

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Московский энергетический институт  
(технический университет)  
Волжский филиал**

**Кафедра Механики и материаловедения**

**Бебяков А.Н., Мельников В.П., Кулешина С.В.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА  
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ БУМАГЕ МЕТОДОМ ЗОНДА**

**Методические указания к выполнению  
лабораторной работы №21 по курсу “Физика”**

УДК 537.2

Рецензент:

Петухов И.М., кандидат технических наук, доцент кафедры АТП

**Бебяков А.Н., Мельников В.П., Кулешина С.В.**

Исследование электрических полей на электропроводящей бумаге методом зонда. Методические указания к выполнению лабораторной работы №21 по курсу “Физика”. - Волжский: ВФ МЭИ (ТУ), 2001 г.- 8 стр.

При выполнении лабораторной работы студенты получают графическое изображение электрического поля, рассчитывают напряженность электрического поля в различных точках, выполняют графические построения.

УДК 537.2

© Бебяков А.Н.  
Мельников В.П.  
Кулешина С.В.  
© ВФ МЭИ (ТУ), 2001

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение расположения эквипотенциалей и построение силовых линий электрических полей.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Между напряженностью электрического поля и электрическим потенциалом существует интегральная и дифференциальная связь:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} \quad (1)$$

$$E = -grad \varphi \quad (2)$$

Электрическое поле может быть представлено графически двумя способами, дополняющими друг друга: с помощью эквипотенциальных поверхностей и линий напряженности (силовых линий).

Поверхность, все точки которой имеют одинаковый потенциал, называется эквипотенциальной поверхностью. Линия пересечения ее с плоскостью чертежа называется эквипотенциалю. Силовые линии – линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора  $\vec{E}$ . На рисунке 1 пунктирными линиями показаны эквипотенциали, сплошными – силовые линии электрического поля.

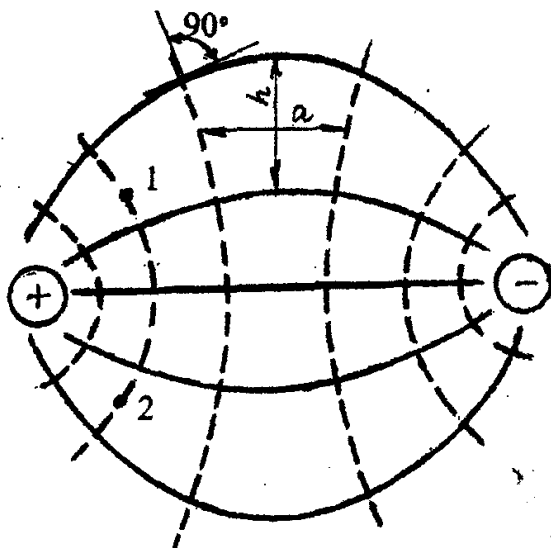


Рис.1

Разность потенциалов между точками 1 и 2 равна 0, так как они находятся на одной эквипотенциали. В этом случае из (1):

$$\int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = 0 \quad \text{или} \quad \int_1^2 E dl \cos(\vec{E} d\vec{l}) = 0 \quad (3)$$

Поскольку  $E$  и  $dl$  в выражении (3) не равны 0, то  $\cos(\vec{E} d\vec{l}) = 0$ . Следовательно, угол между эквипотенциалью и силовой линией составляет  $\pi/2$ .

Из дифференциальной связи (2) следует, что силовые линии всегда направлены в сторону убывания потенциала.

Величина напряженности электрического поля определяется "густотой" силовых линий. Чем гуще силовые линии, тем меньше расстояние между эквипотенциалами, так что силовые линии и эквипотенциали образуют "криволинейные квадраты". Исходя из этих принципов, можно построить картину силовых линий, располагая картиной эквипотенциалей, и наоборот.

Достаточно полная картина эквипотенциалей поля позволяет рассчитать в разных точках значение проекции вектора напряженности  $\vec{E}$  на выбранное направление  $x$ , усредненное по некоторому интервалу координаты  $\Delta x$ :

$$E_{\text{ср. } \Delta x} = -\Delta \varphi / \Delta x,$$

где  $\Delta x$  – приращение координаты при переходе с одной эквипотенциали на другую,

$\Delta \varphi$  – соответствующее ему приращение потенциала,

$E_{\text{ср. } \Delta x}$  – среднее значение  $E_x$  между двумя потенциалами.

### 3 ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Для моделирования электрического поля удобно использовать аналогию, существующую между электрическим полем, созданным заряженными телами и электрическим полем постоянного тока, текущего по проводящей пленке с однородной проводимостью. При этом расположение силовых линий электрического поля оказывается аналогично расположению линий электрических токов.

То же утверждение справедливо для потенциалов. Распределение потенциалов поля в проводящей пленке такое же, как в электрическом поле в вакууме.

В качестве проводящей пленки в работе используется электропроводная бумага с одинаковой во всех направлениях проводимостью.

На бумаге устанавливаются электроды так, чтобы обеспечивался хороший контакт между каждым электродом и проводящей бумагой.

Рабочая схема установки приведена на рисунке 2. Установка состоит из модуля II, выносного элемента I, индикатора III, источника питания IV. Модуль служит для подключения всех используемых приборов. Выносной элемент представляет собой диэлектрическую панель 1, на которую помещают лист белой бумаги 2, поверх нее – лист копировальной бумаги 3, затем – лист электропроводящей бумаги 4, на котором крепятся электроды 5. Напряжение на электроды подается от модуля II с помощью соединительных проводов. Индикатор III и зонд 6 используются для определения потенциалов точек на поверхности электропроводящей бумаги.

В качестве зонда применяется провод со штекером на конце. Потенциал  $\phi$  зонда равен потенциалу той точки поверхности электропроводящей бумаги, которой он касается. Совокупность точек поля с одинаковым потенциалом и есть изображение эквипотенциали поля. В качестве источника питания IV используется блок питания ТЕС-42, который подключается к модулю с помощью штепсельного разъема на задней стенке модуля. В качестве индикатора III используется вольтметр В7-38.

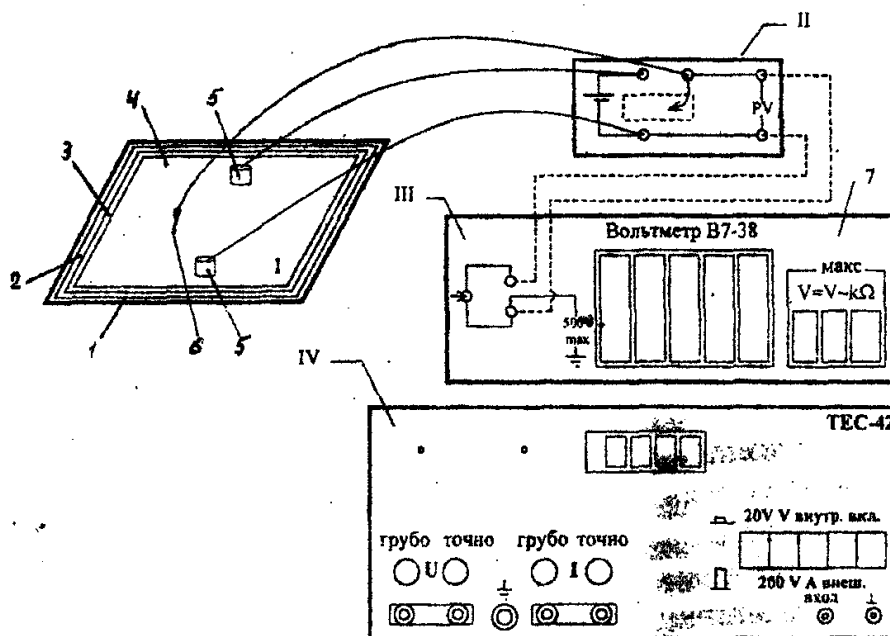


Рис.2.

#### 4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить на панели 1 лист белой бумаги 2. На него положить копировальную бумагу 3 и лист электропроводящей бумаги 4 (рис.2).
2. Установить на электропроводящей бумаге электроды 5 и закрепить гайками.
3. Подключить к модулю блок питания IV (ТЕС-42) с помощью штепсельного разъема на задней стенке модуля.
4. С помощью двух проводников подключить индикатор III (вольтметр В7-38) к гнездам "PV" на лицевой панели модуля. Нажать соответствующую кнопку на вольтметре для измерения постоянного напряжения (рис.2).
5. С помощью двух проводников подключить электроды 5 к модулю II.
6. Подключить зонд (провод с двумя штекерами) к гнезду на лицевой панели модуля.
7. Подключить стенд к сети 220 В. Включить общее питание стенда.

8. Включить источник питания IV (ТЭС-42). Переключатели (кнопки) установить предварительно для измерения напряжения.

9. Установить на источнике питания напряжение 10 В.

10. Найти точки равного потенциала. Порядок нахождения точек:

а) ведем зондом по электропроводящей бумаге, постепенно удаляясь от нулевого электрода и наблюдая за показанием индикатора;

б) найдя точку с потенциалом  $\varphi = 2 В$ , нажимаем в этой точке зондом так, чтобы на белом листе получился отпечаток точки. Наличие отпечатка можно проверить, отогнув листы электропроводящей и копировальной бумаги. Таким образом, находим 6-8 точек с потенциалом  $\varphi = 2 В$  в различных направлениях от электрода;

в) аналогично находим точки с потенциалом  $\varphi = 4 В$ ,  $\varphi = 6 В$ ,  $\varphi = 8 В$ , причем поиск точек  $\varphi = 6 В$  и  $\varphi = 8 В$  необходимо вести от электрода 10 В.

11. Выключить источник питания и стенд. Отсоединить проводники от электродов.

12. Открутить гайки и снять с панели лист белой бумаги.

13. Листы копировальной и электропроводящей бумаги, а также электроды вновь установить на панель и слегка закрепить гайками.

## 5 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По найденным экспериментальным точкам построить эквипотенциали. Эквипотенциалью является аппроксимированная кривая, плавно проходящая сквозь ряд точек с одинаковым потенциалом. Не следует стремиться, чтобы эквипотенциаль проходила обязательно через все экспериментальные точки. Количество точек, не попавших на эквипотенциаль должно быть примерно одинаково по одну и по другую стороны эквипотенциали.

2. Построить силовые линии, соблюдая условия:

а) в местах пересечения силовой линии и эквипотенциали, касательные к ним должны быть перпендикулярны;

б) эквипотенциали и силовые линии должны образовывать при пересечении “криволинейные квадраты”. Среднее расстояние между эквипотенциальными  $a$  и среднее расстояние между силовыми линиями  $h$  каждого “криволинейного квадрата”, образуемого между двумя эквипотенциальными и двумя силовыми линиями, должны быть равны, т.е.  $a \approx h$  (рис.1).

в) “густота” силовых линий должна быть пропорциональна “густоте” эквипотенциалей.

3. На картине поля провести координатную ось  $X$  от потенциала  $O$  к 10 В и разметить ее в сантиметрах.

4. Записать в таблицу 1 потенциалы  $\varphi$  и соответствующие координаты  $X$  для каждой эквипотенциали.

5. Указать на картине поля величины  $X_{cp}$  между каждой парой эквипотенциалей:

$$X_{cp} = \frac{X_n + X_{n-1}}{2}.$$

6. Рассчитать величины  $\Delta\varphi = \varphi_n - \varphi_{n-1}$  и  $\Delta x = x_n - x_{n-1}$ .  
Результаты занести в таблицу 2.

7. Рассчитать среднее значение напряженности  $E_{cp, \Delta x}$  в точках координатной оси  $X_{cp}$ :

$$E_{cp, \Delta x} = |\Delta\varphi / \Delta x|$$

8. Построить графики зависимости  $\varphi = f(x)$ ,  $E_{cp, \Delta x} = f(x_{cp})$ .

Таблица 1

№	1	2	3	4	5	6
$\varphi, B$	0	2	4	6	8	10
$X, см$						

Таблица 2

$X_{cp}, см$	$\varphi_n, B$	$\varphi_{n-1}, B$	$\Delta\varphi = \varphi_n - \varphi_{n-1}$	$\Delta X = X_n - X_{n-1}$	$E_{cp, \Delta x}, B/см$

### 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как графически изображается электрическое поле?
2. Что называется силовыми линиями электрического поля?
3. Что называется эквипотенциалами электрического поля?
4. Что такое напряженность электрического поля?
5. Какая связь между напряженностью и потенциалом электрического поля?
6. Как меняется напряженность между двумя зарядами?
7. Что называется потенциалом электрического поля?

### ЛИТЕРАТУРА

Детлаф А.А. и др. Курс физики, т.2, М.: Высшая школа, 1977, с.23-24; 36-39.

### СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....	3
2. Теоретические основы работы.....	3
3. Описание установки и методика измерений.....	4
4. Порядок выполнения работы.....	5
5. Обработка результатов измерений.....	6
6. Контрольные вопросы.....	7
Литература.....	7

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА  
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ БУМАГЕ МЕТОДОМ ЗОНДА**

Методические указания к выполнению  
лабораторной работы №27 по курсу “Физика”

**А.Н. Бебяков, В.П.Мельников, С.В. Кулешина**

Редактор *Халдеева Г.П.*  
Компьютерная верстка *Юрина В.В.*

Изд. лиц. № 03542 от 19.12.00  
Подписано в печать 07.05.01 Формат 60x90<sub>1/16</sub>  
Печать офсетная Усл. печ. л. 0,5 Тираж 50 экз. Заказ № 53

Издатель ВФ МЭИ (ТУ), 404110, г.Волжский, пр.Ленина, 69  
Отпечатано ВФ МЭИ (ТУ), 404110, г.Волжский, пр.Ленина, 69