

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА»

А.Л. Суркаев

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ТВЕРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА**

Методические указания



Волгоград  
2015

УДК 53 (075.5)

Рецензент:

*Канд. физ.-мат. наук, доцент Т.А. Сухова*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

А.Л. Суркаев, **Определение диэлектрической восприимчивости твердого диэлектрика** [Электронный ресурс]: методические указания //Сборник «Методические указания» Выпуск 3.-Электрон. текстовые дан.(1файл:141Kb) – Волжский: ВПИ (филиал) ГОУВПО ВолгГТУ, 2015.-Систем.требования:Windows 95 и выше; ПК с процессором 486+; CD-ROM.

Методические указания содержат рекомендации к выполнению лабораторной работы, представленной во второй части практикума кафедры «Прикладная физика и математика» Волжского политехнического института.  
Предназначены для студентов всех форм обучения.

©Волгоградский  
государственный  
технический  
университет, 2015  
© Волжский  
политехнический  
институт, 2015

## Лабораторная работа № 240

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ТВЕРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА

**240.1. Цель работы:** определение диэлектрической восприимчивости твердого диэлектрика.

#### 240.2. Содержание работы

Все вещества по способности проводить электрический ток разделяются на три вида: 1) проводники; 2) полупроводники; 3) диэлектрики.

Диэлектрики - вещества, относительно плохо проводящие электрический ток (по сравнению с проводниками). Термин диэлектрики был введен М. Фарадеем для обозначения сред, через которые проникает электростатическое поле (в отличие от металлов, экранирующих электростатическое поле). В диэлектриках различают два вида зарядов - свободные и связанные. Связанными зарядами называют заряды, входящие в состав атомов и молекул, а также заряды ионов в кристаллических диэлектриках с ионной решеткой. Свободными зарядами являются: 1) заряды носителей тока (свободные заряженные частицы); 2) избыточные заряды, сообщенные телу и нарушающие его электронейтральность.

Создаваемое внешними источниками и поддерживаемое в веществе постоянное электрическое поле вызывает направленное перемещение зарядов, то есть электрический ток, а также приводит к перераспределению электрических и появлению (или изменению) электрического дипольного момента в любом объеме вещества, то есть к его поляризации.

Заменив все положительные заряды ядер молекул одним суммарным зарядом  $+q$ , находящимся в центре масс положительных зарядов, а все отрицательные заряды - одним суммарным отрицательным зарядом  $-q$ , рас-

положенном в центре масс отрицательных зарядов, можно рассматривать молекулу диэлектрика как диполь, состоящий из зарядов  $+q$  и  $-q$ , который имеет электрический момент  $\vec{P}_i = q\vec{\ell}$  и создаст электрическое поле.

В молекулах некоторых диэлектриков ( $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CCl_4$ , углеводороды) электроны расположены симметрично вокруг ядер. В этих молекулах центры масс положительных и отрицательных зарядов в отсутствие величины диэлектрического поля совпадают ( $\ell = 0$ ) и дипольный момент молекулы  $\vec{P}_i = 0$ . Молекулы таких диэлектриков называют неполярными (рис. 1).

Если неполярную молекулу поместить во внешнее поле, то в ней индуцируется дипольный момент, значение которого зависит от напряженности внешнего поля.

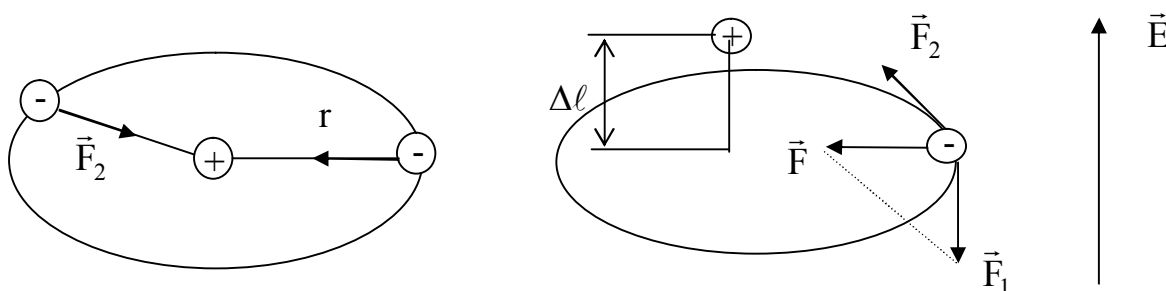


Рис. 1

Вектор  $\vec{P}_i$  совпадает по направлению с вектором  $\vec{E}$  напряженности внешнего электрического поля:

$$\vec{P}_i = \varepsilon_0 \alpha \vec{E}, \quad (240.1)$$

где  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м диэлектрическая проницаемость вакуума;  $\alpha$  - множитель пропорциональный объему молекулы и называемый поляризуемостью молекулы.

Большую группу диэлектриков составляют вещества ( $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $HCl$ ), в молекулах которых электроны расположены несимметрично относительно ядер. В таких молекулах центры масс положительных и отрицательных зарядов не совпадают и молекулы этих диэлектриков характеризуются наличием постоянного дипольного электрического момента  $\vec{P}_i$  определяемо-

го их структурой. Молекулы таких диэлектриков называются полярными. (рис. 2).

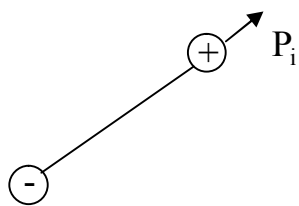


Рис. 2

Если диэлектрик с полярными молекулами не находится во внешнем электрическом поле, то вследствие беспорядочного теплового движения молекул векторы их дипольных моментов ориентированы хаотично, поэтому векторная сумма дипольных молекул,

содержащихся в произвольном объеме диэлектрика, равна нулю.

Если такой диэлектрик поместить в электрическое поле, то под дейст-

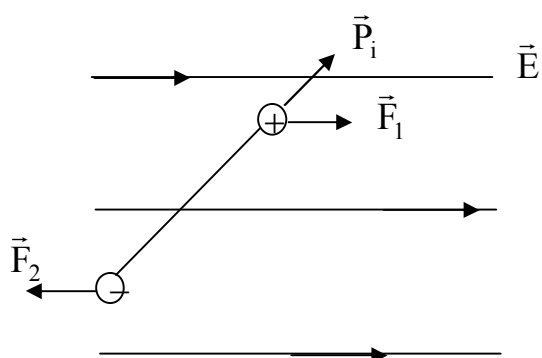


Рис. 3

вием поля полярные молекулы стремятся повернуться таким образом, чтобы векторы их дипольных моментов  $\vec{P}_i$  совпали по направлению с вектором  $\vec{E}$ .

Эта ориентация будет тем более полной, чем сильнее электрическое

поле в диэлектрике и слабее тепловое движение молекул, то есть чем меньше температура диэлектрика. Данный процесс носит название ориентационной поляризации (рис. 3).

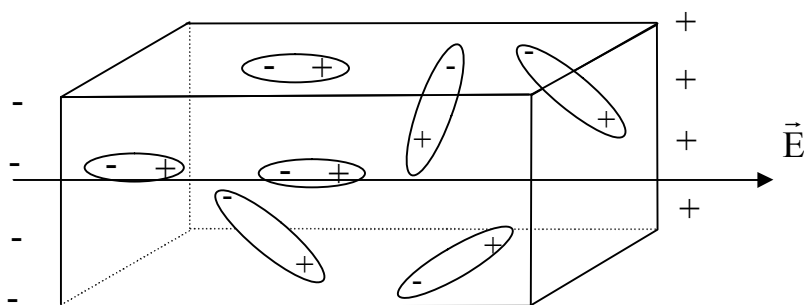


Рис. 4

Неполярные молекулы приобретают в электрическом поле индуцированные дипольные моменты за счет деформации электронных орбит. Это

происходит при не очень сильных полях и при не слишком большой плотности вещества. Этот процесс носит название электронной поляризации.

В кристаллических диэлектриках, имеющих кубические ионные кристаллические решетки (NaCl, CaCl<sub>2</sub>) под действием электрического поля все положительные ионы смещаются в направлении вектора напряженности, а все отрицательные ионы - в противоположном направлении. Такой вид поляризации называется ионной поляризацией.

Следовательно, под действием внешнего электрического поля диэлектрик поляризуется (рис. 4). В качестве величины характеризующей степень поляризации диэлектрика принимают дипольный момент единицы объема диэлектрика - называемый вектором поляризации диэлектрика  $\vec{P}$ .

По определению

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{P}_i}{\Delta V}, \quad (240.2)$$

где  $\vec{P}_i$  - дипольный момент молекулы,  $\Delta V$  - объем, в пределах которого берется векторная сумма  $\sum \vec{P}_i$  дипольных моментов отдельных молекул, должен содержать достаточное количество молекул, но вместе с тем быть настолько малым, чтобы внутри него все макроскопические величины - плотность, температура, напряженность электрического поля  $E$  и другие - могли считаться постоянными.

Вектор поляризации зависит от напряженности внешнего электрического поля:

для полярных и ионных диэлектриков

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E}; \quad (240.3)$$

для неполярных диэлектриков

$$\vec{P} = n \vec{P}_i = n \epsilon_0 \alpha \vec{E}, \quad (4)$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$  - диэлектрическая проницаемость вакуума;  $\chi = \rho\alpha$  - диэлектрическая восприимчивость зависящая от плотности и температуры диэлектрика;  $\epsilon = 1 + \chi$  - относительная диэлектрическая проницаемость среды.

### 240.3. Описание установки

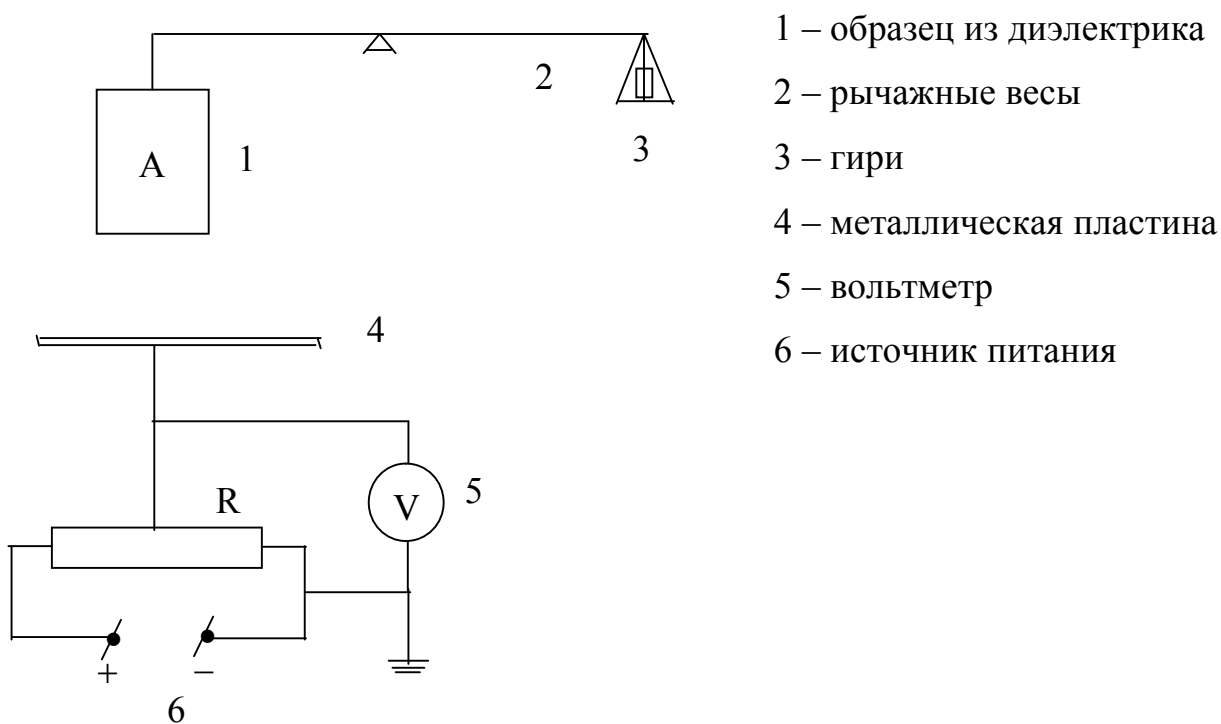


Рис. 5

### 240.3. Методика эксперимента

Диэлектрическая восприимчивость твердых диэлектриков можно определить по силе притяжения образца к круглой металлической пластине (рис. 5).

В начале моменты сил тяжести, действующие на левую и правую части коромысла рычажных весов уравниваются друг друга. При подаче напряжения на пластину это равновесие нарушается. Вследствие действия электрического поля создаваемого металлической пластиной на заряды

возникшие на поверхности диэлектрика из-за его поляризации. Уравновешивая подвижную систему можно измерить силу электрического притяжения цилиндра к пластине. Эта сила появляется вследствие наведения на цилиндре поляризованного заряда  $q'$ :

$$\vec{F} = q' \cdot \vec{E}, \quad (240.5)$$

где 
$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}, \quad (240.6)$$

$\sigma$  - поверхностная плотность заряда пластины,  $\sigma'$  - поверхностная плотность наведенного заряда цилиндра.

По определению

$$q' = \sigma' \cdot S, \quad (240.7)$$

где  $S = \pi \cdot a^2$ ,  $a$  - радиус цилиндра.

Используя (3, 4, 5):

$$F = \sigma' \pi a^2 \frac{\sigma}{2\epsilon_0}. \quad (240.8)$$

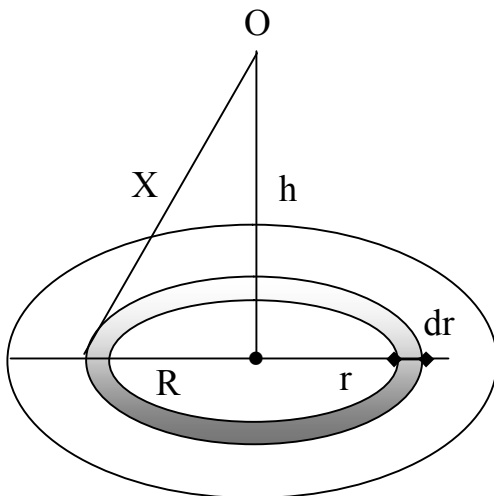


Рис. 6

Определение потенциала создаваемого металлической пластиной в точке O (рис. 6). Из выражения потенциал поля точечного заряда

$$d\phi = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 X}, \quad (240.9.1)$$

где  $dq = \sigma \cdot 2\pi r \cdot dr,$  (240.9.2)

заряд элементарной круговой полоски радиусом  $r$  и шириной  $dr$ ;  $\sigma$  - поверхностная плотность заряда пластины.

Тогда:

$$d\phi = \frac{\sigma 2\pi r dr}{4\pi\epsilon_0 X}, \quad (240.9.3)$$

где 
$$X = \sqrt{h^2 + r^2}. \quad (240.9.4)$$



Проинтегрируем:

$$X = \int_0^R \frac{\sigma r dr}{2\varepsilon_0 \sqrt{h^2 + r^2}}. \quad (240.9.5)$$

Произведем замену:

$$h^2 + r^2 = Z^2 \Rightarrow 2rdr = 2ZdZ.$$
$$\varphi = \int_h^{\sqrt{h^2+R^2}} \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} dZ = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} (\sqrt{R^2 + h^2} - h). \quad (240.9.6)$$

Так как  $h$  расстояние от пластины до диэлектрика очень мало полагаем его равным нулю  $h=0$ .

Тогда:

$$\varphi = \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0}. \quad (240.9.7)$$

Отсюда получим:

$$F = \sigma' \pi a^2 \frac{2\varepsilon_0 \varphi}{a \cdot 2\varepsilon_0}. \quad (240.10)$$

И находим:

$$\sigma' = \frac{F}{\pi R \varphi}. \quad (240.11)$$

Поверхностная плотность связанных зарядов на поверхности диэлектрика связана с вектором поляризации:

$$\sigma' = P = \chi \varepsilon_0 E = \varepsilon_0 \chi \frac{\sigma}{2\varepsilon_a}, \quad (240.12)$$

где  $\varepsilon_a$  - абсолютная диэлектрическая проницаемость образца.

Следовательно:

$$\frac{F}{\pi a \varphi} = \chi \frac{\varepsilon_0 \varphi}{a \varepsilon}. \quad (240.13)$$

Учитывая:

$$\varepsilon = 1 + \chi.$$

Получим:

$$\chi = \frac{F}{\pi \epsilon_0 \varphi^2 - F}. \quad (240.14)$$

#### 240.4. Порядок выполнения работы и обработка результатов измерения

1. Уравновесить образец на весах так, чтобы он отстоял от пластины  $\approx 1$  мм (не касаясь изоляторов).
2. Подать на пластину В напряжение  $U=600$  В и снова уравновесить образец на расстоянии  $\approx 1$  мм от пластины В. Таким образом, определяют силу  $F$ .

Таблица 1

Номер опыта	Масса гирь, кг	F, Н	$\varphi$ , В	$\chi$	$\langle \chi \rangle$	$\delta$
1						
2						
3						

3. Повторить измерения для ряда напряжений через 200 В.
4. Повторить пункты 1 - 3 для других образцов.
5. Построить графики  $F = F(\varphi^2)$  для каждого образца.
6. Находят средние значения диэлектрической восприимчивости каждого диэлектрика.
7. Результаты занести в таблицу 1.

#### 240.5. Контрольные вопросы

1. Что такое свободные и связанные заряды?
2. Виды диэлектриков. Электрическое поле в диэлектриках.

3. Вектор поляризации и вектор электрического смещения, их физический смысл.

4. Что общего и в чем различие векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{D}$ ?

5. Определите вектор смещения внутри и вне равномерно заряженного шара, цилиндра и плоского слоя диэлектрика.

6. Теорема Остроградского-Гаусса для электрического поля в диэлектрике.

7. Какова связь между векторами  $\vec{E}$ ,  $\vec{D}$ ,  $\vec{P}$ ?

**Литература, рекомендуемая для обязательной проработки:** [1], §§1, 5, ..., 9, 13, 14; [2], §§77, ..., 81, 84, 85, 87, ..., 89, 93.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики в 4-х томах. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: КноРус, 2012. – Т.2. – 576 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – 20-е изд., стер. – М.: Изд-во «Академия», 2014. – 560 с.

Учебное издание

Анатолий Леонидович Суркаев

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ТВЕРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА**

Методические указания

в авторской редакции

Темплан 2007 г., поз. № \_\_27. В\_\_

Лицензия ИД № 04790 от 18.05.2001 г.

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. \_1,16\_\_.

Уч.-изд. л. \_1,2 на магнитоносителе

Волгоградский государственный технический университет.

400131, г. Волгоград, просп. им. В.И. Ленина 28.

РПК “Политехник” Волгоградского государственного  
технического университета.

400131, Волгоград, ул. Советская, 35.