



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

## Практикум

Лабораторная работа № Э35  
«Определение диэлектрической  
проницаемости»  
по дисциплине

## «Физика»

Авторы

Егорова С. И.,

Жданова Т. П.,

Кудря А. П.,

Лемешко Г. Ф.,

Лещева О. А.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Методические указания содержат краткое описание теории электростатического поля, описание лабораторной установки и методику определения диэлектрической проницаемости.

Предназначены для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, в программу учебного курса которых входит выполнение лабораторных работ по физике (раздел Электричество).

## Авторы

д.т.н., профессор	кафедры	«Физика»
Егорова С.И.,		
к.ф.-м.н., доцент	кафедры	«Физика»
Жданова Т.П.,		
ст. преподаватель	кафедры	«Физика»
Кудря А.П.,		
к.ф.-м.н., профессор	кафедры	«Физика»
Лемешко Г.Ф.,		
доцент кафедры «Физика»	Лещева О.А.	



## Оглавление

<b>Цель работы:</b> .....	<b>4</b>
<b>Оборудование:</b> .....	<b>4</b>
<b>Краткая теория</b> .....	<b>4</b>
<b>Экспериментальная установка</b> .....	<b>8</b>
<b>Порядок выполнения работы</b> .....	<b>8</b>
<b>Контрольные вопросы</b> .....	<b>11</b>
<b>Литература</b> .....	<b>11</b>

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1) определение диэлектрической проницаемости исследуемого диэлектрика; 2) определение поверхностной плотности свободных и связанных зарядов; 3) вычисление емкости конденсаторов и батареи.

## ОБОРУДОВАНИЕ:

оптическая скамья, измеритель напряженности электрического поля, блок питания, мультиметры (вольтметр с пределом 1000 В и вольтметр с пределом 20 В), исследуемый диэлектрик.

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

**Электростатическое поле** создается неподвижными электрическими зарядами.

Для характеристики электростатического поля вводятся величины:

1.  $\vec{E}$  - напряжённость – силовая характеристика;
2.  $\varphi$  - потенциал – энергетическая характеристика.

**Напряжённость** электростатического поля в данной точке – векторная физическая величина, численно равная силе, действующей на единичный положительный заряд, помещённый в эту точку:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \text{ (единица измерения В/м=Н/Кл).}$$

**Потенциал** в некоторой точке электростатического поля – скалярная физическая величина, численно равная потенциальной энергии единичного положительного заряда, помещённого в эту точку:

$$\varphi = \frac{W}{q} \text{ (единица измерения В=Дж/Кл).}$$

**Силовые линии** – линии, касательные в каждой точке к которым совпадают с вектором напряжённости  $\vec{E}$ . Линии напряжённости начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных, никогда не пересекаются.

**Эквипотенциальные поверхности** – поверхности равного потенциала. Линии напряжённости всегда перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.

Связь между напряженностью и разностью потенциалов:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_0^d E \cdot dx, \text{ где } d - \text{ расстояние между точками электрического поля } 1 \text{ и } 2.$$

Для однородного поля, т.е. когда величина и направление напряжённости одинаковы во всём пространстве, получаем:  $\varphi_1 - \varphi_2 = E \cdot d$ . При этом разность потенциалов равна напряжённости, т.е.  $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ .

**Диэлектрики** – это вещества, плохо проводящие электрический ток. Под действием электрического поля происходит поляризация диэлектриков. При этом электрическое поле внутри диэлектрика меняется.

Величина, показывающая, во сколько раз напряжённость поля в диэлектрике меньше, чем в вакууме, называется **диэлектрической проницаемостью**  $\varepsilon = \frac{E_0}{E}$ .

Электрическое поле характеризуется **вектором электростатического смещения**  $\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$ , который не меняется при переходе из одного диэлектрика в другой.

**Конденсатор** – система, состоящая из двух разноимённо заряженных проводников, разделённых слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников.

Емкость конденсатора  $C = \frac{q}{U}$ , где  $q$  – заряд пластины,  $U$  – напряжение между пластинами.

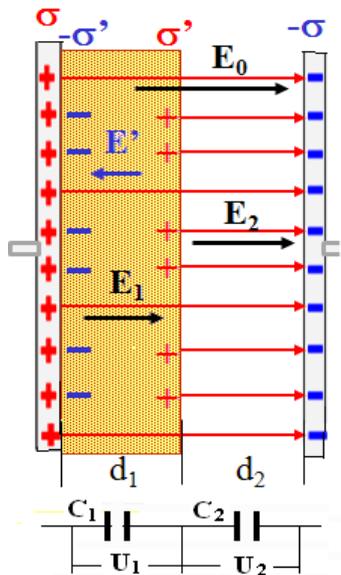
Емкость плоского конденсатора  $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$ , где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость диэлектрика;  $S$  – площадь каждой пластины;  $d$  – расстояние между пластинами.

При **последовательном** соединении конденсаторов общая емкость определяется выражением

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

При **параллельном** соединении конденсаторов общая емкость определяется выражением

$$C = C_1 + C_2.$$



Если в пространство между пластинами плоского конденсатора ввести диэлектрик толщиной  $d_1$  и вплотную прижать к левой пластине (рис.1), то получим батарею, состоящую из двух последовательно соединенных конденсаторов. Электроемкость конденсатора

с диэлектриком  $C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d_1}$  и воз-

душного  $C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 S}{d_2}$ ,

(1)

где:  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная,

$\varepsilon_1$  – диэлектрическая проницаемость

исследуемого диэлектрика,  $S$  – площадь перекрытия пластин конденсатора,  $\varepsilon_2 = 1$  – диэлектрическая проницаемость воздуха,  $d_2$  – расстояние между заряженными плоскостями второго конденсатора.

Приложенное к батарее напряжение равно сумме напряжений на двух конденсаторах:

$$U = U_1 + U_2. \quad (2)$$

Напряжения на каждом конденсаторе связаны с напряженностью электрического поля:

$$U_1 = E_1 d_1 \text{ и } U_2 = E_2 d_2, \quad (3)$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – напряженности электрического поля соответственно в первом и во втором конденсаторах

(рис.1).

Модуль вектора электрического смещения равен

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 E_2. \quad (4)$$

Из (4) следует, что напряженность электрического поля в диэлектрике

$$E_1 = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} E_2 = \frac{E_2}{\varepsilon_1}, \text{ т.к. } \varepsilon_2 = 1. \quad (5)$$

Подставив (3) и (5) в (2), получим

$$\varepsilon_1 = \frac{d_1}{U/E_2 - d_2}. \quad (6)$$

Поверхностная плотность свободных зарядов на металлических пластинах равна

$$\sigma = D = \varepsilon_0 E_2. \quad (7)$$

В электрическом поле свободных зарядов напряженностью  $E_0$  диэлектрик поляризуется и его связанные заряды, с поверхностной плотностью  $\sigma'$ , создают поле, вектор напряженности  $E'$  которого направлен против  $E_0$  (рис.1). Поэтому, модуль вектора напряженности электрического поля в диэлектрике

$$E_1 = E_0 - E'. \quad (8)$$

Модули векторов  $E_0$  и  $E'$  можно выразить через поверхностные плотности свободных и связанных зарядов

$$E_0 = \sigma / \varepsilon_0, \quad E' = \sigma' / \varepsilon_0.$$

Тогда уравнение (8) представим в виде  $E_1 = (\sigma - \sigma') / \varepsilon_0$ , откуда поверхностная плотность связанных зарядов  $\sigma' = \sigma - E_1 \varepsilon_0$ , а с учетом (5) и (7)

$$\sigma' = \varepsilon_0 E_2 - \varepsilon_0 E_2 / \varepsilon_1 = \varepsilon_0 E_2 \frac{\varepsilon_1 - 1}{\varepsilon_1}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что поверхностная плотность связанных зарядов:

- 1) зависит от диэлектрической проницаемости вещества;
- 2) меньше поверхностной плотности свободных зарядов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

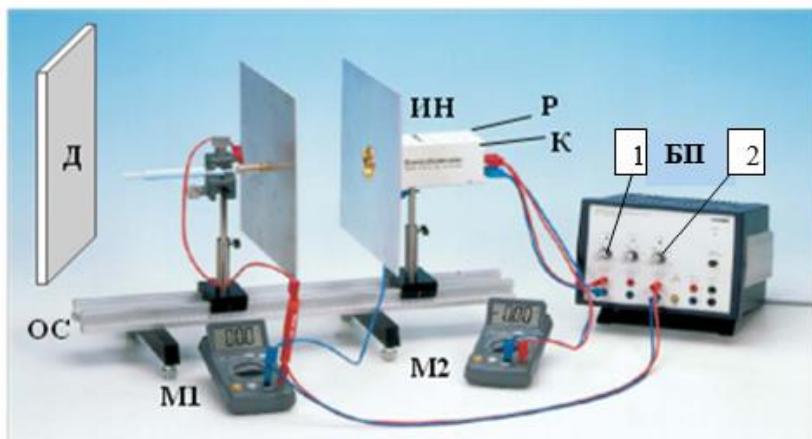


Рис. 2

На оптической скамье **ОС** закреплены пластины плоского конденсатора; на одной из пластин установлен измеритель напряженности **ИН** электрического поля; напряжение на пластины конденсатора и на измеритель напряженности подается от блока питания **БП**; напряжение между пластинами конденсатора измеряется мультиметром **М1** (предел **1000 V**), показание измерителя напряжённости регистрируется мультиметром **М2** (предел **200 V**); на корпусе измерителя установлены: кнопка **К** выбора диапазона измерения напряженности (когда она нажата, мультиметр **М2** показывает величину напряженности (**кВ/м**)); регулятор **Р**, обеспечивающий настройку **ИН**. Исследуемый диэлектрик **Д**.

**Внимание! Запрещается касаться пластин конденсатора, когда они находятся под напряжением!**

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Левую пластину конденсатора вплотную подвиньте к правой пластине и зафиксируйте по масштабной линейке расстояние  $l_0$  (рис.2).
2. Установите левую пластину на расстоянии  $l_0 + 2$  см от правой пластины, т.е. расстояние между пластинами конденсатора

$$d = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м.}$$

3. Прикрепите вплотную к левой пластине конденсатора (рис.2) диэлектрик толщиной  $d_1$  (см. на установке).
4. Вычислите толщину воздушного конденсатора по формуле  $d_2 = d - d_1$ , где  $d$  – расстояние между металлическими пластинами.
5. Включите блок питания **БП** и мультиметры.
7. С помощью регулятора 1 на блоке питания **БП** установите напряжение  $\sim 10$  В, а регулятор 2 установите на ноль, что соответствует нулевому напряжению между пластинами конденсатора.
8. С помощью регулятора **Р** на измерителе напряженности **ИН** установить «0» на мультиметре **М2**.
9. Кнопкой **К** на корпусе измерителя напряжённости **ИН** (рис.2) установите свечение светодиода на позиции «10 кВ/м».

**Задание 1.** *Определение диэлектрической проницаемости исследуемого диэлектрика*

1. С помощью регулятора **2** на блоке питания **БП** установите на мультиметре **М1** напряжение между обкладками конденсатора 50 В и измерьте с помощью мультиметра **М2** напряженность электрического поля  $E_2$  в воздушном конденсаторе.
2. Повторите измерения  $E_2$  для напряжений 60, 70, 80, 90, 100 В.
3. Экспериментальную установку отключите от сети.
4. Для каждого измерения вычислите диэлектрическую проницаемость диэлектрика  $\varepsilon_1$  по формуле (6).
8. Результаты эксперимента и вычислений занесите в таблицу.
9. Вычислите абсолютную и относительную погрешности по формулам:

$$\Delta \varepsilon_i = \left| \langle \varepsilon \rangle - \varepsilon_i \right|, \quad \delta \varepsilon_i = \frac{\langle \Delta \varepsilon_i \rangle}{\langle \varepsilon_i \rangle} 100\%.$$

**Задание 2.** *Определение поверхностной плотности свободных и связанных зарядов.*

1. Используя среднее значение диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_1$  и экспериментальные данные задания 1, для каждого пока-

зания измерителя напряженности вычислите:

а) поверхностную плотность свободных зарядов  $\sigma$  по форму-

ле  $\sigma = \varepsilon_0 E_2$ ;

б) поверхностную плотность связанных зарядов  $\sigma'$  по форму-

ле  $\sigma' = \varepsilon_0 E_2 \frac{\varepsilon_1 - 1}{\varepsilon_1}$ .

2. Данные эксперимента и вычислений занесите в таблицу.
3. Постройте графики зависимостей поверхностных плотностей свободных и связанных зарядов от напряженности электрического поля в воздушном зазоре конденсатора  $\sigma(E_2)$ ,  $\sigma'(E_2)$ .
4. По выполненной работе сделайте вывод.

### **Задание 3.** *Определение емкости конденсаторов*

1. Измерьте ширину  $X$  и высоту  $Y$  перекрытия металлических пластин (рис.2) и вычислите площадь перекрытия :  $S = X \cdot Y$ .

2. Используя значения  $d_1$  и  $d_2$  вычислите по формулам (1) емкости конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ , а также емкость батареи ( $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ ).

3. Вычислите емкость конденсатора  $C_0$  без диэлектрика с учетом того, что  $d = d_1 + d_2$ .

4. Сопоставьте численные значения  $C_0$  и  $C$ . Сделайте вывод.

Таблица

$d = 0,02 \text{ м}$		$d_1 =$			$d_2 =$		
№, п/п	$U, \text{ В}$	$E_2, \text{ кВ/м}$	$\epsilon_1$	$\Delta\epsilon_1$	$\delta\epsilon_1, \%$	$\sigma, \text{ Кл/м}^2$	$\sigma', \text{ Кл/м}^2$
1					X		
2							
3							
4							
5							
6							
Средние значения							

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое конденсатор?
2. Что называется ёмкостью конденсатора?
3. Формула ёмкости плоского конденсатора.
4. Ёмкость при последовательном и параллельном соединении конденсаторов.
5. Что называется диэлектриком?
6. Каков физический смысл диэлектрической проницаемости среды?
7. Какие физические процессы происходят в диэлектрике при внесении его в электрическое поле плоского конденсатора?
8. Связь напряжённости и электростатического смещения.
9. В чем заключаются отличия между поверхностными плотностями свободных и связанных зарядов?
10. Как изменяется ёмкость конденсатора при заполнении пространства между его обкладками диэлектриком?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 2016
2. Грабовский Р.И. Курс физики - СПб.: Лань, 2012
3. Инструкция по эксплуатации оборудования фирмы "PHYWE".