МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.АУЭЗОВА

Кафедра «Физика для технических специальностей»

Пономаренко Е.В.

Методические указания по проведению лабораторных занятий по дисциплине «Физика 1» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям)

Шымкент – 2015 г.

УДК 378.6:53

Составитель: Пономаренко Е.В. Методические указания по проведению лабораторных занятий по дисциплине «Физика 1» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям). – Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауэзова, 2015. – 48 с.

Методические указания по проведению лабораторных занятий составлены в соответствии с требованиями учебного плана и программой дисциплины «Физика 1» и включают все необходимые сведения по выполнению лабораторных работ курса.

Методические указания по проведению лабораторных занятий составлены в полном соответствии типовой, рабочей программе дисциплины, силлабусу, календарно-тематическим планам лабораторных занятий и содержат: введение; типовую инструкцию по технике безопасности; правила оформления, защиты и оценки лабораторных работ; цель, задачи, описание всех лабораторных работ; контрольные вопросы; список литературы.

Методические указания по проведению лабораторных занятий предназначены для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям).

Рецензент: Ортаева К. – к.п.н., ст.преп. кафедры «Физика для ТС» ЮКГУ им. М.Ауэзова

Рассмотрено и рекомендовано к печати заседанием кафедры «Физика для технических специальностей»
(протокол № ____ от «_____»_____2015 г.) и
методической комиссией факультета «Строительство и транспорт»
(протокол № ____ от «_____»_____2015 г.) и

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом ЮКГУ им. М.Ауэзова, протокол № ____ от «_____»_____2015 г.

© Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, 2015 г.

Ответственный за выпуск: Пономаренко Е.В.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ 5
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 6
МОДУЛЬ 1 МЕХАНИКА 8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА 14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА 21
МОДУЛЬ 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ 27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРО-СТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ 27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА 33
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА 39

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные занятия являются важным видом учебной работы студентов по дисциплине «Физика 1» и выполняются в пределах часов, предусмотренных типовой программой. Описание каждой лабораторной работы включает: цели и задачи; содержание; оборудование, технические и инструментальные средства; порядок выполнения; контрольные вопросы; список литературы.

Общие цели и задачи лабораторных занятий – углубление и расширение знаний в процессе выполнения конкретных практических задач, развитие инициативы и самостоятельности студентов, приобретение умений анализировать полученные экспериментальные результаты и навыков использования технических средств, эксплуатации оборудования, конструкций.

В содержании указаны тематика лабораторного занятия согласно рабочей программе, краткие теоретические сведения, поясняющие сущность работы, достаточные для ее выполнения, методические рекомендации студентам по подготовке к занятию.

Оборудование, технические и инструментальные средства содержат перечень необходимого оборудования, технические и инструментальные средства либо компьютерные программы, используемые при проведении занятия.

Порядок выполнения работы включает в себя изложение общих правил и последовательность проведения занятия, формулировку темы занятия, проверку готовности студентов к занятию, анализ результатов выполнения работы и рекомендации к формированию выводов. Работы выполняются в соответствии с календарно-тематическим планом.

Контрольные вопросы предназначены для самоконтроля знаний и умений, полученных в результате выполнения работы. Формулируются задачи, вопросы (или указываются источники) с градацией по уровням сложности с указанием весомости каждого задания. В соответствии с модульно-рейтинговой системой и графиком контроля знаний (ГКЗ) результаты работы каждого студента оцениваются баллами (см. силлабус).

В списке литературы указываются учебно-информационные источники и другие материалы, которые могут быть использованы при подготовке и проведении занятия.

ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

- Не приступайте к работе в верхней одежде.
- Не приступайте к работе без разрешения преподавателя. Приступать к занятиям, только получив предварительно допуск к работе.
- Размещайте приборы, материалы, оборудование на своем рабочем месте так, чтобы исключить их падение или опрокидывание.
- Перед выполнением работы внимательно изучите ее содержание и последовательность действий.
- Не допускайте во время опытов предельных нагрузок измерительных приборов.
- Следите за исправностью механизмов. Не прикасайтесь и не наклоняйтесь к вращающимся частям установок.
- При сборке электрических цепей используйте провода с прочной изоляцией.
- Подключайте электропитание в последнюю очередь, после проверки правильности собранной схемы.
- Не прикасайтесь к корпусу стационарного электрооборудования и к зажимам даже отключенных конденсаторов.
- Пользуйтесь электроинструментами с изолирующими ручками.
- По окончании работы отключите источник питания, затем разберите цепь.
- Обнаружив неисправность в электрическом устройстве, находящемся под напряжением, немедленно отключите источник электропитания и сообщите о неисправности преподавателю или лаборанту.
- В лаборатории нужно поддерживать порядок и чистоту. После выполнения работы приведите рабочее место в порядок.
- Помнить о том, что студенты несут ответственность за используемые принадлежности и препараты.
- Перед уходом из лаборатории проверить, отключены ли штепсельные вилки.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Чтобы приступить к выполнению лабораторной работы, предварительно нужно получить у преподавателя допуск, для чего необходимо:

1. Внимательно прочитать методические указания к работе.
2. Изучить теоретический материал, необходимый для усвоения знаний по работе. При необходимости изучить дополнительную литературу.
3. На листах формата А-4 аккуратно написать: цель и задачи работы; содержание; оборудование, технические и инструментальные средства; порядок выполнения работы; таблицу для записи результатов измерения; формулы для расчетов.
4. При подготовке к занятию ознакомиться с лабораторной установкой, выяснить для себя, что и как измерять.
5. Во время аудиторного лабораторного занятия получить допуск к работе у преподавателя.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Титульный лист: Министерство образования и науки РК, ЮКГУ им. М.Ауэзова, кафедра «Физика для технических специальностей», название и номер лабораторной работы, ФИО студента, группа, ФИО преподавателя, город, год.
2. Начиная со второго листа, аккуратно, без грамматических ошибок, пишутся: цель и задачи работы; содержание; оборудование, технические и инструментальные средства; порядок выполнения работы; таблица с результатами измерения; формулы; расчеты; контрольные вопросы и ответы на них.
3. Ксерокс, сканирование текста, распечатка методических указаний не допускаются.
4. Если в работе нужно строить графики, то их необходимо чертить на миллиметровой бумаге.

ЗАЩИТА И ОЦЕНКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Чтобы защитить выполненную лабораторную работу, нужно представить преподавателю письменный и устный отчет по работе. Максимальный балл за лабораторную работу выставляется студенту, если:

1. Студент выполнил работу в полном объеме.
2. Студент знает название, цель и задачи, содержание, порядок выполнения работы.

3. Студент знает оборудование, технические и инструментальные средства, используемые в работе, а также на лабораторной установке может показать, как он выполнял работу, что и как измерял.
4. Студент может написать и объяснить используемые в работе формулы и прокомментировать свои расчеты.
5. Студент дает полные и правильные ответы на контрольные вопросы.

Минимальный балл за лабораторную работу выставляется студенту, если он выполнил работу в полном объеме, правильно ее оформил, но во время защиты предоставил только письменный отчет.

МОДУЛЬ 1 МЕХАНИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цели и задачи: ознакомление с методикой определения погрешности косвенных измерений физических величин.

Содержание работы:

Если в процессе многократных измерений прибор дает одни и же показания, то повторения измерений теряет смысл – достаточно провести его один раз. Это получается в том случае, когда абсолютная погрешность рабочего измерительного прибора будет больше, чем остаточные погрешности отдельных измерений. Предельная абсолютная погрешность либо указана в техническом паспорте измерительного прибора, либо определяется половиной цены наименьшего деления его шкалы.

Если, например, при измерении стороны куба штангенциркулем было получено значение $\ell = 12{,}5$ мм, а цена деления штангенциркуля $\Delta\ell = 0{,}1$мм, то предельная абсолютная погрешность измерения равна относительной погрешности штангенциркуля:

$$\frac{\Delta a}{a}\cdot 100\% = \frac{\Delta \ell}{\ell}\cdot 100\% = \frac{0{,}1}{12{,}5}\cdot 100\% = 0{,}8\% \quad (1)$$

Результат измерения следует записать так:

$$\ell = (12{,}5 \pm 0{,}1)\ \text{мм} \quad (2)$$

Часто дают значение разных величин, измеренных заранее: число π, физические постоянные, табличные данные. В таких случаях абсолютную погрешность принимают равной ее предельной величине, т.е. равной половине единицы наименьшего разряда, представленного в числе. Например, если масса тела равна 636,4 г, то абсолютная ошибка равна половине последнего разрядного числа 0,05 г. Тогда результат измерения массы надо записывать так: m = (636,4 ±0,05) г. Для числа π абсолютная погрешность равна 0,005.

В общем случае искомая величина является функцией одной или нескольких величин. Например, электрический ток в проводнике является функцией разности потенциалов на концах проводника и его сопротивления. Поэтому для определения силы тока необходимо провести ряд прямых измерений – напряжения и сопротивления, а затем уже вычислить искомую величину. В таком случае говорят о косвенных измерениях.

Пусть искомая величина A есть функция измеряемой величины χ:

$$A=f(\chi) \quad (3)$$

Абсолютная ошибка измеренной величины A приводит к появлению ошибки $\Delta A: A \pm \Delta A = f(x \pm \Delta x)$.

Разложение правой части в ряд Тейлора дает:

$$f(x \pm \Delta x) = f(x) \pm \frac{1}{1!}\frac{df}{dx} \cdot \Delta x \pm \ldots \qquad (4)$$

Ограничимся двумя членами этого ряда, так как остальные члены являются бесконечно малыми высшего порядка. Тогда:

$$A \pm \Delta A = f(x) \pm \frac{df}{dx} \cdot \Delta x \qquad (5)$$

Согласно (3.), имеем:

$$\Delta A = f'(x)\Delta x \qquad (6)$$

То есть абсолютная ошибка функцией равна произведению производной этой функции на абсолютную ошибку аргумента.

Пусть искомая величина A зависит от *n* переменных:

$$A = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) \qquad (7)$$

Тогда дифференциал функции многих переменных можно представить в виде:

$$dA = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \ldots \frac{\partial f}{dx_n} dx_n = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial f}{\partial x_i} dx_i \quad (8)$$

где $\partial f / \partial x_i$ - частные производные, при вычислении которых все аргументы, кроме x_i, считаются постоянными, а по величине x_i дифференцирование производится так же, как для функции одной переменной.

Вместо абсолютной погрешности часто бывает удобно вычислить относительную погрешность.

Относительная погрешность может быть представлена в виде:

$$\varepsilon = \frac{dA}{A} = \frac{f'(x)}{f(x)}dx = d\left|\ln f(x)\right| \quad (9)$$

Когда функция $f(\chi)$ имеет одночленную (логарифмическую) форму, то и вывод формул, и расчеты по ним оказываются проще, если использовать правило (9). Выражение (8) можно использовать для нахождения ошибки, если заменить знак дифференциала, на знак ошибки:

$$\Delta A = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \Delta x_1^2 + \ldots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \Delta x_n^2} \quad (10)$$

Или

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_n} \cdot \Delta x_n\right)^2} \quad (11)$$

Общий результат записывают в виде:

$$A = \overline{A} \pm \Delta\overline{A} \quad (12)$$

Таким образом, для определения погрешности результатов косвенных измерений необходимо: прологарифмировать расчетную формулу; взять полный дифференциал от обеих частей равенства; заменить знак d на знак Δ, все знаки минус - на знак плюс; по формуле (11) найти относительную ошибку; зная ε, определить абсолютную ошибку: $\Delta\overline{A} = \overline{A} \cdot \varepsilon$ (13); результат записать в форме (12).

Абсолютную погрешность результата следует округлять до одной значащей цифры, а результат измерений округлить до того порядка, в котором начинается погрешность.

В качестве примера рассмотрим вычисление объема шара. Объем равен:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (14)$$

где R - радиус шара, который непосредственно измеряется. Объем шара есть величина, измеряемая косвенно.

Пусть радиус измеряется с помощью штангенциркуля, цена деления которого равна 0,1 мм, и результат непосредственного измерения с учетом погрешности имеет следующее значение:

$$R = (22{,}2 \pm 0{,}1)\,\text{мм} \qquad (15)$$

Рассчитаем объем шара по формуле (14) - он равен 45806,5 мм^3. Далее рассчитываем погрешность ΔV по формуле:

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\Delta\pi}{\pi}\right)^2 + \left(3 \cdot \frac{\Delta R}{R}\right)^2} \quad (16)$$

Что касается погрешности $\Delta\pi$, то она может быть сделана сколько угодно малой, если взять π с достаточным количеством знаков. Тогда ими можно пренебречь. Окончательно:

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(3 \cdot \frac{0{,}1}{22{,}2}\right)^2} = 0{,}0135 \quad (17)$$

и $\Delta V = 618\,\text{мм}^3$, $V = 45807\,\text{мм}^3$. Абсолютную погрешность результата обязательно следует округлить до одной значащей цифры, а результат измерений (в рассматриваемом примере V) округлить до того порядка, в котором начинается погрешность. В данном случае следует округлить до сотен.

В итоге результат измерения объема шара запишем так:

$$V = (45800 \pm 600)\,мм^3 = (4.58 \pm 0.06)10^4\,мм^3$$

Оборудование: линейка, штангенциркуль, микрометр, весы с разновесками, прямоугольный параллелепипед, цилиндр, шар.

Порядок выполнения работы:

1. Определить массу тела (параллелепипед, цилиндр, шар).
2. Измерить линейные размеры этих тел с помощью штангенциркуля.
3. Определить абсолютную погрешность измерения линейных размеров.
4. Определить плотность вещества, из которого состоят тела:

а) для параллелепипеда

$$\rho = \frac{m}{hb\ell} \qquad (18)$$

где m - масса , h - высота, b - ширина, *l* - длина параллелепипеда;
б) для цилиндра

$$\rho = \frac{m}{\pi R^2 h} \qquad (19)$$

где m - масса, R - радиус основания, h - высота цилиндра;
в) для шара

$$\rho = \frac{3}{4} \cdot \frac{m}{\pi R^3} \qquad (20)$$

где m - масса, R - радиус шара.
4. Вычислить абсолютные погрешности измерения плотности:
а) для параллелепипеда:

$$\Delta\rho = \rho\sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2} \qquad (21)$$

б) для цилиндра*:

$$\Delta\rho = \rho\sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \pi}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \qquad (22)$$

в) для шара*:

$$\Delta\rho = \rho\sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \pi}{\pi}\right)^2 + \left(3\cdot\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \qquad (23)$$

**Примечание: слагаемым* $\left(\frac{\Delta\pi}{\pi}\right)^2$ *ввиду его малого значения в формулах (22) и (23) можно пренебречь.*

5. Вычислить относительные погрешности измерений плотности (для каждого тела) по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\rho} \qquad (24)$$

6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

№	Тело	m, кг	Δm, кг	h, м	b, м	l, м	R, м	Δh=Δb= =Δl=ΔR, м	ρ ± Δρ, кг/м^3	ε, %
1	Паралле-лепипед						-			
2	Цилиндр				-	-				
3	Шар			-	-	-				

Контрольные вопросы

1. Что такое прямые измерения? косвенные измерения?
2. Как определяются приборные погрешности?
2. Как определяются абсолютные погрешности физических постоянных?
3. Как оценивается точность косвенных измерений?

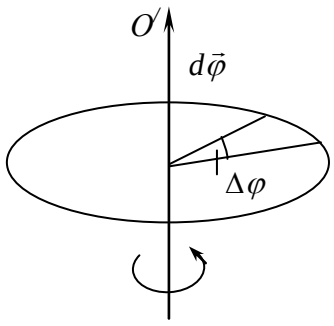
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА

Цели и задачи работы: изучение законов вращательного движения твердого тела; определение момента инерции маятника Обербека.

Содержание работы:

Твердое тело можно рассматривать как систему материальных точек, расстояние между которыми неизменно. Вращательным движением твердого тела называется такое движение, при котором траектории всех точек тела являются концентрическими окружностями с центром на одной прямой, называемой осью вращения. Пусть твердое тело, вращаясь вокруг неподвижной в данной системе отсчета оси $00'$, совершило за время Δt бесконечно малый поворот $\Delta\vec{\varphi}$ (рис. 1).

Соответствующий угол поворота характеризуется вектором $d\vec{\varphi}$, модуль которого равен углу поворота $\Delta\varphi$, а направление совпадает с осью $00'$, причем так, что направления вращения и вектора $d\vec{\varphi}$ отвечают правилу правого винта. Величина



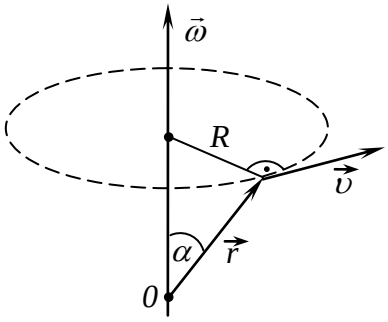
$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \quad (1)$$

характеризующая быстроту изменения угла поворота, называется угловой скоростью. Направление вектора угловой скорости совпадает с направлением вектора $d\vec{\varphi}$. Единица угловой скорости – радиан в секунду (рад/с).

Рис. 1

При вращательном движении все точки тела имеют одинаковую угловую скорость и угловое ускорение, но линейная скорость различна.

Линейная скорость любой точки твердого тела равна векторному произведению угловой скорости на радиус-вектор, соединяющий эту точку с произвольной точкой О оси вращения (рис. 2)



$$\vec{\upsilon} = [\vec{\omega}\vec{r}] \qquad (2)$$

Модуль вектора линейной скорости равен

$$\upsilon = \omega r \sin\alpha = \omega R \quad (3)$$

где R - радиус окружности, которую описывает рассматриваемая точка. Вектор $\vec{\upsilon}$ направлен в сторону вращения по касательной к траектории и перпендикулярен плоскости, в которой лежат $\vec{r}$ и $\vec{\omega}$.

При неравномерном вращении величина ω меняется со временем и за промежуток времени Δt получает приращение $\Delta\omega$. Величина

$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (4)$$

характеризующая быстроту изменения во времени угловой скорости, называется угловым ускорением вращающегося тела. Если тело вращается вокруг неподвижной оси, то вектор углового ускорения направлен вдоль этой же оси; в ту же сторону, что и вектор угловой скорости, при ускоренном вращении и в противоположную – при замедленном вращении. Единица углового ускорения – радиан на секунду в квадрате (рад/с^2).

При вращательном движении тела изменение его кинематических и динамических величин зависит от действующего на тело вращательного момента сил и момента инерции тела. Моментом силы называется векторная величина $\vec{M}$, равная векторному произведению радиус–вектора $\vec{r}$, проведенного из точки О в точку приложения силы А, на вектор силы $\vec{F}$ $\quad \vec{M} = [\vec{r}\vec{F}]$ (5)

Вектор М перпендикулярен плоскости, в которой расположен вектор силы F и радиус – вектор r , и образует с ними правовинтовую пару (рис. 3). Модуль вектора М равен

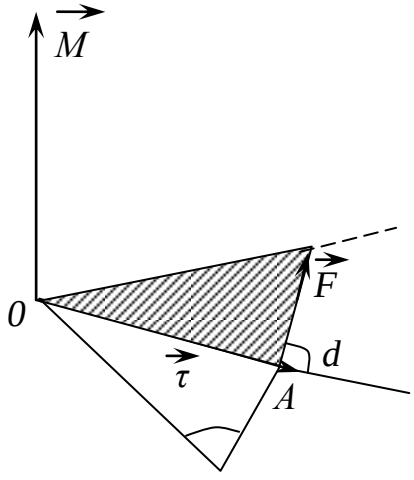


Рис. 3

$$M = Fr\sin\alpha = FR \quad (6)$$

где R - плечо вектора F относительно точки О.

Моментом инерции материальной точки относительно какой-либо оси называется произведение ее массы на квадрат расстояния r от оси вращения:

$$J = mr^2 \quad (7)$$

Момент инерции тела равен сумме моментов инерции всех материальных точек

$$J = \sum_{i=1}^{n} \Delta m_i r_i^2 \quad (8)$$

где Δm_i - элементарная масса, заключенная в объеме ΔV_i i - й частицы. Элементарная масса Δm_i равна произведению плотности тела ρ_i в данной точке на соответствующий элементарный объем ΔV_i :

$$\Delta m_i = \rho_i \Delta V_i \quad (9)$$

Следовательно, момент инерции можно представить в виде:

$$J = \sum_{i=1}^{n} \rho_i r_{1i}^{\ 2} \Delta V_i \qquad (10)$$

Если плотность тела постоянная, ее можно вынести за знак суммы:

$$J = \rho \sum_{i=1}^{n} r_i^2 \Delta V_i \quad (11)$$

Соотношения (10) и (11) являются приближенными, причем тем более точными, чем меньше элементарные объемы и соответствующие им элементарные массы. Следовательно, задача нахождения моментов инерции сводится к интегрированию:

$$J = \int r^2 dm = \int \rho r^2 dV \quad (12)$$

Момент инерции является физической величиной, характеризующей инертность тела при изменении им угловой скорости под действием вращающего момента.

В случаях, когда ось вращения тела произвольна, то вычисление момента инерции значительно упрощается, если воспользоваться теоремой Штейнера: *момент инерции J относительно произвольной оси равен сумме момента инерции Jc относительно геометрической оси и произведения массы тела на квадрат расстояния* a_0 *между осями*:

$$J = J_c + ma_0^2 \quad (13)$$

Основной закон динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси z записывается следующим образом:

$$M_z = J\frac{d\omega}{dt} = J\varepsilon \quad (14)$$

где M_z - суммарный момент всех внешних сил относительно оси вращения.

Экспериментальная установка (рис. 4) состоит из четырех стержней, укрепленных на втулке под прямым углом друг к другу. На ту же втулку насажены два шкива радиусами $R_м$ и $R_б$. Эта система может вращаться свободно вокруг горизонтальной оси. Момент инерции системы можно изменять, передвигая цилиндрические грузы вдоль стержней.

Момент силы создается грузом P, привязанным к нити, которая навита на один из шкивов. Груз P удерживается на высоте h и обладает потенциальной энергией *mgh*, где m - масса груза; g - ускорение свободного потения. Если предоставить грузу возможность падать, то это падение будет происходить с ускорением $\bar{a}$. При этом шкив со стержнями и расположенными на нем грузами будет вращаться с угловым ускорением $\bar{\varepsilon}$.

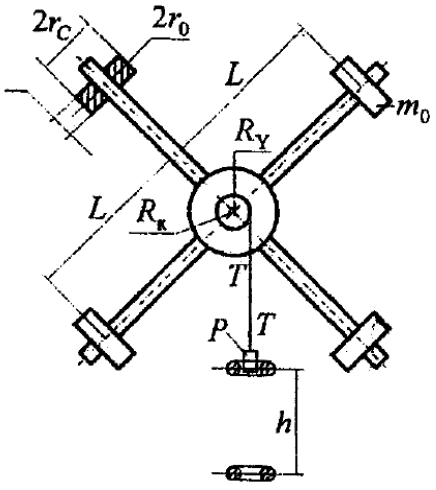


Рис. 4

Измеряя время t, в течение которого груз P из состояния покоя опустится на расстояние h, можно найти ускорение груза:

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (15)$$

которое связано с угловым ускорением соотношением

$$\varepsilon = \frac{a}{R} \quad (16)$$

где R - радиус шкива.

Если через T обозначить силу натяжения нити, то вращающий момент сил будет определяться по формуле:

$$M = T \cdot R \quad (17)$$

Силу T можно найти из уравнения движения груза P:

$$ma = mg - T \quad (18)$$

Из (18) следует:

$$T = mg - ma = m(g - a) \qquad (19)$$

Подставляя (19) в (17), получим формулу для момента сил:

$$M = mR(g - a) \quad (20)$$

Момент инерции всей системы можно вычислить по следующей формуле:

$$J_T = J_0 + m_0\left(4L^2 + \frac{1}{3}\ell^2 + r_c^2 + r_0^2\right) \quad (21)$$

где L, ℓ, r_c, r_0 – параметры, указанные на рис. 4.

Оборудование, технические и инструментальные средства: маятник Обербека, грузы, штангенциркуль, счетчик-секундомер.

Порядок выполнения работы:

1. Установить цилиндрические грузы массой m_0 на некотором расстоянии L от оси маятника так, чтобы маятник находился в безразличном равновесии, для чего рекомендуется несколько раз привести маятник во вращение, каждый раз давая ему возможность остановиться. После этого окончательно определить расстояние L по формуле

$$L = \frac{L_1 + L_2}{4} \quad (22)$$

где L_1 и L_2 - расстояния между центрами цилиндрических грузов на стержнях.

2. Измерить размеры цилиндрического груза и радиусы R_M малого и $R_б$ большего шкивов, внешний r_c, внутренний r_0 радиусы и длину образующей l цилиндрического груза.

3. Измерить высоту h - расстояние между двумя датчиками.

4. Прикрепить к нити, намотанной на шкив радиуса R_M , груз массой m .

5. Включить счетчик – секундомер.

6. Отпустить груз и определить время его падения t с высоты h.

7. Вычислить линейное ускорение по формуле (15) и угловое ускорение по формуле (16)

8. Вычислить момент сил по формуле (20).

9. Повторить пункты 4-8 для двух-трех грузов других масс.

10. По вычисленным значениям M_i и ε_i построить график зависимости $\varepsilon = f(M)$, по оси ординат которого откладывают величину ε, по оси абсцисс – момент силы М. Полученная зависимость должна быть линейная.

11. Из графика определите *экспериментальный момент инерции* системы $J_э = \Delta M / \Delta\varepsilon$ и момент силы трения $M_{тр}$ на оси вращения, способ нахождения которого показан на рис. 5

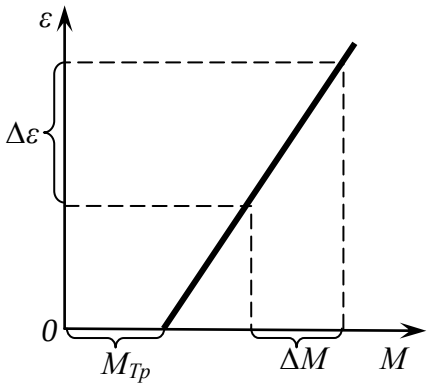


Рис.5

12. Повторить пункты 4-11 для шкива радиуса $R_б$. Выбирая масштаб для значений M и ε, можно построить графики зависимости $\varepsilon = f(M)$ от малого и большего шкивов в одной системе координат и убедиться, что они лежат на одной прямой.

13. Определить *теоретический момент инерции* системы расчетным путем по формуле (21). Значение момента инерции J_0 маятника без цилиндрических грузов указано на установке.

14. Проверить сходимость экспериментально и теоретически полученных значений моментов инерции системы по формуле:

$$K = \frac{J_T - J_Э}{J_T} \cdot 100\% \quad (23)$$

13.Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

№	R, м	h, м	m_i, м	t_i, с	a_i, $м/с^2$	$\acute{\varepsilon}_i$, $рад/с^2$	M_i, Н·м	$J_э$, $кг·м^2$	$J_т$, $кг·м^2$	K, %
1										
2										

Контрольные вопросы

1. Что такое вращательное движение?
2. Сформулируйте определение и напишите формулу для угловой скорости.
3. Сформулируйте определение и напишите формулу для углового ускорения.
4. Укажите направление и единицы измерения угловой скорости.
5. Укажите направление и единицы измерения углового ускорения.
6. Какова связь между линейной и угловой скоростью?
7. Как направлена линейная скорость?
8. Что называется моментом инерции?
9. Что характеризует момент инерции?
10. Сформулируйте теорему Штейнера, запишите ее формулу.
11. Что такое момент сил?
12. Как направлен вектор момента силы?
13. Напишите формулу основного закона динамики вращательного движения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Цели и задачи работы: определение коэффициента вязкости жидкости по скорости падения шарика (метод Стокса).

Содержание работы:

Вязкость или внутреннее трение - это свойство реальных жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной части-жидкости относительно другой. Возникновение сопротивления, обусловленного вязкостью жидкости, объясняется следующим образом. Представим себе две пластинки А и В, разделенные плоскопараллельным слоем жидкости. Рассмотрим, что произойдет, если начать перемещать верхнюю пластинку А относительно нижней В.

Мысленно разобьем жидкость на тончайше слои. Молекулы жидкости, ближайшие к подвижной пластинке А, прилипают к ней, в силу этого они начинают перемещаться вместе с пластинкой с той же скоростью. Эти молекулы в свою очередь увлекают молекулы следующего слоя и т.д. Слой молекул, непосредственно прибегающих к нижней неподвижной пластинке В, остается в покое, а остальные слои перемещаются, скользя друг по другу со скоростями тем большими, чем больше их расстояние от нижнего слоя. Вязкость жидкости проявляется в возникновении силы, препятствующей относительному сдвигу соприкасающихся слоев жидкости, а, следовательно, и сдвигу пластинок относительно друг друга.

Величина сопротивления, обусловленного вязкостью жидкости, зависит от разности скоростей между ее слоями и расстоянию между ними. Чем больше меняется скорость жидкости при перехода от слоя к слою, тем больше величина вязкостного сопротивления.

Чтобы охарактеризовать величины изменения скорости, определим разность скоростей $V_2 - V_1 = \Delta V$ двух слоев жидкости и расстояние Δy между этими слоями, отсчитываемого по нормали к направлению скорости. Предел отношения этих двух величин называется градиентом скорости

$$\lim_{\Delta y \to 0}\left(\frac{\Delta V}{\Delta y}\right) = \frac{\alpha V}{\alpha y} \quad (1)$$

Градиент скорости $\alpha v / \alpha y$ показывает, как быстро меняется скорость при переходе от слоя к слою в направлении y, перпендикулярном направлению движения слоев. При ламинарном течении (т.е. течение

без завихрений) модуль силы внутреннего трения пропорционален градиенту скорости

$$F = \eta \frac{\alpha v}{\alpha y} s \quad (2)$$

или

$$f = \eta \frac{\alpha v}{\alpha y} \quad (3)$$

где F - сила внутреннего трения; S - площадь поверхности скользящих друг по другу слоев жидкости; f - сила внутреннего трения, действущая на единицу площади поверхности слоя (касательное напряжение); η - коэффициент пропорциональности, зависящий от природа жидкости, называется динамической - вязкостью (или просто вязкостью).

Из формулы (3) видим, что динамическая вязкость η равна силе внутреннего прения, действующей на единицу площади поверхности слоя при градиенте скорости, равном единице. Единица вязкости в СИ - паскаль-секунда. (Па*с): I Па*с равен динамической вязкости среды в которой при ламинарном течении и градиенте скорости с модулем, равным 1 м/с на I м, возникает сила внутреннего трения в 1Н на 1 $м^2$ поверхности касания слоев (1Па*с = 1Н*с/$м^2$).

Вязкость зависят от температуры, причем характер этой зависимости для жидкостей и газов различен (для жидкостей η с увеличением температуры уменьшается, у газов, наоборот, увеличивается), что указывает на различие в них механизмов внутреннего трения. Особенно сильно от температур зависит вязкость масел. Например, вязкость касторового масла в интервале 13-40 °С падает в четыре раза.

Вискозиметр для определения вязкости жидкости по методу Стокса представляет собой стеклянный цилиндрический сосуд, установленный вертикально. Сосуд наполнен исследуемой жидкостью. По высоте сосуда нанесены риски А и В. Выбирают несколько шариков из материала с известной плотностью и измеряют время прохождения шариком расстояния между рисками А и В при падении в жидкости.

На шарик, движущийся в жидкости, действуют три силы:

- сила тяжести

$$m\vec{g} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_ш \vec{g} \qquad (4)$$

- сила Архимеда

$$\vec{F}_a = -\frac{4}{3}\pi ч^3 \rho_{ж} \vec{g} \qquad (5)$$

- сила внутреннего трения

$$\vec{F}_c = -6\pi\eta ч\vec{v} \qquad (6)$$

где $\rho_ш$ - плотность материала шарика; $\rho_ж$ л - плотность жидкости; r - радиус шарика; η - динамическая вязкость; V - скорость установившегося движения шарика в жидкости. В установившемся движении, когда ускорение шарика равно нулю:

$$m\vec{g} + \vec{F}_a + \vec{F}_c = 0 \qquad (7)$$

Проецируя все силы на вертикальную ось и подставляя в (7) выражения для сил, получим:

$$\eta = \frac{2g(\rho_ш - \rho_ж)ч^2}{9v} \qquad (8)$$

Скорость шарика можно определить по времени t прохождения пути l:

$$v = \frac{l}{t} \quad (9)$$

тогда

$$\eta = \frac{1}{18l} \cdot 4g(\rho_ш - \rho_ж)ч^2 t \qquad (10)$$

или через диаметр шарика:

$$\eta = \frac{1}{18l} g(\rho_ш - \rho_ж)r^2 t \quad (11)$$

В расчетах принять ускорение свободного падения равным 9,8 м/с^2.

Оборудование, технические и инструментальные средства: вискозиметр; секундомер; микрометр; набор шариков; измерительная линейка.

Порядок выполнения работы:

1 Уточнить в лаборатории плотность исследуемой жидкости $\rho_{ж}$ и плотность материала, из которого изготовлены шарики $\rho_{ш}$.

2 Определить с помощью микрометра диаметры шариков.

3 Измерить расстояние l между рисками A и B на сосуде с жидкостью.

4 Определить погрешность измерения расстояния.

5 Определить погрешность плотности жидкости $\Delta\rho_{ж}$ и плотности материала, из которого изготовлены шарики $\Delta\rho_{ш}$ (см. описание лабораторной работы №1).

6 Измерить время t прохождения первым шариком расстояния l.

7 Вычислить вспомогательный параметр k_i по формуле:

$$k_i = d_i^2 \cdot t_i \quad (12)$$

8 Повторить опыты для других шариков, для каждого рассчитать вспомогательный параметр.

9 Вычислить среднее арифметическое значение вспомогательного параметра $к_{ср}$:

$$k_{ср} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N} k_i = \frac{1}{n}\left(k_1 + k_2 + ... + k_n\right) \quad (13)$$

10 Вычислить среднее арифметическое значение вязкости жидкости через вспомогательный параметр $к_{ср}$:

$$\eta_{ср} = \frac{1}{18l}\, g \cdot k_{ср}\left(\rho_{ш} - \rho_{ж}\right) \quad (14)$$

11 Определить величину Δk (стандартную погрешность многократных прямых измерений параметра k):

$$\Delta k = S_k \cdot t_{\alpha}(n) \quad (15)$$

Порядок определения стандартного отклонения S_k *:*

- *найти для каждого опыта величину* $\Delta k_i = \left| k_i - k_{ср} \right|$ *;*
- *возвести* Δk_i *в квадрат, сложить полученные значения;*

- *найти стандартное отклонение вспомогательного параметра по формуле:*

$$S_k = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_1^n (\Delta k_i)^2}$$

Для формулы (15) значение коэффициента Стьюдента $t_\alpha(n)$, соответствующее надежности, указанной преподавателем, и числу опытов, определяется по специальной таблице (имеется в лаборатории).

12 Определить относительную погрешность измерения вязкости жидкости ε по формуле:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{{}_\Delta\rho_ш^2 + {}_\Delta\rho_ж^2}{(\rho_ш - \rho_ж)} + \left(\frac{{}_\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{{}_\Delta k}{k}\right)^2} \qquad (16)$$

13 Вычислить абсолютную погрешность измерения вязкости по формуле:

$$\Delta\eta = \eta_{ср} \cdot \varepsilon \qquad (17)$$

14 Записать результат измерения вязкости жидкости с указанием доверительного интервала в следующем виде:

$$\eta = \eta_{ср} \pm \Delta\eta \qquad (18)$$

12 Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

№	l, м	d_i, м	t_i, с	k_i	$k_{ср}$	$\eta_{ср}$, Па·с	$\eta_{ср} \pm \Delta\eta$, Па·с	ε, %
1								
2								
3								

Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление внутреннего трения?
2. Напишите и объясните формулу закона Ньютона.
3. Что называется градиентом скорости?
4. Каков физический смысл коэффициента внутреннего трения (вязкости)?

5. Как зависит коэффициент вязкости от температуры?
6. В чем заключается сущность метода Стокса?
7. Какое движение называется ламинарным?
8. Назовите силы, которые действуют на шарик, движущийся в жидкости. Укажите направления этих сил и напишите формулы для их расчета.

МОДУЛЬ 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель: построение картины силовых линий и эквипотенциальных поверхностей исследуемого электростатического поля, определение напряженности исследуемой точки поля.

Оборудование: генератор постоянных напряжений, слабопроводящая пластина с электродами, зонд, стрелочный вольтметр.

Содержание работы

Электрический заряд создает в окружающем пространстве поле - особую форму материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрическими зарядами. Пространство, в котором есть электрическое поле, является областью проявления электрических сил. *Электростатическое поле* в каждой точке характеризуется значениями *напряженности* и *потенциала*, которые являются силовой и энергетической характеристиками поля в данной точке.

Электрическое поле можно изобразить графически с помощью силовых линий. *Силовая линия* - это линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с вектором напряженности электрического поля.

Силовые линии не пересекаются, так как напряженность поля в каждой точке имеет одно определенное направление. Для графического изображения поля можно использовать либо силовые линии, либо эквипотенциальные поверхности.

Эквипотенциальной поверхностью называют геометрическое место точек одинакового потенциала.

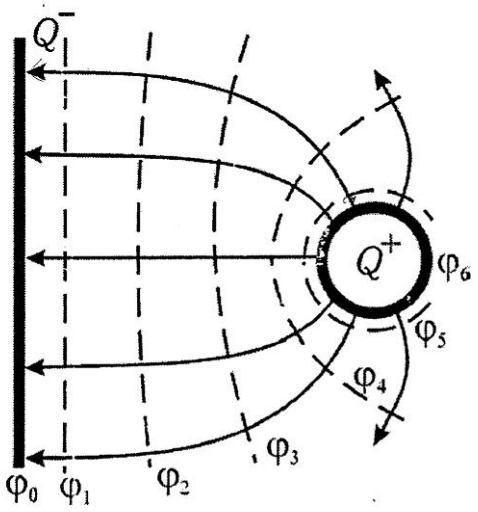


Рис. 1. Картина эквипотенциальных и силовых линий

На рис. 1 показаны силовые (сплошные) и эквипотенциальные (пунктирные) линии электростатического поля, созданного заряженной плоскостью и точечным зарядом.

Эквипотенциальные линии изображены в сечении эквипотенциальных поверхностей плоскостью чертежа.

Эквипотенциальные поверхности проводят с одинаковым шагом Δφ. Как и силовые линии, они не пересекаются, так как каждой точке поля соответствует только одно значение φ.

Перемещение заряда вдоль эквипотенциальной поверхности не требует совершения работы: $A = Q \cdot \Delta\varphi = 0$, так как $\Delta\varphi = 0$. С другой стороны, работа силы F на элементарном перемещении *dl*

$$A = \int_1^2 F \cdot dl \cdot \cos\alpha, \qquad (1)$$

откуда следует, что при $F \neq 0$ и $dl \neq 0$ величина $\cos\alpha = 0$.

Это означает, что действующая на заряд сила перпендикулярна перемещению вдоль поверхности равного потенциала. Следовательно, силовые линии перпендикулярны любой эквипотенциальной поверхности (рис. 2)

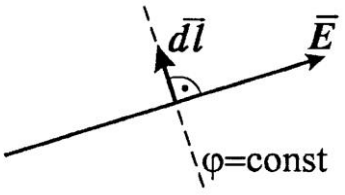


Рис. 2. Расположение силовых (сплошная) и эквипотенциальных (пунктирная) линий

Связь потенциала с напряженностью поля в данной точке выражается соотношением

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}\varphi, \qquad (2)$$

где

$$\overrightarrow{grad}\varphi = \frac{d\varphi}{dx}\vec{i} + \frac{d\varphi}{dy}\vec{j} + \frac{d\varphi}{dz}\vec{k}. \qquad (3)$$

Градиент функции φ(x, y, z) есть вектор, направленный в сторону максимального возрастания этой функции, модуль которого равен производной функции φ по тому же направлению:

$$\overrightarrow{grad}\varphi = \frac{d\varphi}{dn}\vec{n}, \qquad (4)$$

где n - единичная нормаль к эквипотенциальной поверхности.

Таким образом, из выражений (2) и (4) следует, что *вектор напряженности* электростатического поля в каждой точке численно равен быстроте изменения потенциала вдоль силовой линии и направлен в сторону убывания потенциала:

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dn}\vec{n}. \qquad (5)$$

Метод исследования поля

При конструировании многих электронных приборов требуется изучение электростатического поля в пространстве, заключенном между электродами. Изучить поле - это значит определить в каждой его точке значения E и φ. Теоретический расчет E и φ возможен лишь в случае полей, создаваемых электродами простой конфигурации. Сложные электростатические поля исследуют экспериментально.

Для изучения полей используют экспериментальные методы их моделирования. Один из них основан на применении слабопроводящей пластины с электродами.

Электростатическое поле заменяют электрическим полем, в котором на электроды подают такие же потенциалы, как и в моделируемом поле. Несмотря на движение заряженных частиц, плотность зарядов на электродах постоянна, так как на место зарядов, уходящих по слабопроводящей пластинке, непрерывно поступают новые.

Поэтому заряды электродов создают в пространстве такое же электрическое поле, как и неподвижные заряды той же плотности, а *электроды* являются *эквипотенциальными поверхностями*. Использование пластины позволяет применять токоизмерительные приборы, более простые и надежные в работе, чем электростатические.

При исследовании поля находим положение эквипотенциальных поверхностей, используя для измерения потенциалов точек поля метод зонда. Электрический зонд представляет собой остроконечный проводник, который помещают в ту точку, где нужно измерить потенциал. В проводящей среде потенциал зонда равен потенциалу исследуемой точки поля.

Полученная картина эквипотенциальных поверхностей исследуемого поля позволяет провести силовые линии (ортогонально поверхностям) и вычислить значение напряженности E в любой точке по формуле (5), как среднее значение на участке длины Δn:

$$E \approx -\left|\frac{\Delta\varphi}{\Delta n}\right| = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\Delta n}, \qquad (6)$$

где φ_1 и φ_2 - потенциалы соседних эквипотенциальных поверхностей, Δn -кратчайшее расстояние между ними (по нормали).

В настоящей работе для изучения электростатического поля используют *метод слабопроводящей пластины*.

О п и с а н и е у с т а н о в к и

Для исследования электростатического поля собирают электрическую цепь по схеме, представленной на рис. 3.

Если зонд 3 поместить в произвольную точку пластины 5, то стрелочный вольтметр 1 покажет значение потенциала поля в этой точке, измеренное относительно электрода 2, потенциал которого принимается равным нулю. Совокупность точек исследуемого поля с таким же значением потенциала образует эквипотенциальную поверхность.

П о р я д о к в ы п о л н е н и я р а б о т ы

Задание. Построение картины линий электростатического поля.

Внимание! Для выполнения работы необходимо принести в лабораторию лист миллиметровой бумаги формата А4 (210х297).

Выполнение измерений

1. На лист миллиметровой бумаги нанесите контуры электродов (в натуральную величину) и координатную сетку, идентичную имеющейся на установке.
2. Соберите электрическую схему, показанную на рис. 3, подключив входы блока моделирования полей согласно рис. 4.

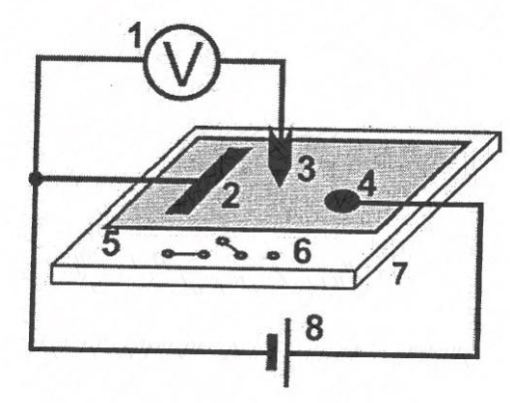


Рис. 3. Электрическая схема исследования электростатического поля:
1 - стрелочный вольтметр;
2, 4 - электроды;
3 - зонд;
5 - слабопроводящая пластина;
6 - входы для подключения блока моделирования полей (рис. 4);

7 - блок моделирования полей;
8 - регулируемый источник постоянного напряжения «0...+15 В»

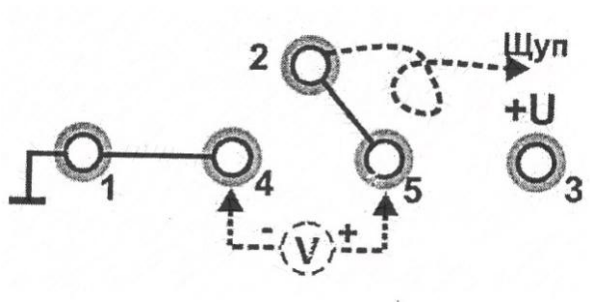


Рис. 4. Входы для подключения блока моделирования полей:
1, 3 - входы для подключения регулируемого источника постоянного напряжения « 0...+15 В»;
2 - вход для подключения зонда;
4, 5 - входы для подключения стрелочного вольтметра

3. Включите кнопкой «Сеть» питание блока генераторов напряжения. Нажмите кнопку «Исходная установка» (поз. 19, см. рис. 1 на стр. 6).
4. Касаясь электродов зондом, определите, какой электрод имеет нулевой потенциал φ_0,
5. Кнопками установки напряжения «0...+15 В» (поз. 14, см. рис. 1 на с. 6), установите потенциал другого электрода φ (по заданию преподавателя), контролируя его вольтметром. Значения потенциалов электродов укажите на картине поля. Таким образом, найдены две эквипотенциальные поверхности.
6. Выберите такой шаг измерения потенциала зонда Δφ, чтобы на картине поля можно было построить по заданию преподавателя N (5...10) эквипотенциальных линий.

$$\Delta\varphi = \varphi / (N+1)$$

7. Около электрода с нулевым потенциалом найдите точку поля с потенциалом $\varphi_1 = \varphi_1 + \Delta\varphi$ и нанесите ее на картину поля. Перемещая зонд по всему полю, определите координаты не менее восьми точек, имеющих тоже значение потенциала, и нанесите их на миллиметровку.

   Для первой и последней эквипотенциальных линий найдите по 2-3 точки за электродами!

8. Соедините точки одинакового потенциала плавной линией. На картине поля укажите значение потенциала данной линии.
9. Проведите измерения по пп. 7, 8 для каждой поверхности равного потенциала φ_{0i}.

Обработка результатов измерений

1. Постройте график зависимости потенциала от расстояния от электрода с нулевым потенциалом $\varphi(r)$.
2. На картине исследуемого поля покажите силовые линии.
3. Для двух, трех точек поля (выбранных в областях с различным наклоном графика $\varphi(r)$ к оси (r) рассчитайте значение напряженности электростатического поля по формуле (6).
4. В выводе по работе сделайте анализ исследуемого поля: выясните, где располагается область более сильного поля и чем она выделяется на картине поля и на графике $\varphi(r)$.

Контрольные вопросы

1. Какими величинами характеризуется электрическое поле? Дайте определение этих величин и напишите единицы их измерения.
2. Дайте определение эквипотенциальной поверхности. Каковы ее свойства?
3. Какими понятиями пользуются для наглядного представления электрического поля?
4. Назовите свойства силовых линий поля.
5. Нарисуйте силовые линии и эквипотенциальные поверхности поля точечного заряда.
6. Какие методы используют для изучения электростатического поля?
7. От чего зависит сила, действующая на заряд в электростатическом поле?
8. Как проводят эквипотенциальные и силовые линии на картине исследуемого поля?
9. Как определяют направление силовых линий, используя свойства вектора градиента потенциала?
10. Какова связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля в общем случае и в случае однородного поля?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

ЦЕЛЬ: ознакомиться с методами измерения электрической емкости конденсатора.

ОБОРУДОВАНИЕ: генератор напряжений, мультиметры, миниблоки «Интегратор тока», «Ключ», «Конденсатор» эталонной емкости, «Конденсатор» неизвестной емкости.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Измерение емкости конденсатора можно осуществить различными методами. В данной работе в основу измерения емкости положено соотношение между зарядом конденсатора Q, его емкостью C и разностью потенциалов U на обкладках конденсатора:

$$Q = CU \qquad (1)$$

Метод измерения емкости конденсатора включает в себя градуировку интегратора тока, определение неизвестной емкости двумя методами, а также контроль правильности результата градуировки путем измерения емкости батареи из двух конденсаторов известной емкости.

Для измерения заряда используется интегратор тока. Величина заряда, прошедшего через него, пропорциональна показанию вольтметра $U_{инт}$:

$$Q = \gamma U_{инт} \qquad (2)$$

где γ - градуировочная постоянная интегратора. Расчетную формулу для измеряемой емкости найдем, используя формулы (1) и (2):

$$C = \gamma U_{инт} / U \qquad (3)$$

Определение градуировочной постоянной выполняют с помощью формулы (3), проводя измерения для эталонного конденсатора известной емкости $C_э$. Формула (4) позволяет рассчитать величину γ:

$$\gamma = C_э U_э / U^э_{инт} \qquad (4)$$

(помните, что величины с индексом «э» относятся к измерениям с эталонным конденсатором).

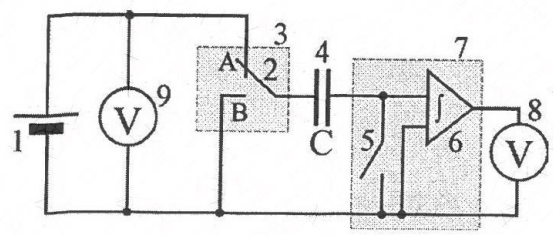
Для проверки правильности градуировки прибора необходимо провести измерение уже известной емкости. Для этого используется емкость, полученная путем соединения конденсаторов $C_э$ и $C_х$, с предварительным измерением неизвестной емкости $C_х$. Сравнивая измеренное значение емкости соединенных конденсаторов $C_{эксп}$ с рассчитанным для параллельного (5) и последовательного (6) соединения конденсаторов, проверяем правильность градуировки прибора:

$$C = \sum_{i=1}^{N} C_i \quad (5) \qquad \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i} \quad (6)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Схема цепи представлена на рис. 1, монтажная схема – на рис. 2.

Рис. 1 - Электрическая схема



1 - регулируемый источник постоянного напряжения «0...+15 В»; 2 - переключатель; 3 – миниблок…«Ключ»; 4 - исследуемый конденсатор С; 5 - демпфирующий ключ; 6 - интегратор тока; 7 - миниблок «Интегратор тока»; 8, 9 - мультиметры (режим $V \overline{\cdots} 20B$, входы COM, VΩ)

Для зарядки конденсатора переключатель 2 устанавливают в положение «А», а демпфирующий ключ 5 замыкают (положение «Сброс»). Конденсатор заряжают до напряжения U (не более 2 В), контролируемого вольтметром 9.

Перед измерением демпфирующий ключ 5 размыкают, а переключатель 2 переводят в положение «В». При этом заряд, имеющийся на обкладках конденсатора, пройдет через интегратор тока и будет зафиксирован вольтметром 8 (показание вольтметра $U_{инт}$).

В дальнейшем вследствие утечек напряжение, зафиксированное вольтметром 8, может меняться.

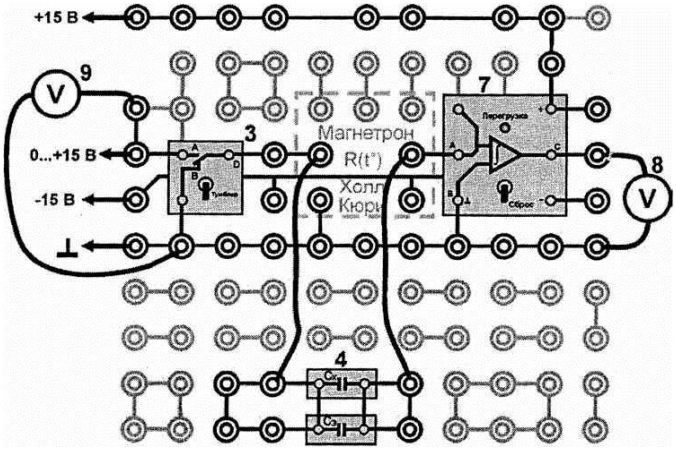


Рис.2 - Монтажная схема

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Выполнение измерений

1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 2), подключив конденсаторы C_x и $C_э$ параллельно. Значение эталонной емкости $C_э$ запишите в табл. 1.

2. Включите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров. Нажмите кнопку «Исходная установка» (поз. 19, рис. 1 на стр. 6).

3. Зарядите конденсаторы. Для этого:

а) демпфирующий ключ 5 установите в положение «Сброс»;

б) переключатель 2 (тумблер) установите в положение «А»;

в) изменяя напряжение зарядки конденсатора кнопками установки напряжения «0...+15 В» (поз. 14, рис. 1, стр. 6), установите его не более 2 В (отсчет по мультиметру 9).

4. Разрядите заряженный конденсатор через интегратор. Для этого:

а) разомкните демпфирующий ключ 5;

б) переведите переключатель 2 в положение «В». Если при этом у интегратора тока загорится индикатор перегрузки, уменьшите напряжение зарядки конденсаторов. Запомните показания мультиметра 8 непосредственно после разряда конденсатора.

5. Повторите пункты 3 и 4 несколько раз, подобрав такое напряжение зарядки (показания мультиметра 9) $U_{парал}$, при котором напряжение разрядки (показания мультиметра 8) $U_{инт}^{парал}$ составили 8-10 В (величина, пропорциональная заряду конденсатора).

Запишите это напряжение в табл. 1 и далее в ходе лабораторной работы не меняйте его.

Таблица 1

№	Эталонный конденсатор $C_э$ = мкФ	Определение емкости		
		Неизвестный конденсатор	Соединение конденсаторов	
			параллельное	последовательное
	$U_э$ = В	U_x = В	$U_{парал}$ = В	$U_{посл}$ = В
	$U^э_{инт}$, В	$U^x_{инт}$, В	$U^{парал}_{инт}$, В	$U^{посл}_{инт}$, В
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее				

6. Не меняя напряжение зарядки $U_{парал}$, выполните 5 измерений $U^{парал}_{инт}$, записывая в табл. 1.

7. Соедините C_x и $C_э$ последовательно. Напряжение $U_{посл}$ оставьте равным $U_{парал}$. Выполните 5 измерений $U^{посл}_{инт}$ и запишите результаты в табл. 1.

8. Проведите отдельно измерения величины $U^э_{инт}$ для эталонного конденсатора $C_э$ и величины $U^x_{инт}$ для конденсатора неизвестной емкости C_x. Величины $U_э$ и U_x остаются равными $U_{парал}$ и $U_{посл}$. Результаты измерений запишите в табл. 1.

9. Для проверки правильности градуировки с помощью мультиметра измерьте неизвестную емкость конденсатора (стр. 11), результат $U^x_{изм}$ запишите в табл. 2, при этом точность измерения мультиметра δ_C = 5%.

10. Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров.

Обработка результатов измерений

1. Используя данные табл. 1, рассчитайте градуировочную постоянную γ (формула 4)

$$\gamma = C_э U_э / U^э_{инт_сред}.$$

2. По формуле (3) рассчитайте емкости неизвестного конденсатора

$$C^x_{эксп} = \gamma \frac{U^x_{инт_сред}}{U_x}$$

емкость параллельно соединенных конденсаторов

$$C_{эксп}^{парал} = \gamma \frac{U_{инт_сред}^{парал}}{U_{парал}}$$

и емкость последовательно соединенных конденсаторов

$$C_{эксп}^{посл} = \gamma \frac{U_{инт_сред}^{посл}}{U_{посл}}$$

Результаты расчетов запишите в табл. 2.

Таблица 2

Неизвестная емкость C_x, мкФ		Емкость соединения С, мкФ			
		Параллельное		Последовательное	
экспер. $C_{эксп}^{x}$	измерен. $C_{изм}^{x}$	экспер. $C_{эксп}^{парал}$	расчетное $C_{расч}^{парал}$	экспер. $C_{эксп}^{посл}$	расчетное $C_{расч}^{парал}$
		$\delta_{C_{парал}} =$		$\delta_{C_{посл}} =$	

3. Оцените относительную погрешность величины C_x по формуле:

$$\delta_{C_x} = \sqrt{\delta_{C_э}^2 + \delta_{U_{инт_сред}^э}^2 + \delta_{U_{инт_сред}^x}^2},$$

где $\delta_{C_э}$ - относительная погрешность эталонной емкости (задана на миниблоке), $\delta_{U_{инт_сред}^э} = \delta_{U_{инт_сред}^x} = \delta_U = 1{,}2\%$ - точность (относительная погрешность) измерения мультиметром напряжения.

4. Используя значения емкостей $C_э$ и $C_{эксп}^{x}$, по формулам для параллельного и последовательного соединений конденсаторов, рассчитайте:

$$C_{расч}^{парал} = C_э + C_{эксп}^x \text{ и}$$

$$C_{расч}^{посл} = \frac{C_э \cdot C_{эксп}^x}{C_э + C_{эксп}^x}$$

Результаты расчетов запишите в таблицу 2.

5. Найдите относительное отклонение экспериментальных значений от расчетных в % по формулам:

$$\delta_{C_{парал}} = \frac{\left|C_{эксп}^{парал} - C_{расч}^{парал}\right|}{C_{расч}^{парал}} \cdot 100\%$$

$$\delta_{C_{посл}} = \frac{\left|C_{эксп}^{посл} - C_{расч}^{посл}\right|}{C_{расч}^{посл}} \cdot 100\%$$

Полученные результаты расчетов также запишите в таблицу 2.

6. Сопоставляя найденные отклонения с относительной погрешностью измерений $\delta_{C_{изм}}$, сделайте вывод о точности измерений.

7. Сравните результаты измерения неизвестной емкости ($C_{изм}^{x}$ и $C_{эксп}^{x}$).

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Дайте определение понятия емкости уединенного проводника.
2. Дайте определение понятия емкости конденсатора.
3. От каких величин зависит емкость проводника?
4. От каких величин зависит емкость конденсатора?
5. Как изменится емкость конденсатора: а) при увеличении проницаемости диэлектрика; б) при уменьшении расстояния между обкладками?
6. Запишите формулы для расчета емкости при последовательном и параллельном соединениях конденсаторов.
7. Как меняется емкость соединенных конденсаторов по сравнению с емкостью одного конденсатора?
8. Сравните заряд и напряжение конденсатора и батареи конденсаторов, соединенных: а) последовательно; б) параллельно.
9. Какую величину измеряют интегратором?
10. Что показывает величина градуировочной постоянной γ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

ЦЕЛЬ: ознакомиться с методами измерения сопротивления проводников, научиться определять удельное сопротивление проводника.

ОБОРУДОВАНИЕ: миниблок «Сопротивление проводника», регулируемый источник постоянного напряжения, мультиметры, магазин сопротивлений, миниблоки «Сопротивление».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Электрическое сопротивление характеризует противодействие проводника протеканию тока. Для участка цепи, не содержащего ЭДС, выполняется закон Ома:

$$R = \frac{U}{I} \qquad (1)$$

Активное сопротивление зависит от формы и размеров проводника:

$$R = \int_0^t \rho \frac{dl}{S} \qquad (2)$$

Сопротивление однородного проводника сечением S и длиной l

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Удельное электрическое сопротивление является характеристикой материала проводника. В соответствии с формулой (2), измерение величины ρ сводится к измерению сопротивления проводника постоянному току R, а также геометрических размеров проводника - длины l и площади сечения S.

В лабораторной работе применяются следующие методы измерения сопротивления проводника:

1) технический метод (по измерению силы тока и напряжения);
2) метод с применением омметра;
3) метод с применением моста Уитстона.

Технический метод можно осуществить по схеме, изображенной на рис. 1.

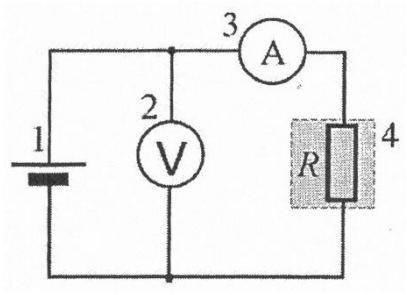


Рис. 1. Электрическая схема

1 - регулируемый источник постоянного напряжения « 0...+15 В»;
2 - мультиметр (режим $V \overline{\cdots} 20B$, входы COM, VΩ);
3 - мультиметр (режим $A \overline{\cdots} 200$мА, входы COM, мА);
4 - миниблок «Сопротивление проводника» с сопротивлением R.

В данном методе измеряется сила тока *I* через сопротивление *R* и суммарное напряжение:

$$U = U_R + U_A = IR + IR_A$$

Это позволяет найти неизвестное сопротивление *R*, если известно сопротивление амперметра R_A*:*

$$R = \frac{U}{I} - R_A \qquad (3)$$

Метод с применением омметра является наиболее простым методом: достаточно подключить измеряемое сопротивление к входам омметра.

В основе работы омметров обычно лежит приближенный технический метод: шкалу прибора градуируют с использованием формулы (3) при фиксированном напряжении *U* батареи элементов. Этот метод используют, когда не требуется высокая точность измерений.

Наиболее точным является метод измерений сопротивлений проводников с помощью моста Уитстона. Измерительные мосты - это высокоточные приборы, предназначенные для измерения электрических сопротивлений, емкостей, индуктивностей и других параметров методом уравновешенных мостовых цепей. На рис. 2 приведена схема простейшего моста Уитстона, который используется для измерения величин сопротивлений.

Подбирая значение сопротивления $R_м$, добиваются равенства потенциалов точек *а и б,* при этом ток $I_а$, текущий через амперметр, обращается в нуль.

В таком уравновешенном состоянии для моста можно записать:

$$I_M R_M = I_1 R_1;\ IR = I_2 R_2;\qquad I_M = I;\qquad I_1 = I_2.$$

Используя эти соотношения, получаем расчетную формулу:

$$R = R_M R_2 / R_1 \qquad (4)$$

Для ограничения тока, протекающего через мост, используют ограничительное сопротивление R_0.

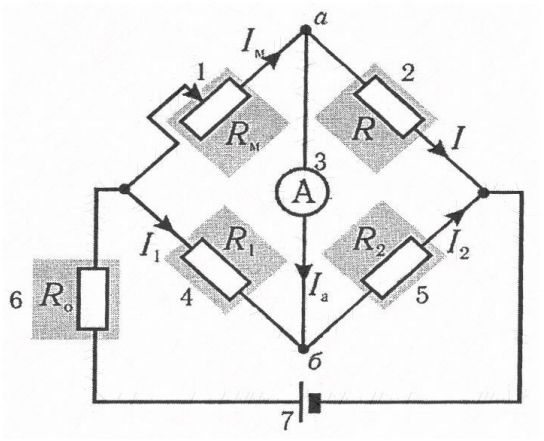


Рис. 2. Электрическая схема моста Уитстона:
1 - магазин сопротивлений с сопротивлением $R_м$; 2 - миниблок «Сопротивление проводника» с сопротивлением R; 3 - мультиметр; 4 - миниблок «Сопротивление» с сопротивлением R_1 = 100 Ом; 5 - миниблок «Сопротивление» с сопротивлением R_2 = 10 Ом; 6 - миниблок «Сопротивление» с сопротивлением R_0 = 470 Ом; 7 - источник стабилизированного постоянного напряжения «+15 В».

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Технический метод и метод измерения с помощью омметра

Электрическая схема технического метода - рис. 1, монтажная схема - рис. 3.

Метод измерения сопротивления проводника с помощью моста Уитстона

Электрическая схема моста Уитстона показана на рис. 2, монтажная - на рис. 4.

Выполнение измерений

а) Технический метод

1. Соберите цепь (рис. 1) по монтажной схеме (рис. 3).
2. Включите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров. Нажмите кнопку «Исходная установка».
3. Кнопками установки напряжения «0...15 В» (поз. 14, рис. 1) установите ток $I \approx 10$ мА. Значения тока и напряжения запишите в таблицу.

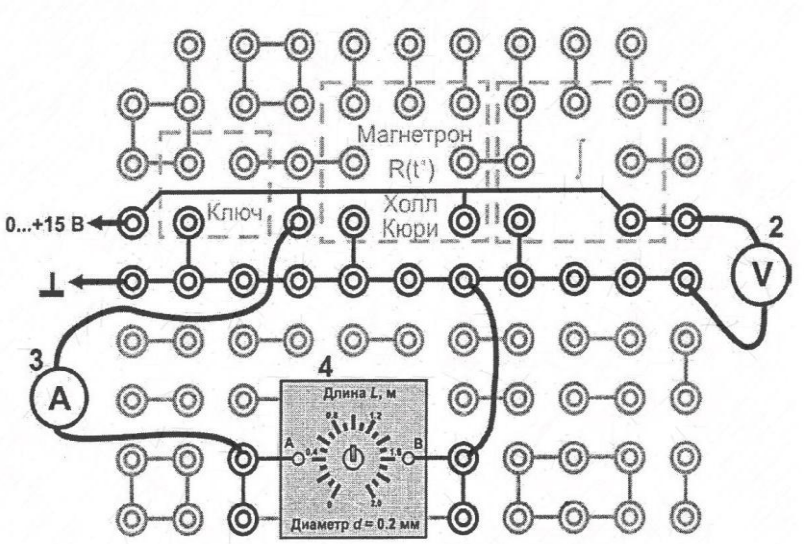


Рис. 3. Монтажная схема: 2,3,4 - см. на рис. 1

4. Проведите аналогичные измерения, увеличивая ток на $\approx$10 мА до 50мА.
5. Выключите кнопкой «Сеть» питание блока генераторов напряжений.

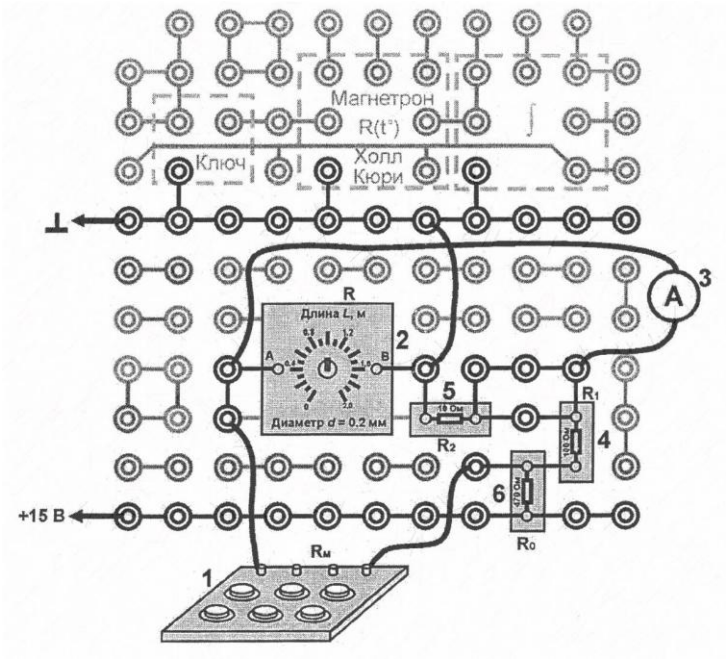


Рис. 4. Монтажная схема: 1, 2, 3, 4, 5, 6 - см. рис. 2

Геометрические параметры проводника l = мм; d = мм; S = $\pi d^2/4$ = мм^2				
Технический метод R_A = 9,2 Ом			Измерение омметром	Мостовой метод R_1 = 100 Ом, R_2 = 10 Ом
I, мА	U, В	R_i, Ом	R, Ом	$R_м$ = Ом
				R = Ом
Среднее сопротивление		$R_{сред}$ = Ом		
		R= Ом		

б) Измерение сопротивления омметром

6. Подключите омметр к миниблоку «Сопротивление проводника» (см. с. 15). В качестве омметра используют мультиметр: режим Ω 200 Ом, входы COM, VΩ.. Установите требуемый режим и диапазон измерения.

7. Запишите показания прибора в таблицу.

в) Измерение сопротивления мостом Уитстона

8. Соберите монтажную схему (рис. 4) по схеме (рис. 2).

9. Включите кнопкой «Сеть» питание блока генераторов напряжений. Нажмите кнопку «Исходная установка» (поз. 19, см. рис. 1 на стр. 6).

10. Установите все декады магазина сопротивлений в нулевое

положение.

11. Подберите такое сопротивление магазина $R_{м,}$ при котором показания амперметра будут находиться вблизи нуля:

а) начните с декады с наибольшим сопротивлением;

б) увеличьте сопротивление декады на одно значение;

в) если ток, текущий через амперметр, уменьшился, но не изменил знак, продолжайте увеличивать сопротивление декады;

г) если знак тока изменится на противоположный, сопротивление магазина станет больше сопротивления исследуемого проводника; переключатель следует вернуть в предыдущее положение, после чего перейти к подбору сопротивления следующей декады;

д) подбирайте сопротивление $R_м$ на декадах магазина до тех пор, пока показание амперметра не станет равным нулю. Запишите $R_м$ в таблицу.

12. Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров.

Обработка результатов измерений

1. Рассчитайте сопротивление проводника R при техническом методе измерения по формуле (3):

$$R_i = \frac{U_i}{R_i} \qquad R_{сред} = \frac{\sum_{i=1}^{N} R_i}{N} \qquad R = R_{сред} - R_A$$

2. Вычислите по формуле (4) сопротивление проводника R, измеряемого с помощью моста:

$$R = R_м \frac{R_2}{R_1}$$

Результат с точностью до трех значащих цифр запишите в таблицу.

3. Рассчитайте удельное сопротивление проводника, используя значение R, полученное наиболее точным методом – мостовым, по формуле $\rho = R\dfrac{S}{l}$

Определите материал проводника, сравнив полученное значение ρ с табличным.

4. Оцените погрешности δ_R измеренных величин:

а) в техническом методе - по разбросу полученных значений:

$$\Delta R = \frac{(R_{\max} - R_{\min})}{2}, \ \delta_R = \frac{\Delta R}{R} \cdot 100\%$$

в) при использовании моста - погрешность ΔR составляет 0,5 единицы последнего записанного разряда числа; например, для результата измерений R = 8,37 Ом величина ΔR = 0,005 Ом и соответствующая ей δ_R = 0,06 %.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1 Выведите формулы для последовательного соединения проводников.
2 Выведите формулы для параллельного соединения проводников.
3 От каких величин зависит электрическое сопротивление проводника?
4 От каких величин зависит удельное сопротивление?
5 Какие из используемых в работе методов измерения сопротивлений являются более точными, а какие - приближенными? Почему?

Елена Валерьевна Пономаренко

Методические указания по проведению лабораторных занятий по дисциплине «Физика 1» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям).

Подписано в печать _____

Формат бумаги $X^{x}Y$ 1/16

Бумага типографская. Печать офсетная. Объем 3 п.л.
Тираж 50 экз. Заказ №_____

© Издание Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауэзова

Издательский центр ЮКГУ им. М.Ауэзова, г. Шымкент,
пр. Тауке хана, 5