрушен (расплавлен, обуглен и т. п.).

Пробой газообразных диэлектриков (воздуха) вызван образованием и движением ионов в газообразной среде при высоких значениях напряженности электрического поля

В однородном электрическом поле (между двумя остриями, острием и плоскостью, проводами высоковольтных линий и т. п.), в местах, где напряженность поля достигает критических значений, возникает *тихий разряд*, сопровождающийся жужжанием или потрескиванием с образованием фиолетового свечения (явление короны).

*Тихий разряд* с увеличением напряжения может перейти в *искровой*, затем в кистевой и, наконец, в дуговой разряд (если мощность источника напряжения велика).

Пробой воздуха у поверхности твердого диэлектрика называется *поверхностным разрядом* (перекрытием). Для увеличения поверхности изоляционных деталей ее делают волнистой.

На пробивную прочность жидких диэлектриков в сильной степени оказывают влияние влага, газы, механические и химические примеси. Пробой жидких диэлектриков возникает в результате перегрева жидкости и разрушения ее молекул.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Два электрических заряда  $5 \cdot 10^{-5}$  К и  $3 \cdot 10^{-4}$  К находятся на расстоянии 10 см один от другого в пустоте. Определить силу взаимодействия между зарядами  
Ответ: **1,35 Н = 137,7 Г**

2. Два электрических заряда 40 ед. СГСЭ и 25 ед. СГСЭ находятся на расстоянии 5 см в трансформаторном масле. Определить силу взаимодействия между зарядами.

**Ответ: 18.15 дн**

3. На заряд  $2 \cdot 10^{-7}$  К действует сила 0,1 Н. Определить расстояние, на котором находится второй заряд  $4,5 \cdot 10^{-7}$  К. Оба заряда находятся в пустоте.

**Ответ: 9 см**

4. Определить напряженность электрического поля на расстоянии 20 см от заряда  $2 \cdot 10^{-6}$  К. в пустоте. **Ответ:  $4,5 \cdot 10^3$  в/см**

5. Определить заряд, который создает на расстоянии 30 см в пустоте напряженность электрического поля, равную 40 В / см. **Ответ:  $4 \cdot 10^{-8}$  К**

6. Определить потенциал в точке электрического поля, если на перенос заряда  $5 \cdot 10^{-7}$  К в эту точку поля было затрачено 0,05 Дж работы. **Ответ:  $10^5$  В**

7. Потенциал точки А —50 В, точки В —80 В. Определить работу, которую нужно затратить, чтобы заряд в 5 К перенести из точки А в точку В.

**Ответ: 150 Дж**

8. Определить емкость проводника, если ему сообщили заряд  $2 \cdot 10^{-3}$  К, а потенциал проводника при этом увеличился на 500 В. **Ответ: 4 мкФ**

9. Определить емкость плоского конденсатора, если площадь его обкладок  $40 \text{ см}^2$ . Диэлектриком конденсатора является бумага толщиной 0,1 мм, пропитанная парафином. **Ответ: 1/300 мкФ**

### Контрольные вопросы

1. Как устроен атом вещества с точки зрения электронной теории?
2. Что называется проводником и изолятором? Привести примеры,
3. Как читается закон Кулона? Для чего служит формула Кулона?
4. Что называется электрическим полем?
5. Что называется напряженностью электрического поля?
6. Как графически определить напряженность электрического поля, созданного несколькими точечными электрическими зарядами?
7. Как распределяются части электрического заряда на поверхности проводников различной формы?
8. Что произойдет с проводником, если его внести в электрическое поле?
9. Что произойдет с диэлектриком, если его внести в электрическое поле?

10. Что называется электрическим потенциалом? В каких единицах он измеряется? Как его определить?
11. Как определить работу по переносу заряда из одной точки электрического поля в другую?
12. Что называется электрической емкостью? В каких единицах она измеряется?
13. Как устроены электрические конденсаторы и для чего они служат?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основные источники

1. Иванов И.И., Соловьев Г.И., Фролов В. Я. И 20 Электротехника и основы электроники: Учебник. — 8е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 736 с. ЭБС ЛАНЬ
2. И.О. Мартынова. Электротехника: учебник/. — М.: КНОРУС, 2015. — 304 с. — (Среднее профессиональное образование).
3. Шестеркин А.Н. Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники. Учебное пособие для вузов, 2015г» - коллекция «Инженерно-технической науки - Издательство Горячая линия - Телеком ЭБС ЛАНЬ

### Дополнительные источники

4. И. А. Данилов, П. М. Иванов «Общая электротехника с основами электроники» Учеб. пособие для студ. неэлектротехнических спец. Учеб. Заведений /М.: Высш. шк, 2005. -752 с.
5. В. А. Гаврилюк . Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов/ В.А. Гаврилюк,
6. Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко - Киев: Высшая школа. 1980. - 480 с.

### Интернет-ресурсы

[http://www.ielectro.ru/Products.html?fn\\_tab2doc=4](http://www.ielectro.ru/Products.html?fn_tab2doc=4)  
<http://electricalschool.info/spravochnik/electroteh/>  
<http://docs.cntd.ru/document/1200011373>      <http://www.sonel.ru/ru/biblio/theory/>  
<http://fcior.edu.ru/search.page?phrase=%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0> <http://any-book.org/download/69479.html>