

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Витебский государственный  
университет им. П.М. Машерова»  
Кафедра общей физики и астрономии

**И.Ф. Кашевич, О.В. Пышненко,  
Ф.П. Коршиков, С.Н. Пастушонок**

**МЕХАНИКА.  
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.  
ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

*Рабочая тетрадь  
для выполнения лабораторных работ  
студентами математического факультета*

*Витебск  
УО «ВГУ им. П.М. Машерова»  
2011*

УДК 53(075.8)  
ББК 22.3я73  
М55

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова». Протокол № 6 от 24.10.2011 г.

Авторы: доцент кафедры общей физики и астрономии УО «ВГУ им. П.М. Машерова», кандидат физико-математических наук **И.Ф. Кашевич**; доцент кафедры теоретической физики УО «ВГУ им. П.М. Машерова» **О.В. Пышненко**; доцент кафедры общей физики и астрономии УО «ВГУ им. П.М. Машерова», кандидат физико-математических наук **Ф.П. Коршиков**; доцент кафедры экспериментальной физики УО «БГПУ им. М. Танка», кандидат физико-математических наук **С.Н. Пастушонок**

Рецензент:  
доцент кафедры инженерной физики УО «ВГУ им. П.М. Машерова»,  
кандидат технических наук *В.И. Жидкевич*

**Кашевич, И.Ф.**

**М55**

Механика. Молекулярная физика. Электродинамика : рабочая тетрадь для выполнения лабораторных работ студентами математического факультета / И.Ф. Кашевич [и др.]. – Витебск : УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2011. – 50 с.

Рабочая тетрадь написана в соответствии с типовой учебной программой по физике для специальности 1-02 05 03-02 «Математика. Информатика». Содержит теорию, методику выполнения, контрольные вопросы, справочный материал и список литературы.

Данное учебное издание предназначено для изучения теоретического материала и отработки практических навыков при изучении дисциплины «Физика».

УДК 53(075.8)  
ББК 22.3я73

© Кашевич И.Ф. [и др.], 2011  
© УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Сводная таблица учета выполнения и защиты лабораторных работ</b> .....	4
Методы обработки результатов измерений.....	5
Правила построения графиков.....	6
<u>Вводное занятие</u> . Определение линейных размеров и объемов тел правильной формы, оценка погрешностей измерений .....	7
<b>Раздел 1. Механика</b> .....	11
<u>Лабораторная работа №1</u> . Изучение законов кинематики и динамики поступательного движения на машине Атвуда.....	11
<u>Лабораторная работа №2</u> . Проверка закона сохранения механической энергии.....	18
<b>Раздел 2. Молекулярная физика и термодинамика</b> .....	22
<u>Лабораторная работа №3</u> . Определение размеров молекул касторового масла.....	22
<u>Лабораторная работа №4</u> . Определение теплоемкости твердых тел.....	26
<b>Раздел №3. Электродинамика</b> .....	30
<u>Лабораторная работа №5</u> . Изучение электроизмерительных приборов. Проверка закона Ома для участка цепи.....	30
<u>Лабораторная работа №6</u> . Определение коэффициента диэлектрической поляризации веществ.....	38
<u>Лабораторная работа №7</u> . Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли. ....	43
<b>Приложения</b> .....	48
<b>Литература</b> .....	50

**Сводная таблица  
учета выполнения и защиты лабораторных работ**

студента \_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_ курса \_\_\_\_\_ факультета

( Ф. И. О. студента)

№ л/р	Название лабораторной работы	Дата выполнения	Роспись преподавателя о выполнении и оформлении л/р	Роспись преподавателя о защите л/р
0	Вводное занятие. Определение линейных размеров и объемов тел правильной формы, оценка погрешностей измерений			
1	Изучение законов кинематики и динамики поступательного движения на машине Атвуда			
2	Проверка закона сохранения механической энергии			
3	Определение размеров молекул касторового масла			
4	Определение теплоемкости твердых тел			
5	Изучение электроизмерительных приборов. Проверка закона Ома для участка цепи			
6	Определение коэффициента диэлектрической поляризации веществ			
7	Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.			

## Методы обработки результатов измерений

1. Подсчитать среднее арифметическое  $\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ .
2. Определить случайные отклонения  $\Delta x = x_i - \langle x \rangle$ .
3. Подсчитать случайную погрешность  $\Delta x_{сл}$  (при  $P = 0,95$ ):

$$\Delta x_{сл} = t_{n,P} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}$$

где  $t_{n,P}$  – коэффициент Стьюдента (табл.3 приложения).

4. Определить приборную погрешность  $\Delta x_{пр}$  по формулам:

$$\Delta x_{пр} = \frac{2}{3} \delta = \frac{2}{3} \frac{kx_{\max}}{100\%},$$

где  $\delta$  – предельная абсолютная погрешность прибора (табл.4 приложения),  $k$  – класс точности прибора.

5. Определить погрешность округления  $\Delta x_{окр}$  ( $P = 0,95$ ):

$$\Delta x_{окр} = P \frac{h}{2},$$

где  $h$  – интервал округления. Если измерение производится с точностью до целого деления, то интервал округления равен цене деления прибора.

При округлении констант интервал округления приравнивается к последнему разряду константы ( $P = 1,0$ ). Например, если  $\pi = 3,14$ , то  $h = 0,01$ , следовательно  $\Delta \pi = 0,005$ .

6. Определить полную погрешность прямого измерения:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{сл}^2 + \Delta x_{пр}^2 + \Delta x_{окр}^2}$$

7. Вычислить относительную погрешность прямого измерения:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle} 100\%.$$

8. Записать окончательный результат в виде:

$$x = (\langle x \rangle \pm \Delta x); \quad \varepsilon \%$$

**Расчёт по приведенной схеме проводится для каждой физической величины, измеренной прямым методом.**

9. Вычислить абсолютную и относительную погрешности косвенных измерений по формулам:

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\frac{1}{y^2} \sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial y}{\partial x_k} \Delta x_k \right)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial \ln y}{\partial x_k} \Delta x_k \right)^2}, \quad \Delta y = \varepsilon_y y$$

или

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial y}{\partial x_k} \Delta x_k \right)^2}, \quad \varepsilon_y = \Delta y / y.$$

10. Окончательный результат записать в виде:

$$y = (y_{\text{изм}} \pm \Delta y); \quad \varepsilon_y \%$$

## **Правила построения графиков**

*При построении графиков следует руководствоваться следующими правилами:*

1. Графики строят на миллиметровой бумаге. Размер бумаги определяется интервалом измеряемых величин и выбранным для них масштабом.
2. На оси ординат откладывают значение функции, по оси абсцисс – значение аргумента.
3. На каждой из осей приводят только тот интервал изменения соответствующей физической величины, в котором велось исследование.
4. Масштаб графика выбирают не произвольно. Он определяется абсолютными погрешностями тех величин, которые откладываются по осям. Масштабы на каждой из осей выбирают независимо друг от друга.
5. Шкалы на осях, как правило, наносят в виде равноотстоящих чисел.
6. На осях указывают обозначения и единицы измерения соответствующих физических величин.
7. Физические величины, откладываемые по координатным осям, отображаются в таблице, прилагаемой к графику. На координатных осях численные значения величин не указывают, а только проводят пунктирные линии до пересечения.
8. Точки на графике наносят аккуратно и обводят кружком (треугольником, прямоугольником и т.д.).
9. Кривую по нанесённым точкам проводят карандашом плавно, без изломов и перегибов, так, чтобы она располагалась возможно ближе ко всем точкам, и по обе стороны оказывалось приблизительно равное их количество. Отклонение точек от кривой отражает наличие погрешностей. Если на одном графике строят несколько кривых, то используют различные линии: сплошные, штриховые и т.д.
10. Каждый график подписывают, в подписи отражается его основное содержание, объясняются все приведённые кривые.

## Вводное занятие

### Определение линейных размеров и объемов тел правильной формы, оценка погрешностей измерений

**Цель работы:** Научиться определять линейные размеры и объемы тел правильной формы с помощью микрометра и штангенциркуля.

**Приборы и принадлежности:** микрометр, штангенциркуль, шар, цилиндр, параллелепипед.

#### Теория работы

Для измерения линейных размеров с точностью до долей миллиметра используются измерительные приборы: **штангенциркуль** (точность измерения 0,1 мм; 0,05 мм) и **микрометр** (точность измерения 0,01 мм), имеющие дополнительную шкалу – **нониус**.

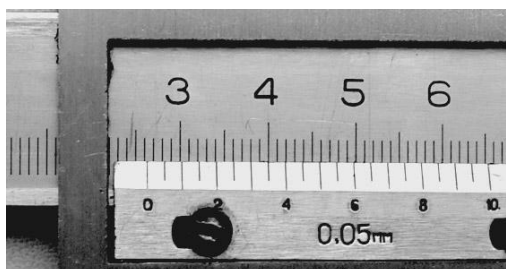


Рис.1. Шкалы штангенциркуля

Отсчитывается по неподвижной линейке до пересечения с нулевым делением нониуса. Доли миллиметра содержащиеся в данном размере отсчитываются по нониусу – на шкале нониуса отыскивается деление, наиболее точно совпадающее с делениями основной шкалы (в идеальном случае риски, нанесенные на обе шкалы, сливаются в одну черту), тогда в записи размера тела после запятой записывается число соответствующее данной риске на шкале нониуса. Причем в итоговой записи линейного размера измеряемого тела после запятой необходимо указывать столько знаков, сколько указано на нониусе (эта величина называется точностью нониуса – на рис. 1.1 она равна 0,05 мм). Таким образом, на рисунке 1.1 измеренный размер – 26,30 мм.

**Штангенциркуль** состоит из неподвижной стальной линейки с миллиметровыми делениями и подвижной части с дополнительной шкалой (Рис.1). Для измерения линейного размера тела необходимо зажать его между ножками штангенциркуля и закрепить винтом, чтобы подвижная часть прибора не сместилась в ходе снятия числовых данных. Число целых миллиметров отсчитывается по неподвижной линейке до пересечения с нулевым делением нониуса.

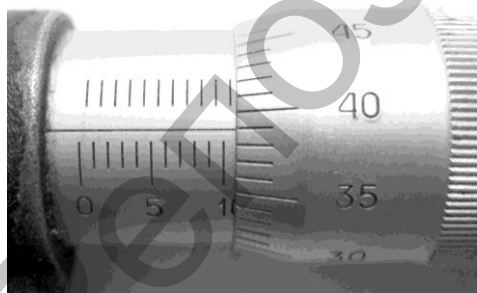


Рис.2. Шкалы микрометра

за головку до появления треска трещотки (этим обеспечивается равенство усилий сжатия предметов). Далее производят отсчет измеренной величины: сначала снимают показания неподвижной части прибора до вращающегося барабана, а затем к этому числу прибавляют сотые доли измеряемой величины, соответствующие делению вращающегося барабана совпадающего с осевой линией неподвижной части. Причем в итоговой записи линейного размера измеряемого тела после запятой необходимо указывать два знака. На рис.2 измеренный размер – 10,89 (10,50 + 0,39) мм.

**Микрометр** (Рис.2) состоит из неподвижной цилиндрической части со шкалой, имеющей цену деления 0,50 мм (на нижней шкале обозначены миллиметры, а на верхней – их половины) и подвижной части, представляющей собой микрометрический винт с закрепленным на нем полым цилиндром, на котором по окружности нанесены деления дополнительной шкалы (цена деления 0,01 мм). Для измерения линейного размера тела необходимо зажать его между упором и микрометрическим винтом, который вращают

Для измерения объемов тел правильной геометрической формы измеряют их линейные размеры и по определенной формуле вычисляют объем.

### Порядок выполнения работы

**Задание 1. Ознакомиться с правилами измерения размеров тел микрометром и штангенциркулем.**

**Задание 2. На примере определения объема цилиндра произвести обработку результатов измерений.**

1. Объем цилиндра

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi D^2 H}{4}, \quad (1)$$

где  $H$  – высота цилиндра,  $D$  – его диаметр. Диаметр цилиндра измеряют микрометром, высоту – штангенциркулем.

2. С помощью микрометра и штангенциркуля провести 3-5 контрольных измерений диаметра цилиндра  $D$  и его высоты  $H$ . Данные измерений занести в таблицу 1.

3. Найти средние значения величин  $\langle D \rangle$  и  $\langle H \rangle$ .

4. По формуле (1) определить объем цилиндра:

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi \langle D \rangle^2 \langle H \rangle}{4} = \text{-----} =$$

5. Рассчитать погрешности измерений.

Таблица 1

Прибор	$h$	$\delta$	ед. изм.	$n$					среднее значение
				1	2	3			
Штангенциркуль									
Микрометр									
Секундомер									
				$D_i$ , мм					
				$\Delta D_i$ , мм					–
				$H_i$ , мм					
				$\Delta H_i$ , мм					–

### Расчет погрешностей

1. Погрешность прямого измерения высоты  $H$ :

$$\Delta H_{\text{сл}} = t_{n,P} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta H_i^2} =$$

$$\Delta H_{\text{пр}} = \frac{2}{3} \delta =$$

$$\Delta H_{\text{окр}} = P \frac{h}{2} =$$

$$\Delta H = \sqrt{\Delta H_{\text{сл}}^2 + \Delta H_{\text{пр}}^2 + \Delta H_{\text{окр}}^2} =$$

$$H = (\langle H \rangle \pm \Delta H); \quad \varepsilon_H = \frac{\Delta H}{\langle H \rangle} 100\%.$$

$$H = ( \quad \pm \quad ) \text{ мм} ; \quad \varepsilon_H = \quad \%$$

2. Погрешность прямого измерения диаметра  $D$ :

$$\Delta D_{\text{сл}} =$$

$$\Delta D_{\text{пр}} =$$

$$\Delta D_{\text{окр}} =$$

$$\Delta D =$$

$$D = ( \quad \pm \quad ) \text{ мм} ; \quad \varepsilon_D = \quad \%$$



3. Погрешность косвенного измерения объема  $V$ :

Записать окончательный результат:

$$V = ( \quad \pm \quad ) \quad ; \varepsilon_V = \quad \%$$

**Задание №3. Вычисление объема шара**

1. Объем шара равен:

$$V_{\text{ш}} = \frac{\pi D^3}{6}, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр шара.

2. С помощью микрометра и штангенциркуля провести 3-5 контрольных измерений диаметра шара  $D$ . Данные измерений занести в таблицу 2.

3. Найти средние значения величин  $\langle D \rangle$ .

4. По формуле (2) определить объем цилиндра:

$$V_{\text{ш}} = \frac{\pi D^3}{6} = \text{-----} =$$

5. Рассчитать погрешности измерений.

Таблица 2

	N					Среднее значение
	1	2	3			
$D_i$ , мм						
$\Delta D_i$ , мм						–

**Расчет погрешностей**

1. Погрешность прямого измерения диаметра  $D$ :

$$\Delta D_{\text{сл}} =$$

$$\Delta D_{\text{пр}} =$$

$$\Delta D_{\text{окр}} =$$

$$\Delta D =$$

$$D = ( \quad \pm \quad ) \text{ мм} \quad ; \varepsilon_D = \quad \%$$

2. Погрешность косвенного измерения объема  $V$ :

Записать окончательный результат:

$$V = ( \quad \pm \quad ) \quad ; \varepsilon_V = \quad \%$$

**Контрольные вопросы:**

1. Опишите устройство измерительных приборов: штангенциркуля и микрометра.
2. Объясните методику измерений с помощью штангенциркуля и микрометра.
3. Как вычисляются абсолютная и относительная погрешности?
4. Сделайте вывод о том, какой из измерительных приборов позволяет производить измерения линейных размеров тел с наименьшей относительной погрешностью.

## Раздел 1. Механика

### Лабораторная работа №1

#### Изучение законов кинематики и динамики поступательного движения на машине Атвуда

**Цель работы:** изучить основные характеристики кинематики равномерно и равноускоренного прямолинейного движения, научиться их определять. Изучить законы динамики поступательного движения, научиться находить ускорение тела как результат действия на него многих сил. Убедиться в справедливости второго закона Ньютона.

**Приборы и принадлежности:** машина Атвуда, перегрузы, секундомер.

#### Теория работы

**Кинематика** – это раздел физики, который изучает законы движения тел без учета причин, вызывающих это движение.

**Материальная точка** – это тело, размерами которого можно пренебречь при данных условиях движения.

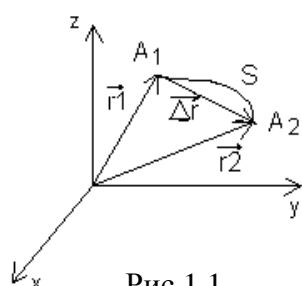


Рис.1.1

Система координат, связанное с ней тело отсчета и часы, по которым отсчитывается время от некоторого начального момента, образуют **систему отсчёта**.

**Траектория** – это линия, которую описывает тело в процессе своего движения (Рис.1.1).

**Путь (S)** – это скалярная физическая величина, определяемая длиной траектории, описанной телом за некоторый промежуток времени.

Положение точки в системе отсчета задается **радиус-вектором  $\vec{r}$**  – это вектор, соединяющий начало координат с материальной точкой.

Пусть тело движется по криволинейной траектории (Рис.1.1) из положения  $A_1$  в положение  $A_2$ , которые задаются радиус-векторами  $\vec{r}_1$  и  $\vec{r}_2$ .

**Перемещение  $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$**  за некоторый промежуток времени – это вектор, соединяющий начальное и конечное положение тела.

Для характеристики движения тела вводится понятие скорости.

**Средняя скорость перемещения** – это векторная величина, равная отношению перемещения тела ко времени, за которое это перемещение произошло:

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \quad (1.1)$$

**Средняя путевая скорость** – это скалярная физическая величина, численно равная отношению пути ко времени, за который этот путь пройден:

$$v_{cp} = \frac{S}{t} \quad (1.2)$$

**Мгновенная скорость** – это скорость тела в данный момент времени или в данной точке, равная пределу, к которому стремится средняя скорость перемещения при бесконечном уменьшении промежутка времени, т.е. производная радиус-вектора по времени:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1.3)$$

Размерность скорости:  $v = \frac{м}{с}$ .

**Ускорение** – это физическая величина, численно равная отношению изменения скорости ко времени, за которое это изменение произошло:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.4)$$

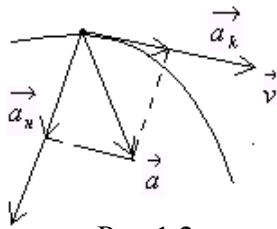


Рис.1.2

**Мгновенное ускорение** – это ускорение тела в данный момент времени или производная мгновенной скорости по времени:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v}' \quad (1.5)$$

Ускорение  $\vec{a}$  (Рис.1.2) можно разложить на две составляющие: касательное ускорение  $\vec{a}_k$ , направленное по касательной к траектории, и нормальное или центростремительное ускорение  $\vec{a}_n$ , направленное перпендикулярно к скорости. Тогда вектор полного ускорения определяется по правилу сложения векторов – по правилу параллелограмма:  $\vec{a} = \vec{a}_k + \vec{a}_n$ , а его величина определяется по теореме Пифагора:

$$|a| = \sqrt{|\vec{a}_k|^2 + |\vec{a}_n|^2}. \quad (1.6)$$

Так как касательное ускорение  $\vec{a}_k$  совпадает по направлению с направлением скорости  $\vec{v}$ , то оно характеризует изменение скорости по величине, а нормальное ускорение  $\vec{a}_n$  перпендикулярно вектору скорости  $\vec{v}$ , то оно характеризует изменение скорости по направлению. Но касательное ускорение  $a_k = \frac{dv}{dt}$ , а нормальное ускорение  $a_n = \frac{v^2}{R}$ , где  $R$  – радиус кривизны траектории. Тогда величина полного ускорения:

$$|a| = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2}. \quad (1.7)$$

В зависимости от наличия касательного  $\vec{a}_k$  и нормального ускорений  $\vec{a}_n$  различают четыре вида движения:

**1-й вид движения:** Когда касательное и нормальное ускорения отсутствуют, т.е. равны нулю ( $\vec{a}_n = 0$  и  $\vec{a}_k = 0$ ), тогда скорость остается постоянной:  $\vec{v} = \text{const}$ . Такой вид движения, при котором вектор скорости остается постоянным (т.е. не меняется ни по величине, ни по направлению), называется **равномерным и прямолинейным**. Модуль скорости равномерного движения численно равен отношению пройденного телом пути ко времени, за который этот путь пройден:

$$v = \frac{S}{t}. \quad (1.8)$$

**Кинематическое уравнение равномерного прямолинейного движения:**

в векторной форме записи —  $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}t$ ;

в координатной форме записи —  $x = x_0 + v_x t$ . (1.9)

**2-й вид движения:** Когда тело движется с касательным ускорением, не равным нулю ( $\vec{a}_k \neq 0$ ), а нормальное ускорение равно нулю ( $\vec{a}_n = 0$ ). Тогда полное ускорение равно касательному, т.е.  $\vec{a} = \vec{a}_k$  и вектор скорости изменяется по величине ( $|\vec{v}| \neq \text{const}$ ). Если за равные промежутки времени модуль скорости изменяется на одинаковую величину, то такое движение называется **равнопеременным**

(равноускоренным или равнозамедленным). Т.к. нормальное ускорение равно нулю, то, как и в 1-м виде движения, вектор скорости не изменяется по направлению, т.е. движение происходит по прямой линии – **прямолинейное движение**. Таким образом, такой вид движения называется **равнопеременным и прямолинейным**.

**Кинематическое уравнение равнопеременного прямолинейного движения:**

$$\begin{aligned} \text{в векторной форме записи:} \quad & \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}; \\ \text{в координатной форме записи} \quad & x = x_0 \pm v_{0x} t \pm \frac{a_x t^2}{2}; \end{aligned} \quad (1.10)$$

где «+» относится к равноускоренному движению, «-» — к равнозамедленному движению.

**3-й вид движения:** Когда тело движется с отличным от нуля нормальным ускорением ( $\vec{a}_n \neq 0$ ), но касательное ускорение равно нулю ( $\vec{a}_k = 0$ , т.е. модуль скорости остается постоянным  $|v| = \text{const}$ ). Тогда полное ускорение  $\vec{a} = \vec{a}_n$  и вектор скорости одинаково изменяется по направлению за равные промежутки времени ( $\vec{v} \neq \text{const}$ ). *Такое движение называется **равномерным движением по окружности**.*

**4-й вид движения:** Когда тело движется с отличными от нуля и касательным ( $\vec{a}_k \neq 0$ ), и нормальным ( $\vec{a}_n \neq 0$ ) ускорениями. Этот случай является наиболее общим случаем движения. *Такой вид движения называется **переменным криволинейным движением**.*

В динамике рассматривается влияние взаимодействия между телами на их механическое движение.

**Основная задача динамики** состоит в определении положения тела в произвольный момент времени по известному начальному положению, начальной скорости и силам, действующим на тело.

**Первый закон Ньютона:** *существуют такие системы отсчёта (инерциальные), относительно которых тела находятся в состоянии покоя или движутся равномерно и прямолинейно, если на них не действуют никакие силы или действие всех сил взаимно скомпенсировано.* Математически это можно записать:

$$\vec{v} = \text{const}, \text{ если } \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0. \quad (1.11)$$

**Сила** – это векторная физическая величина, являющаяся количественной мерой механического действия на тело со стороны других тел или полей, вызывающих ускорение данного тела и (или) его деформацию.

**Инерция** – это явление сохранения скорости движения тела неизменной (как по модулю, так и по направлению), если на него не действуют другие тела или действие всех тел взаимно скомпенсировано.

**Инертность тела** – это свойство любого тела изменять свою скорость не мгновенно, а лишь за некоторый промежуток времени. Мерой инертности тела является скалярная физическая величина, называемая инертной массой. Так как масса входит в закон всемирного тяготения, то она определяет также гравитационное взаимодействие тел.

**Второй закон Ньютона:** *ускорение тела прямо пропорционально равнодействующей всех действующих на него сил, обратно пропорционально его массе и направлено в сторону равнодействующей силы:*

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}_p}{m}. \quad (1.12)$$

**Третий закон Ньютона:** два тела взаимодействуют друг с другом с силами, равными по величине, противоположными по направлению и направленными вдоль прямой, соединяющей центры тел:

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1} \quad \text{и} \quad |\vec{F}_{1,2}| = |\vec{F}_{2,1}|. \quad (1.13)$$

### Теория лабораторной работы

Основные законы кинематики и динамики могут быть проверены опытным путем на машине Атвуда (Рис.1.3). Машина Атвуда состоит из вертикальной штанги 6 со шкалой, сверху которой установлен легкий блок 1, способный вращаться с незначительным трением. Через блок перекинута тонкая нить с прикрепленными грузами 2 одинаковой массы  $m$ . Грузы могут быть установлены на передвигающейся по вертикальной штанге подставке 5, которая может быть снабжена электромагнитом для удержания грузов. На штанге крепится кольцо 4, предназначенное для снятия перегрузка массой  $m_1$ , под действием которого грузы приходят в движение.

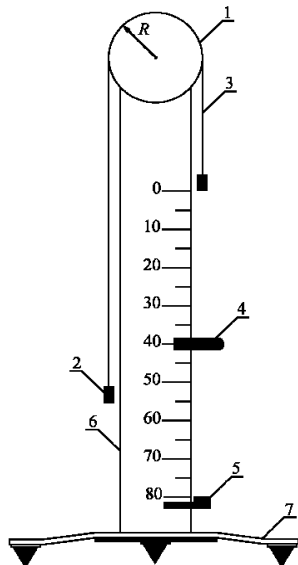


Рис.1.3

Рассмотрим движение системы, состоящей из двух грузов массой  $m$  и  $m+m_1$  и блока радиусом  $R$  с моментом инерции  $J$ .

Если грузы одинаковы, то потенциальная энергия системы не зависит от их высоты, т.к. убыль энергии одного груза приводит к эквивалентному возрастанию потенциальной энергии другого. Когда грузы различны, изменение потенциальной энергии системы определяется положением перегрузка массой  $m_1$ .

Согласно закону сохранения энергии (работой сил трения пренебрегаем) изменение потенциальной энергии системы  $\Delta E = m_1gh$  переходит в кинетическую энергию поступательного и вращательного движения, т.е.:

$$m_1gh = \frac{mv^2}{2} + \frac{m+m_1}{2} v^2 + \frac{J\omega^2}{2}. \quad (1.14)$$

где  $h = \frac{at^2}{2}$  – высота опускания груза с перегрузом,  $\omega = \frac{v}{R}$  – угловая скорость вращения,  $v = at$  – линейная скорость. Подставляя значения  $h$ ,  $\omega$ ,  $v$  в (1.14), получим:

$$a = \frac{m_1g}{2m+m_1+\frac{J}{R^2}}. \quad (1.15)$$

Если пренебречь моментом инерции блока, формула (1.15) примет вид:

$$a = \frac{m_1g}{2m+m_1}. \quad (1.16)$$

### Порядок выполнения работы

#### Задание №1

#### Исследование кинематики прямолинейного равномерного движения

При выполнении данного задания необходимо определить скорость равномерного прямолинейного движения груза с двумя перегрузками (треугольной и круглой формы) на участке пути  $S' = 0,3$  м, для чего:

1. Установить верхнюю платформу на отметке 30 см, а нижнюю платформу на отметке 60 см. (Расстояние между ними  $S' = 0,3$  м).
2. Удерживая правый груз в верхнем положении, положить на него оба перегрузка (сначала треугольный, а затем круглый).
3. Поднять правый груз с перегрузками до отметки 0 (отсчет уровня производить по верху груза. При этом начальное расстояние, на котором происходит ускоренное движение  $S = 0,3$  м – это путь разгона. Начальная скорость при движении системы из состояния покоя  $v_0=0$ ).
4. Отпустить груз. При этом груз с перегрузками начнет двигаться равноускоренно за счет силы тяжести, действующей на перегрузки. Скорость системы будет увеличиваться до того момента, когда перегрузки окажутся снятыми платформой 4. С этого момента груз будет двигаться равномерно.
5. Измерить время равномерного движения  $t'$ . В момент, когда перегрузки окажутся снятыми платформой 4, включить секундомер и выключить его в момент, когда груз коснется нижней платформы.
6. Опыт повторите 3 раза при одном и том же начальном пути разгона  $S$ .
7. Повторить серию опытов при начальном пути разгона  $S = 0,25$  м. Для этого движение груза с перегрузками должно начинаться не от 0, а от отметки 5 см.
8. Используя формулу (1.8), вычислить скорости равномерного движения, учитывая, что путь равномерного движения в данном задании  $S=S' = 0,3$  м.
9. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.
10. Для одного из полученных значений  $v$  найти погрешность.

Таблица 1.

Равномерное движение при $S' = 0,3$ м				
Путь разгона	№ опыта	$t',$ с	$t'_{\text{ср}},$ с	$v,$ м/с
$S=0,3$ м	1			
	2			
	3			
$S=0,25$ м	4			
	5			
	6			

### Вычисления

### Расчет погрешности измерений

Записать окончательный результат:

$$v = ( \quad \pm \quad ) ; \varepsilon = \%.$$

## Задание №2

### Исследование кинематики прямолинейного равноускоренного движения

При выполнении данного задания необходимо определить ускорение при движении груза с двумя перегрузками (треугольной и круглой формы) на участках пути разгона  $S = 0,3$  м и  $S = 0,25$  м, для чего:

1. Повторить те же действия, что и в пунктах 1,2,3 задания №1.
2. Измерить время  $t$  равноускоренного движения. Для этого отпустить груз и одновременно включить секундомер. Выключить секундомер в момент снятия перегрузов верхней платформой 4.
3. Опыт повторить 3 раза при одном и том же пути разгона  $S$ .
4. Повторить серию опытов при начальном пути разгона  $S = 0,25$  м.
5. Найти среднее значение времени равноускоренного движения для каждого пути разгона.
6. Используя формулу (1.4), вычислить ускорение  $a_1$  равноускоренного движения при учете, что движение начиналось из состояния покоя, т.е. с начальной скоростью  $v_0=0$ , а **конечная скорость в момент снятия перегрузов – это скорость равномерного движения, измеренная в задании №1**. Тогда:

$$a_1 = \frac{v}{t_{cp}}$$

7. С другой стороны, величину ускорения  $a_2$  можно вычислить по формуле (1.10) для пути при равноускоренном движении, при учете, что начальное расстояние  $S_0=0$ . Тогда:

$$a_2 = \frac{2S}{t^2}$$

8. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.
9. Для одного из значений  $a_2$  произвести обработку погрешностей.

Таблица 2.

Путь разгона	№ опыта	$t$ , с	$t_{cp}$ , с	$v$ , м/с	$a_1$ , м/с <sup>2</sup>	$a_2$ , м/с <sup>2</sup>
S=0,3 м	1					
	2					
	3					
S=0,25 м	4					
	5					
	6					

### Вычисления

### Расчет погрешности измерений



Записать окончательный результат:

$$a = ( \pm ) \quad ; \varepsilon = \quad \%.$$

### Задание №3

#### Исследование динамики поступательного движения

Для каждого тела применяем второй закон Ньютона (Рис.1.4):

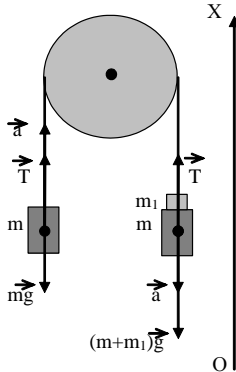


Рис.1.4

$$\begin{cases} \vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}; \\ \vec{T} + (m + m_1)\vec{g} = (m + m_1)\vec{a}. \end{cases}$$

в проекции на ось  $Ox$ :

$$\begin{cases} T - mg = ma; \\ T - (m + m_1)g = -(m + m_1)a. \end{cases}$$

Решаем систему уравнений и получаем теоретическое выражение для ускорения:

$$a_{теор.} = \frac{m_1 g}{2m + m_1}. \quad (1.16)$$

1. Подставляя в формулу (1.16) массы:  $m$  – груза и  $m_1$  – суммарная масса перегрузов, вычислить ускорение. Записать его в таблицу 3.
2. Записать из таблиц 1 и 2 значения экспериментально найденных ускорений  $a_1$  и  $a_2$  и сравнить их с теоретическим значением ускорения для двух случаев начального пути разгона.
3. Сделать вывод о применимости второго закона Ньютона.

Таблица 3.

$m =$		$m_1 =$	
Путь разгона	$a_1, \text{м/с}^2$	$a_2, \text{м/с}^2$	$a_{теор.}, \text{м/с}^2$
$S=0,3 \text{ м}$			
$S=0,25 \text{ м}$			

#### Вычисления

#### Вывод:

#### Контрольные вопросы:

1. Что изучает кинематика, динамика?
2. Дайте определения материальной точки, траектории, перемещения, пути.
3. Запишите и сформулируйте определения средней и мгновенной скорости, ускорения.
4. Нарисуйте и объясните разложение вектора ускорения на составляющие. Как называются два вида ускорения, на какие характеристики вектора скорости они влияют? Запишите формулу полного ускорения.
5. Что такое инертность тела, масса, сила?
6. Запишите и сформулируйте первый, второй и третий законы Ньютона.
7. Объясните методику изучения кинематики прямолинейного равномерного и равноускоренного движения. Запишите формулы для определения скорости и ускорения.

8. Нарисуйте и объясните силы, действующие на механическую систему. Сделайте вывод теоретической формулы ускорения на основании второго закона Ньютона.

Репозиторий ВГУ

## Лабораторная работа №2

### Проверка закона сохранения механической энергии

**Цель работы:** изучить закон сохранения механической энергии; научиться рассчитывать потенциальную и кинетическую энергию тела и проверить выполнение закона сохранения полной механической энергии.

**Приборы и принадлежности:** установка для проверки закона сохранения механической энергии, шарик, линейка, листы белой и копировальной бумаги.

#### Теория работы

Если под действием силы  $F$  тело перемещается на некоторое расстояние  $dr$  (Рис.3.1), то говорят, что эта сила совершает **работу**  $dA$ :

$$dA = F \cdot dr \cdot \cos \alpha, \quad (2.1)$$

где  $\alpha$  – угол между направлением векторов силы  $\vec{F}$  и перемещения  $d\vec{r}$ . Полная работа равна сумме всех бесконечно малых работ (2.1) на каждом бесконечно малом участке:  $A = \sum dA$ . В математике сумма бесконечно малых величин находится с помощью действия – интегрирования, тогда:

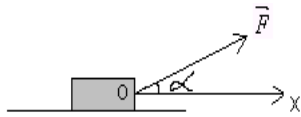


Рис.2

$$A = \int_0^S F \cos \alpha \, dr \quad (2.2)$$

где вектор перемещения изменяется от начального значения 0 до конечного  $S$ . Если сила постоянна ( $\vec{F} = \text{const}$ ), то ее можно вынести за знак интеграла, а интеграл от модуля перемещения  $d\vec{r}$  даст нам величину пройденного телом пути:

$$A = F \cos \alpha \cdot \int_0^S dr = FS \cos \alpha. \quad (2.3)$$

Размерность работы:  $[A] = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$  (Джоуль).

**Мощность** – это физическая величина, численно равная отношению работы, совершаемая силой, к промежутку времени, в течение которого она совершается:

$$N = \frac{A}{t}. \quad (2.4)$$

Размерность мощности:  $N = \text{Дж/с} = \text{Вт}$  (Ватт).

**Механическая энергия** – это физическая величина, являющаяся функцией состояния системы и характеризующая способность системы совершать работу.

**Кинетическая энергия** – это энергия тела, которой оно обладает вследствие своего движения в выбранной системе отсчета, и равная:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (2.5)$$

**Потенциальная энергия** – это энергия системы, зависящая от взаимного расположения тел (или частей тела друг относительно друга) и характера сил взаимодействия между ними. Примеры:

а) Тело, находящееся над поверхностью Земли на некоторой высоте  $h$ , обладает за счёт гравитационного поля Земли потенциальной энергией:

$$W_n = mgh. \quad (2.6)$$

б) Потенциальная энергия упруго деформированной пружины с коэффициентом жесткости (или упругости)  $k$  равна:

$$W_n = \frac{k \cdot \Delta x^2}{2}, \quad (2.7)$$

где  $\Delta x$  – абсолютная деформация тела.

Тела могут обладать и кинетической, и потенциальной энергией. **Полной механической энергией** тела называется сумма его кинетической и потенциальной энергий:

$$W = W_k + W_n. \quad (2.8)$$

Если в механической системе действуют только консервативные силы (сила тяжести, сила упругости), то для нее выполняется **закон сохранения полной механической энергии**:

$$W = W_k + W_n = \text{const}. \quad (2.9)$$

**Т.е., полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют только консервативные силы, есть величина постоянная.**

В такой системе может происходить только превращение потенциальной энергии в кинетическую и обратно, но полный запас энергии при этом не изменяется.

Если же в системе, кроме консервативных сил, действуют еще и неконсервативные силы (силы трения), то полная механическая энергия не сохраняется. Работа неконсервативных сил равна уменьшению энергии системы:

$$A_{н.к.} = W_2 - W_1 \quad (2.10)$$

Экспериментальная установка для проверки закона сохранения механической энергии показана на рис.2.2.

При отклонении стержня на некоторый угол шарик поднимется на высоту  $h$  относительно уровня **А**, его полная энергия будет равна потенциальной:

$$W_n = mgh. \quad (2.11)$$

При движении стержня с шариком до положения равновесия **Р**, потенциальная энергия превращается в кинетическую энергию поступательного движения шарика:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (2.12)$$

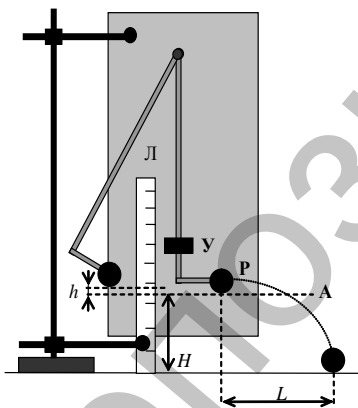


Рис.2.2

При ударе стержня об упор **У** шарик срывается со стержня и движется по параболе. Измеряя дальность полета  $L$  и высоту падения шарика  $H$ , можно найти его скорость в момент отрыва от стержня, т.е. в точке **Р**.

Спроектируем вектор скорости в момент отрыва шарика от стержня на оси  $OX$  и  $OY$ . Учтем, что на шарик действует только сила тяжести, направленная вертикально вниз (вдоль оси  $OY$ ), поэтому будет увеличиваться только вертикальная составляющая скорости  $\vec{v}_y$ . При этом движение вдоль оси  $OY$  будет равноускоренным. Вдоль оси  $OX$  ускорение равно нулю, поэтому составляющая скорости будет оставаться постоянной ( $\vec{v}_x = \text{const}$ ) и движение вдоль оси  $OX$  будет равномерным. Скорость при равномерном движении вдоль оси  $OX$  можно найти по формуле (1.8):

$$v_x = \frac{L}{t}. \quad (2.13)$$

Для нахождения времени полета учтем, что расстояние, пройденное шариком вдоль оси  $OY$  – это высота  $H$ , с которой падает шарик. А расстояние, пройденное телом при равноускоренном движении вдоль оси  $OY$ , можно найти по формуле (1.10):

$$H = v_{0y}t + \frac{gt^2}{2}.$$

Учитывая, что начальная скорость относительно оси  $OY$  в момент отрыва  $v_{0y} = 0$ , то  $H = \frac{gt^2}{2}$ , откуда время полета равно:

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (2.14)$$

Подставляя время полета (2.14) в выражение скорости (2.13), получим:

$$v = v_x = L\sqrt{\frac{g}{2H}}. \quad (2.15)$$

Подставляя скорость (2.15) в выражение кинетической энергии (2.12), получим:

$$W_k = \frac{mgL^2}{4H}. \quad (2.16)$$

Сравнивая значения потенциальной (2.11) и кинетической (2.16) энергий, можно экспериментально проверить закон сохранения механической энергии.

#### Порядок выполнения работы

1. Найти массу шарика с помощью весов.
2. Закрепить шарик на стержне и измерить высоту  $H$  над уровнем стола.
3. Отклонить стержень с шариком на некоторый угол и измерить высоту подъема шарика  $h$  относительно положения равновесия (уровня А).
4. Отпустить шарик и измерить дальность полета  $L$ , используя для фиксации точек падения шарика листы белой и копировальной бумаги.
5. Для данного угла отклонения стержня, опыт повторить 5 раз.
6. Провести аналогичные измерения для другого угла отклонения стержня.
7. По формуле (2.11) рассчитать потенциальную энергию шарика в момент отклонения от положения равновесия.
8. По формуле (2.16) найти кинетическую энергию шарика в момент отрыва.
9. Данные измерений и вычислений занести в таблицу.
10. Сравнить  $W_k$  в момент отрыва шарика с  $W_p$  при максимальном отклонении от положения равновесия для обоих случаев. Сделать вывод о выполнимости закона сохранения полной механической энергии.
11. Произвести обработку погрешностей измерений.

Таблица

Масса шарика $m =$					
Высота падения шарика $H =$					
Потенциальная энергия			Кинетическая энергия		
№	$h,$ м	$W_{п},$ Дж	$L,$ м	$\langle L \rangle,$ м	$W_{к},$ Дж
1					
2					
3					
4					
5					
1					
2					
3					
4					
5					

Вычисления:

### Расчет погрешности измерений

Записать окончательный результат:

$$W_k = ( \pm ) ; \varepsilon = \%.$$

$$W_p = ( \pm ) ; \varepsilon = \%.$$

**Вывод:**

### Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятий работы, мощности, энергии в механике.
2. Запишите и сформулируйте закон сохранения полной механической энергии. Всегда ли он справедлив?
3. Приведите примеры, иллюстрирующие выполнение (не выполнение) закона сохранения полной механической энергии.
4. Выведите выражение для вычисления кинетической энергии в данной лабораторной работе.

## Раздел 2. Молекулярная физика и термодинамика

### Лабораторная работа №3

#### Определение размеров молекул касторового масла

**Цель работы:** ознакомиться с основными положениями молекулярно-кинетической теории, определить диаметр и высоту молекулы касторового масла.

**Приборы и принадлежности:** ванночка, стеклянная палочка, пипетка, линейка, химический стаканчик, весы, разновесы, касторовое масло, марганцовка.

#### Теория работы

Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ) вещества заключаются в следующем:

1) *Все вещества состоят из мельчайших обособленных частиц – молекул, атомов, ионов.*

Молекула – мельчайшая устойчивая частица вещества, сохраняющая его основные химические свойства. Молекулы, образующие данное вещество, совершенно одинаковы; различные вещества состоят из различных молекул. Молекулы состоят из более мелких частиц – атомов. Атомы – мельчайшие частицы химического элемента, сохраняющие его химические свойства. Классическая МКТ использует модель атомов в виде твердых неделимых частичек сферической формы. Доказательством молекулярного строения вещества являются диффузия (самопроизвольное взаимное проникновение молекул соприкасающихся веществ), законы сохранения массы, кратных отношений и кратных объемов при химических реакциях. Наблюдаемые явления проницаемости, сжимаемости и растворимости веществ свидетельствуют о том, что они не сплошные, а состоят из отдельных, разделенных промежутками частиц.

2) *Частицы в веществе связаны друг с другом силами молекулярного взаимодействия – притяжения и отталкивания.*

Эти силы зависят от расстояния между частицами. Опытным доказательством этого положения является наличие прочности и упругости тел, поверхностного натяжения в жидкостях и т.д.

3) *Молекулы находятся в непрерывном беспорядочном (тепловом) движении.*

Вид теплового движения (поступательное, колебательное, вращательное) молекул зависит от характера их взаимодействия и изменяется при переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое.

Доказательством теплового движения молекул является броуновское движение, диффузия, испарения веществ и др.

В отличие от газа или пара, которые всегда целиком заполняют предоставленный им объем, жидкости образуют свободную поверхность, отделяющую данную жидкость от пограничной среды. В поверхностном слое действуют силы поверхностного натяжения. Под действием сил поверхностного натяжения свободная поверхность жидкости стремится стать сферической. Обычно этому препятствует сила тяжести, под действием которой жидкость принимает форму того сосуда, в котором находится, а свободная поверхность делается горизонтальной.

Однако когда силы поверхностного натяжения значительно превосходят силу тяжести, свободная поверхность жидкости приближается к сферической.

Рассмотрим каплю некоторой жидкости 1, расположенную на поверхности другой, не смешивающейся с ней жидкости 2 (Рис.3.1). Форма капли устанавливается в данном случае под влиянием взаимодействия трех сред: жидкости 1, жидкости 2 и воздуха 3. Эти среды имеют общую границу – окружность, ограничивающую каплю и

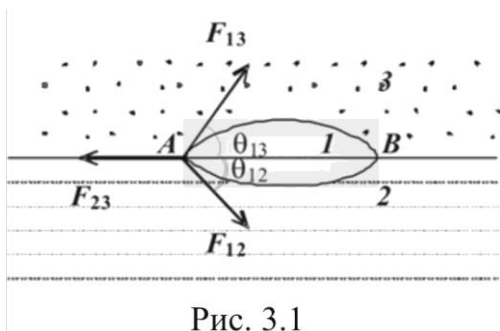


Рис. 3.1

пересекающую плоскость чертежа в двух точках  $A$  и  $B$ . По этой окружности пересекаются между собой три поверхности:

- поверхность, разграничивающая жидкость 2 и воздух, вдоль которой действует сила поверхностного натяжения  $F_{23}$  с коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma_{23}$ ;
- поверхность, разграничивающая каплю жидкости 1 и воздух, вдоль которой действует сила поверхностного натяжения  $F_{13}$  с коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma_{13}$ ;
- поверхность, разграничивающая жидкости 1 и 2, вдоль которой действует сила поверхностного натяжения  $F_{12}$  с коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma_{12}$ .

На каждую единицу длины пограничной окружности будут действовать три силы поверхностного натяжения –  $F_{23}$ ,  $F_{13}$ ,  $F_{12}$ , прямо пропорциональные соответственно  $\sigma_{23}$ ,  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{12}$ . Эти силы будут направлены по касательной к соответствующим поверхностям раздела. В результате поверхность капли образует с поверхностью второй жидкости краевые углы  $\theta_{12}$  и  $\theta_{13}$ .

В случае, когда силой тяжести по сравнению с силой поверхностного натяжения можно пренебречь, равновесной будет та форма капли, при которой векторная сумма всех сил поверхностного натяжения равна нулю:

$$\vec{F}_{12} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13} = 0.$$

Спроектируем силы поверхностного натяжения на горизонтальную поверхность второй жидкости и учтем, что силы  $F_{12}$  и  $F_{13}$  противоположны  $F_{23}$ , тогда:

$$F_{23} = F_{13} \cos\theta_{13} + F_{12} \cos\theta_{12}. \quad (3.1)$$

Отсюда следует, что для того, чтобы капля жидкости не растекалась, т.е. находилась в состоянии равновесия, необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$F_{23} = F_{13} \cos\theta_{13} + F_{12} \cos\theta_{12}. \quad (3.2)$$

Учитывая, что сила поверхностного натяжения прямо пропорциональна длине границе раздела между средами  $F_{n,n} = \sigma \cdot L$ , то, подставляя ее в уравнение (3.2), получим условие, при котором капля жидкости не будет растекаться на поверхности второй жидкости:

$$\sigma_{23} = \sigma_{12} + \sigma_{13}. \quad (3.3)$$

Многие органические жидкости (эфир, скипидар, керосин) растекаются по поверхности воды. Для некоторых жидкостей (бензол, жирные кислоты масла) растекание наблюдается для первых капель, помещенных на поверхность чистой воды. Последующие капли уже не растекаются, а остаются на поверхности в виде устойчивых капель из-за того, что первые капли, растекаясь, достаточно уменьшают поверхностное натяжение. Таким образом, растворяя даже небольшое количество примесей в растворителе, можно влиять на его коэффициент поверхностного натяжения и, следовательно, «управлять» процессом растекания или не растекания по его поверхности других жидкостей.

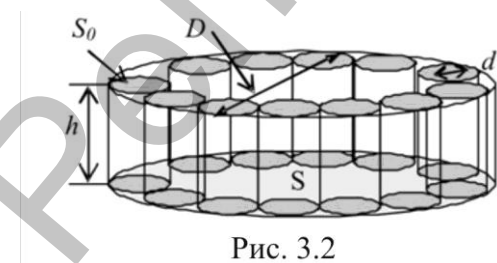


Рис. 3.2

Ленгмюр и Дево предложили метод определения размеров молекул касторового масла, основанный на растекании капли масла по поверхности воды. Экспериментально установлено, что если поверхность воды достаточно ве-



лика, то капля масла соответствующего объема растекается в очень тонкий мономолекулярный слой, т.е. слой толщиной в одну молекулу. Если капля касторового масла упадет на поверхность воды, окрашенной марганцовкой, то, растекшись по ней, она становится хорошо видна. Растекшись по поверхности воды, капля касторового масла в идеальном случае принимает форму круглого пятна площадью  $S$  (Рис.3.2). Измерив линейкой диаметр образовавшегося круглого пятна  $D$ , можно найти площадь его поверхности:

$$S = \pi \frac{D^2}{4}. \quad (3.5)$$

Молекулу масла (жирных кислот) можно рассматривать как образование, сильно вытянутое в длину, нечто вроде цилиндра. Форму молекулы масла будем считать цилиндрической. Тогда площадь кругового поперечного сечения молекулы касторового масла диаметра  $d$ :

$$S_0 = \pi \frac{d^2}{4}. \quad (3.6)$$

В мономолекулярном слое молекулы масла расположены вертикально. Предполагая, что молекулы масла плотно расположены в мономолекулярном слое, как на рис.3.2, можно найти число молекул в мономолекулярном слое, используя выражения (3.5) и (3.6):

$$N = \frac{S}{S_0} = \frac{D^2}{d^2}. \quad (3.7)$$

Но, с другой стороны, число молекул в капле мы можем найти как произведение числа молей  $\nu = \frac{m}{\mu}$  на число Авогадро  $N_A$  – число молекул в одном моле:

$$N = \nu \cdot N_A = \frac{m}{\mu} N_A, \quad (3.8)$$

где  $m$  – масса капли;  $\mu = 0,894$  кг/моль – молярная масса касторового масла.

Приравнявая (3.7) и (3.8), получим:  $\frac{m \cdot N_A}{\mu} = \frac{D^2}{d^2}$ . Отсюда выразим диаметр

молекулы касторового масла: 
$$d = D \sqrt{\frac{\mu}{m \cdot N_A}}. \quad (3.9)$$

Высота молекулы равна толщине мономолекулярного слоя. А толщину цилиндрического слоя мы можем найти из его объема:  $V = S \cdot h$ .

Тогда: 
$$h = \frac{V}{S}. \quad (3.10)$$

Но объем капли касторового масла можно найти, зная массу  $m$  капли и плотность масла  $\rho = 970$  кг/м<sup>3</sup>: 
$$V = \frac{m}{\rho}. \quad (3.11)$$

Подставляя (3.11) и (3.5) в (3.10), получим высоту молекулы – толщину мономолекулярного слоя:

$$h = \frac{V}{S} = \frac{\frac{m}{\rho}}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{4m}{\pi \rho D^2}. \quad (3.12)$$

### Порядок выполнения работы

1. Наполнить ванночку водой, добавить в нее марганцовку. Выполняя помешивание раствора стеклянной палочкой добиться равномерного светло-розового цвета.
2. Определить массу чистого химического стаканчика  $m_1$ , а затем массу того же стаканчика  $m_2$  с  $n=20$  каплями касторового масла. Найти массу одной капли по формуле:  $m = (m_2 - m_1)/n$ .
3. Из пипетки капнуть в ванночку каплю касторового масла с небольшой высоты так, чтобы при растекании она не касалась стенок ванночки.
4. Как только капля перестанет растекаться, измерить диаметр пятна  $D$  по нескольким направлениям.
5. Вычислить диаметр молекулы масла по формуле (3.9).
6. Вычислить высоту мономолекулярного слоя масла по формуле (3.12).
7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.
8. Произвести обработку погрешностей измерений.

Таблица.

№	$D$ , м	$\langle D \rangle$ , м	$d$ , м	$h$ , м
1				
2				
3				
...				
...				

### Вычисления

### Расчет погрешности измерений

Записать окончательный результат:

$$d = ( \quad \pm \quad ) ; \varepsilon = \%.$$

$$h = ( \quad \pm \quad ) ; \varepsilon = \%.$$

**Вывод:**

### Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории вещества. Какие опыты подтверждают эти положения?
2. На основании рис.3.1 и выражений (3.1-3.4) поясните условие растекания или не растекания капли на поверхности второй жидкости.
3. Сделайте вывод формул (3.9) и (3.12) для нахождения диаметра и высоты молекулы касторового масла.

## Лабораторная работа №4

### Определение теплоемкости твердых тел

**Цель работы:** изучить основные характеристики и виды термодинамических систем и процессов, закон сохранения энергии – первое начало термодинамики, определить молярную теплоемкость твердых тел.

**Приборы и принадлежности:** нагреватель, калориметр с мешалкой, термометр, два тела из различных материалов, весы.

#### Теория работы

**Термодинамика** – раздел физики, изучающий процессы превращения энергии при переходе термодинамической системы из одного состояния в другое.

**Термодинамическая система** – это тело или группа тел, условно выделенные из окружающей среды, в которой происходят термодинамические процессы.

**Термодинамический процесс** – это процесс перехода системы из одного состояния с параметрами  $P_1, V_1, T_1$  в другое с параметрами  $P_2, V_2, T_2$ , сопровождающийся превращением энергии из одного вида в другой или совершением механической работы.

Любой термодинамический процесс сопровождается изменением внутренней энергии. Под **внутренней энергией** в термодинамике понимают сумму кинетической энергии всех молекул или атомов тела и потенциальной энергии их взаимодействия.

Внутренняя энергия изменяется двумя путями: 1) при совершении механической работы; 2) путем теплообмена.

**Количество теплоты** – это мера изменения внутренней энергии, которую тело отдает (или получает) в процессе теплообмена.

Опыт показывает, что количество теплоты, необходимое для нагревания тела массой  $m$  от температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$  рассчитывается по формуле:

$$Q = cm(T_2 - T_1) = cm\Delta T, \quad (4.1)$$

где  $c$  – **удельная теплоемкость**. Она численно равна количеству теплоты, которое необходимо сообщить телу массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1 К:

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}. \quad (4.2)$$

Размерность удельной теплоемкости:  $[c] = \left[ \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \right] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ .

**Полная теплоемкость** тела численно равна количеству теплоты, которое необходимо сообщить всему телу, чтобы повысить его температуру на 1 К:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}. \quad (4.3)$$

Размерность полной теплоемкости:  $[C] = \left[ \frac{\Delta Q}{\Delta T} \right] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ .

**Молярная теплоемкость** – количество теплоты, которое необходимо сообщить одному моллю вещества для увеличения его температуры на 1 К:

$$C_\mu = \frac{\Delta Q}{\nu \cdot \Delta T}, \quad (4.4)$$

где  $\nu = m/\mu$  – количество молей вещества;  $\mu$  – молярная масса.

Размерность молярной теплоемкости:  $[C_\mu] = \left[ \frac{\Delta Q}{\nu \Delta T} \right] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$ .

Сравнивая формулы удельной и молярной теплоемкостей, находим, что:

$$C_\mu = \mu \cdot c. \quad (4.5)$$

Определив удельную теплоемкость, можно вычислить и молярную теплоемкость.

Дюлонгом и Пти экспериментально был установлен закон, согласно которому молярные теплоемкости всех твердых тел при достаточно высоких температурах одинаковы и равны:

$$C_{\mu} = 3R, \quad (4.6)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная.

Первый закон (первое начало) термодинамики – это закон сохранения и превращения энергии в применении к тепловым процессам.

Если механическая энергия системы не изменяется, а система не замкнута и между ней и окружающей средой происходит теплообмен, то изменяется внутренняя энергия:

$$\Delta U = Q + A_{\text{вн}}. \quad (4.7)$$

Уравнение (4.7) – **первый закон термодинамики**, который формулируется так: **изменение внутренней энергии при переходе термодинамической системы из одного состояния в другое равно работе внешних сил и количеству теплоты, переданному термодинамической системе в процессе теплообмена.**

Если вместо работы внешних сил  $A_{\text{вн}}$  ввести работу  $A$  системы над внешними телами,  $A = -A_{\text{вн}}$ , то выражение (4.7) запишется так:

$$Q = \Delta U + A. \quad (4.8)$$

Тогда первый закон термодинамики можно сформулировать так: **количество теплоты, сообщенное термодинамической системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение работы системой против внешних сил.**

Методика определения удельной теплоемкости твердых тел в данной работе основана на использовании закона сохранения энергии при тепловом обмене, который называется **уравнением теплового баланса** при условии, что тепло не рассеивается в окружающую среду, т. е., что система замкнута.

Нагреем твердое тело и опустим его в воду, налитую в калориметр. Твердое тело будет остывать, отдавая некоторое количества теплоты  $Q_1$  стаканчику калориметра и воде, которые, в свою очередь, получают от нагретого тела количество теплоты  $Q_2$  и  $Q_3$ , нагреваясь при этом. В результате, в термодинамической системе «калориметр – вода – твердое тело» устанавливается состояние термодинамического равновесия при некоторой равновесной температуре  $T$ . Тогда уравнение теплового баланса для системы примет вид:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3. \quad (4.9)$$

Твердое тело массой  $m_1$  с удельной теплоемкостью  $c_1$  и нагретое до температуры  $T_1$ , остывая до температуры равновесия  $T$ , отдает количество теплоты  $Q_1$ , которое можно определить по формуле (4.1):

$$Q_1 = m_1 c_1 (T_1 - T). \quad (4.10)$$

Стаканчик калориметра (внутренний стаканчик) массой  $m_2$  с удельной теплоемкостью  $c_2$  нагревается от температуры  $T_2$  до температуры равновесия  $T$ , принимая количество теплоты  $Q_2$ :

$$Q_2 = m_2 c_2 (T - T_2). \quad (4.11)$$

Вода массой  $m_3$  с удельной теплоемкостью  $c_3$ , налитая в стаканчик калориметра также нагревается от температуры  $T_2$  до температуры равновесия  $T$ , принимая количество теплоты  $Q_3$ :

$$Q_3 = m_3 c_3 (T - T_2). \quad (4.12)$$

Подставим (4.10), (4.11), (4.12) в уравнение теплового баланса (4.9):

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = c_2 m_2 (T - T_2) + c_3 m_3 (T - T_2). \quad (4.13)$$

Раскрывая скобки, получим:

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = c_2 m_2 T - c_2 m_2 T_2 + c_3 m_3 T - c_3 m_3 T_2.$$

Скомпонуем слагаемые:

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = (c_2 m_2 + c_3 m_3) T - (c_2 m_2 + c_3 m_3) T_2.$$

Вынесем  $(c_2 m_2 + c_3 m_3)$  за скобки:

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = (c_2 m_2 + c_3 m_3) (T - T_2).$$

Откуда, удельная теплоемкость исследуемого твердого тела:

$$c_1 = \frac{(c_2 m_2 + c_3 m_3) (T - T_2)}{m_1 (T_1 - T)}. \quad (4.14)$$

### Определение удельной теплоемкости алюминия

Для того, чтобы вычислить удельную теплоемкость любого твердого тела по формуле (4.14), необходимо сначала измерить удельную теплоемкость  $c_2$  внутреннего стаканчика калориметра. Так как внутренний стаканчик калориметра изготовлен из алюминия, то мы можем в качестве исследуемого использовать алюминиевое тело. В таком случае удельные теплоемкости исследуемого тела и внутреннего стаканчика калориметра одинаковы, т.е.  $c_2 = c_1$ . Собирая слагаемые с  $c_2$  в одной стороне равенства и вынося  $c_2$  за скобки, получим:

$$c_2 m_1 (T_1 - T) - m_2 (T - T_2) = c_3 m_3 (T - T_2).$$

Откуда можно выразить удельную теплоемкость алюминия:

$$c_2 = \frac{c_3 m_3 (T - T_2)}{m_1 (T_1 - T) - m_2 (T - T_2)}. \quad (4.15)$$

### Определение удельной теплоемкости латуни

Так как удельную теплоемкость алюминия мы уже определили по формуле (4.15), то по формуле (4.14) можно вычислить удельную теплоемкость любого, например, латунного тела, которое используется в данной работе.

### Порядок выполнения работы

#### Задание №1. Определение удельной и молярной теплоемкости алюминия

1. Определить массу тела  $m_1$  из алюминия. Определить массу внутреннего стаканчика калориметра  $m_2$ .
2. Опустить за нить алюминиевое тело в нагреватель с кипящей водой на 5 мин. За это время исследуемое тело нагреется до температуры кипящей воды  $t_1=100$  °С.
3. Налить  $m_3=200$  г холодной воды из под крана во внутренний стаканчик калориметра и измерить ее температуру  $t_2$ .
4. Нагретое тело сразу перенести за нить в калориметр и перемешать воду для выравнивания температур тела и воды. Закрывать калориметр крышкой. Опустить термометр в калориметр, вставив его в крышку калориметра.
5. Наблюдать за показаниями термометра. В момент, когда температура прекратит увеличиваться, измерить температуру воды в калориметре  $t$  – это и есть температура термодинамического равновесия.
6. Найти удельную теплоемкость алюминия по формуле (4.15), где удельная теплоемкость воды  $c_3 = 4186$  Дж/(кг·К).
7. **ВНИМАНИЕ:** Все значения температуры по шкале Цельсия перевести в градусы по шкале Кельвина по формуле:

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273.$$

8. Вычислить молярную теплоемкость алюминия  $C_M$  по формуле (4.5), используя значение молярной массы алюминия  $\mu_{Al} = 0,027$  кг/моль.
9. Данные измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

№	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$m_3$ , кг	$T_1$ , К	$T_2$ , К	$T$ , К	$c_2$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$	$\frac{C_{\mu}, \text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$

- Сравнить полученное значение удельной теплоемкости алюминия с известным табличным значением:  $c_{Al} = 896 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .
- Проверить для алюминия закон Дюлонга и Пти (4.6). Сделать вывод.

### Вычисления к заданию №1:

#### Вывод:

#### Задание №2. Определение удельной и молярной теплоемкости латуни

- Выписать из задания №1 полученное среднее значение удельной теплоемкости алюминия  $\langle c_2 \rangle =$  \_\_\_\_\_.
- Провести измерения, аналогичные пунктам 1-5 задания №1, используя в качестве исследуемого тела из латуни.
- Найти удельную теплоемкость латуни по формуле (4.14), где удельная теплоемкость воды  $c_3 = 4186 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .
- Вычислить молярную теплоемкость латуни  $C_{\mu}$  по формуле (4.5), используя значение молярной массы латуни  $\mu_{\text{лат}} = 0,0645 \text{ кг}/\text{моль}$ .
- Данные измерений и вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2.

№	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$m_3$ , кг	$T_1$ , К	$T_2$ , К	$T$ , К	$c_2$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$	$\frac{C_{\mu}, \text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$

- Сравнить полученное значение удельной теплоемкости латуни с известным табличным значением:  $c_{\text{лат}} = 386 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .
- Проверить для латуни закон Дюлонга и Пти (4.6). Сделать вывод.

### Вычисления к заданию №2:

#### Вывод:

#### Контрольные вопросы:

- Что изучает термодинамика? Что такое термодинамическая система? Какие бывают виды термодинамических систем, процессов?
- Что такое количество теплоты? Сформулируйте первый закон термодинамики.
- Запишите выражения и дайте определения полной, удельной и молярной теплоемкости.
- Сформулируйте закон Дюлонга и Пти.
- Запишите и объясните уравнение теплового баланса (4.9) для калориметрического метода. Сделайте вывод выражений (4.14) и (4.15) для определения удельных теплоемкостей латуни и алюминия.

## Раздел 3. Электродинамика

### Лабораторная работа №5

#### Изучение электроизмерительных приборов.

#### Проверка закона Ома для участка цепи

**Цель работы:** изучить основные характеристики электрического тока и закон Ома, ознакомиться с классификацией электроизмерительных приборов, их устройством, принципом работы, научиться снимать показания приборов и обрабатывать результаты измерений.

**Приборы и принадлежности:** амперметры, вольтметры, источник тока, магазин сопротивлений.

#### Теория работы

**Электрическим током** называется направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц. В металлах – это движение электронов, в электролитах – движение ионов, в газах – движение электронов и ионов.

За направление электрического тока условно принято направление движения положительно заряженных частиц.

**Сила тока** – это физическая величина, равная отношению заряда, проходящего через поперечное сечение проводника, ко времени прохождения:

$$I = \frac{q}{t}. \quad (5.1)$$

Размерность силы тока:  $[I] = 1 \text{ А}$  (Ампер).

Если сила тока и его направление не меняются, то ток называется **постоянным**.

**Плотность тока** – это физическая величина, равная отношению силы тока  $I$  в проводнике к площади  $S$  поперечного сечения проводника:

$$j = \frac{I}{S}. \quad (5.2)$$

Размерность плотности тока:  $[j] = \frac{[I]}{[S]} = \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$ .

Участок цепи, на котором не действуют сторонние силы, приводящие к возникновению ЭДС, называется однородным.

**Закон Ома для однородного участка цепи:**

**Сила тока  $I$  в однородном металлическом проводнике прямо пропорциональна напряжению  $U$  на концах этого проводника и обратно пропорциональна сопротивлению  $R$  этого проводника:**

$$I = \frac{U}{R} \quad (5.3)$$

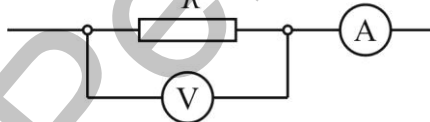


Рис. 5.1

Напряжение на концах проводника измеряется вольтметром и может изменяться с помощью потенциометра. Силу тока измеряют амперметром, сопротивление которого мало (Рис.5.1). *Способность проводника препятствовать прохождению*

*через него электрического тока называется электрическим сопротивлением проводника* (или просто – **сопротивлением**) –  $R$ . Из закона Ома определяется размерность сопротивления:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}.$$

Величина, обратная сопротивлению проводника, называется **электропроводностью проводника** (или просто **электропроводностью**):

$$K = \frac{1}{R}. \quad (5.4)$$

Размерность электропроводности:

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{\text{Ом}} = \text{См (Сименс)}.$$

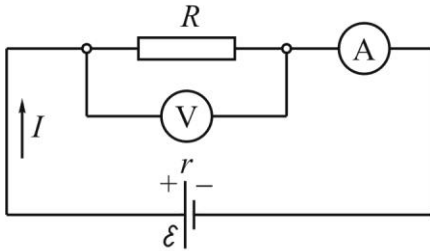


Рис. 5.2

Если участок проводника сопротивлением  $R$  подключен к источнику постоянного тока  $\mathcal{E}$  (Рис.5.2), имеющему внутреннее сопротивление  $r$ , то в цепи возникнет постоянный ток, за направление которого принимается направление от положительного полюса источника тока к его отрицательному полюсу. Величина силы тока определяется **законом Ома для полной цепи, содержащей источник тока**:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} \quad (5.5)$$

– сила тока в цепи, содержащей источник тока, прямо пропорциональна электродвижущей силе (ЭДС –  $\mathcal{E}$ ) источника тока и обратно пропорциональна сумме внешнего сопротивления  $R$  участка цепи и внутреннего сопротивления  $r$  источника тока.

### 1. Классификация электроизмерительных приборов

Существуют следующие классификации электроизмерительных приборов: метрологическая классификация, классификация по роду измеряемой величины, по принципу действия в зависимости от системы, по степени точности, по устойчивости к механическим воздействиям, по степени защищенности корпусов, по способу защиты от внешних магнитных или электростатических полей, по характеру применения, по способу представления отсчета.

**По роду измеряемой величины** приборы делятся на амперметры, вольтметры, омметры, ваттметры, счетчики электрической энергии, частотомеры, фазометры, гальванометры и др.

**По принципу действия** приборы делятся на магнитоэлектрическую, электромагнитную, электродинамическую, индукционную, электростатическую, выпрямительную, термоэлектрическую, вибрационную, тепловую системы.

**По степени точности** приборы делятся на следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.

**Класс точности** характеризуется максимальной относительной погрешностью, равной отношению абсолютной погрешности прибора к максимальному значению шкалы прибора:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{\max}} 100\% . \quad (5.6)$$

Отсюда вытекает, что абсолютная погрешность измерений:

$$\Delta A = \frac{\varepsilon A_{\max}}{100\%} . \quad (5.7)$$



Относительная погрешность измерений:

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_{\text{изм}}} 100\%, \quad (5.8)$$

С учетом (5.7) выражение (5.8) примет вид:

$$\beta = \frac{\varepsilon A_{\text{max}}}{A_{\text{изм}}} 100\%. \quad (5.9)$$

где  $A_{\text{изм}}$ —это измеренное с помощью прибора значение физической величины (силы тока, напряжения и др.), т.е., это конкретные показания приборов.

Выражения (5.7), (5.9) используются для вычисления абсолютной и относительной погрешностей измерений по классу точности прибора  $\varepsilon$ , который указан на шкале прибора. Абсолютная погрешность для выбранной шкалы прибора величина постоянная, а относительная погрешность измерений – величина переменная и всегда больше класса точности прибора.

Соответствующую классификацию по степени точности имеют и вспомогательные части прибора: шунты, дополнительные сопротивления и делители напряжения, которые прилагаются к некоторым приборам.

## 2. Физические основы работы отдельных систем измерительных приборов

### Приборы магнитоэлектрической системы

Принцип работы этой системы основан на взаимодействии магнитного поля проводника с током с магнитным полем постоянного магнита (Рис.5.3). Подвижными могут быть как проводник с током (прибор с подвижной рамкой), так и постоянный магнит (прибор с подвижным магнитом). При взаимодействии магнитного поля проводника с током (1) и магнитного поля постоянного магнита прибора (2) рамка прибора, к которой прикреплена стрелка прибора (3), поворачивается на определенный угол. Элемент (4) – это противодействующие, возвращающие спиральные пружины. Таким образом, угол поворота рамки приборов магнитоэлектрической системы пропорционален величине тока в ней, поэтому шкала таких приборов равномерная.

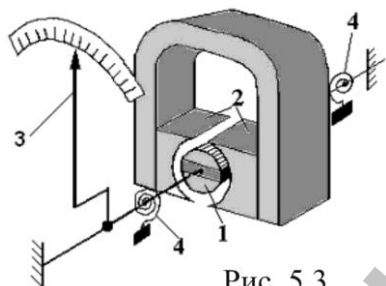


Рис. 5.3

Приборы этой системы используются только в цепях постоянного тока. Для использования в цепях переменного тока они обеспечиваются дополнительными выпрямителями (обычно полупроводниковыми).

### Приборы электромагнитной системы

Измерительный механизм этой системы приборов складывается из неподвижной катушки, легкого ферромагнитного сердечника, закрепленного на оси вместе со стрелкой. Принцип действия приборов такой системы основан на взаимодействии магнитного поля катушки с магнитным полем индукционных токов, возникающих в сердечнике. Шкала таких приборов квадратичная: сильно сжатая в начале и растянутая в конце. Независимо от направления тока в катушке прибора сердечник всегда втягивается внутрь неё. Поэтому приборы этой системы используются для измерения как в цепях постоянного, так и переменного тока, проходящего через катушку.

### Приборы электродинамической системы

Измерительный механизм этой системы приборов состоит из подвижной и неподвижной катушки, на оси которой закреплена стрелка прибора. Принцип работы приборов этой системы основан на взаимодействии магнитных полей, создаваемых токами, проходящими в катушках. Шкала таких приборов квадратичная. Приборы электродинамической системы используются для измерения в це-

пях постоянного и переменного тока. Преимуществами этой системы приборов являются: возможность их использования в цепях как постоянного, так и переменного тока, высокая точность. Недостатками: неравномерность шкалы, чувствительность к перегрузкам и к внешним магнитным полям.

### 3. Обозначения технических данных приборов

В целях удобства пользования приборами обычно на корпусе или на шкале наносятся в виде условных обозначений следующие их технические характеристики, условия эксплуатации и конструктивные данные:

#### 1) Название прибора.

Обозначение	Название. Предназначен для измерения	Разновидности	
		Обозначение	Название
A	Амперметр. Для измерения силы тока	kA mA μA или мкА	килоамперметр миллиамперметр микроамперметр
V	Вольтметр. Для измерения напряжения	kV mV	киловольтметр милливольтметр
W	Ваттметр. Для измерения мощности	MW kW	мегаваттметр киловаттметр
Ω	Омметр. Для измерения сопротивления	MΩ	мегаомметр
Wb	Веберметр Для измерения индукции магнитного поля	mWb	милливебметр

#### 2) Система прибора.

Тип системы электроизмерительного прибора			Значок системы на шкале прибора
Магнитоэлектрическая система прибора	С механической противодействующей силой		
	Без механической противодействующей силы		
	Термоэлектрические приборы	С контактным преобразователем	
		С изолированным преобразователем	
	Электронно-ламповые приборы		
	Фотоэлектрические приборы		
Электромагнитная система прибора	С механической противодействующей силой		
	Без механической противодействующей силы		
Электродинамическая система прибора	Без стали	Без механической противодействующей силы	

		С механической противодействующей силой	
	Ферродинамическая система	С механической противодействующей силой	
		Без механической противодействующей силы	
	Индукционная система	С механической противодействующей силой	
		Без механической противодействующей силы	
Электростатическая система прибора			
Тепловая система прибора			
Вибрационная (язычковая) система прибора			

3) **Класс точности:** 0,05; 1,0; 1,5; 2,0 или другие.

4) **Рабочее положение:**

а) горизонтальное: или б) вертикальное: или г) наклоненный под углом:  $\angle 60^\circ$ .

5) **Измерительная цепь изолирована** от корпуса и изоляция испытана под напряжением (в киловольтах): или

6) **Условия работы** при соответствующих температурах и влажности обозначаются буквами:

**А** – нормальная работа прибора при температуре окружающего воздуха  $+20^\circ - +35^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха 80%.

**Б** – соответственно, при температуре  $-20^\circ - +50^\circ\text{C}$  и влажности 80%.

**В** – соответственно, при температуре  $-40^\circ - +60^\circ\text{C}$  и влажности 80%.

7) **Предназначение прибора:** для цепи только постоянного тока ( - ); только переменного тока ( ~ ); для цепи как постоянного, так и переменного тока (  $\simeq$  ).

8) **Наличие защиты:** - от внешнего магнитного поля; - от внешнего электростатического поля; АСТА – астатическая защита.

9) – **знак Внимание.** Смотри дополнительные указания в паспорте и инструкции по эксплуатации прибора.

Одной из главных технических характеристик прибора является его **чувствительность** – величина, характеризующая число делений шкалы прибора, которое приходится на единицу измеряемой величины при данной границе измерения:

$$S = \frac{N_{\max}}{A_{\max}}, \quad (5.10)$$

где  $N_{\max}$  – максимальное количество делений шкалы прибора;  $A_{\max}$  – граница измерения, которая указана на приборе.

Величина, обратная чувствительности, называется **ценой деления** шкалы прибора:

$$C = \frac{1}{S} = \frac{A_{\max}}{N_{\max}}. \quad (5.11)$$

**Цена деления** характеризует значение измеряемой величины, которое приходится на одно деление шкалы (для данной границы измерения).

Зная цену деления и количество делений шкалы  $N$ , на которое указывает стрелка прибора можно определить значение величины, измеренной прибором:

$$A = C \cdot N. \quad (5.12)$$

#### **Порядок выполнения работы**

##### **Задание №1. Проведение классификации электроизмерительных приборов**

1. Прочитать символы на шкалах приборов. Выяснить технические возможности приборов.
2. Выполнить классификацию приборов:
  - 2.1. по роду измеряемой величины;
  - 2.2. по роду тока;
  - 2.3. по принципу действия;
  - 2.4. по классу точности
3. По формулам (5.10) и (5.11) вычислить чувствительность и цену деления приборов для каждой границы измерения.
4. Результаты классификации и расчетов занести в таблицу 1.

Таблица 1. Классификация электроизмерительных приборов

Условные обозначения	Название прибора, расшифровка условных обозначений	Граница измерения	Цена деления $C$	Чувствительность $S$
Прибор: _____				
Прибор: _____				

##### **Задание №2. Вычисление показаний приборов и оценка погрешностей прямых измерений**

1. Собрать электрическую схему по рис.5.2.
2. Записать в таблицу 2 значение используемой границы измерения, установленной на амперметре и вольтметре.
3. Занести в таблицу 2 значения цены деления  $C$  для данной границы измерения, рассчитанные в таблице 1.
4. Установить на магазине сопротивлений  $R_m$  определенное значение сопротивления. Занести значение сопротивления в таблицу 3.

5. Записать в таблицу 2 количество делений шкалы  $N$ , на которое указывает стрелка амперметра и вольтметра.
6. Вычислить по формуле (5.12) показания приборов  $A_{изм}$ : на амперметре – силы тока; на вольтметре – напряжения.
7. Сделать измерения силы тока и напряжения при трех различных значениях сопротивления на магазине сопротивлений.
8. Оценить погрешность прямых измерений исходя из класса приборов:
  - 8.1. абсолютную погрешность по формуле (5.7);
  - 8.2. относительную погрешность по формуле (5.9).
9. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2. Вычисление показаний приборов. Оценка погрешностей измерений.

Измеряемая величина	Используемая граница	Цена деления $C$	Число делений шкалы $N$	Показания прибора $A_{изм}$	Абсолютная погрешность $\Delta A$	Относительная погрешность $\beta, \%$
Прибор: _____						
Прибор: _____						

Вычисления к таблице №2:

### Задание №3. Проверка закона Ома для участка цепи

1. Занести в таблицу 3 значения измеренных величин силы тока и напряжения из таблицы 2.
2. Вычислить значения сопротивления и электропроводности по формулам (5.3) и (5.4) соответственно.
3. Результаты вычислений занести в таблицу 3.

Таблица 3. Проверка закона Ома для участка цепи.

№ опыта	$R_m$ , Ом	$I$ , А	$U$ , В	$R$ , Ом	$K$ , См

- Сравнить полученные в результате вычислений значения сопротивления со значениями сопротивления магазина сопротивлений. Сделать вывод о закономерности применения закона Ома для участка цепи.
- Сравните таблицы 2 и 3 и сделайте вывод о точности вычисления сопротивления. При каких границах измерений точность наибольшая? Какая при этом чувствительность приборов?

**Выводы:**

**Контрольные вопросы:**

- Дайте определение электрического тока. Запишите формулы и дайте определения силы, плотности тока, их размерностей.
- Нарисуйте схемы, запишите и сформулируйте законы Ома для участка цепи и для полной цепи, содержащей источник тока.
- На основании закона Ома для участка цепи укажите размерность сопротивления. Что такое электропроводность? Какова ее размерность?
- Запишите формулы для нахождения абсолютной и относительной погрешности приборных измерений по классу точности приборов.
- Дайте классификацию электроизмерительных приборов по принципу действия, по роду тока.
- Запишите формулы чувствительности, цены деления прибора. Объясните, как, зная цену деления прибора, узнать показания прибора.

## Лабораторная работа №6

### Определение коэффициента диэлектрической поляризации веществ

**Цель работы:** изучить основные характеристики и классификацию диэлектриков; виды и основные характеристики диэлектрической поляризации; научиться определять коэффициент диэлектрической поляризации и относительную диэлектрическую проницаемость веществ.

**Приборы и принадлежности:** источник постоянного тока, высокоомный вольтметр, ключ, секундомер, исследуемые образцы.

#### Теория работы

**Диэлектриками** называют тела, не проводящие электрического тока вследствие отсутствия свободных носителей заряда. При помещении диэлектрика в электрическое поле происходит смещение атомов или молекул, входящих в состав диэлектрика от положения равновесия. Изменение состояния диэлектрика при помещении его в электрическое поле объясняется его молекулярным строением. По своим электрическим свойствам молекулы диэлектрика подобны электрическим диполям (Рис.6.1).

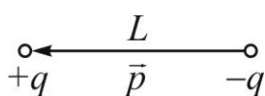


Рис. 6.1

**Диполь** – система из двух одинаковых по величине, но противоположных по знаку зарядов, расположенных на расстоянии  $L$ , характеризующаяся вектором дипольного момента:

$$\vec{p} = q \cdot \vec{L}, \quad (6.1)$$

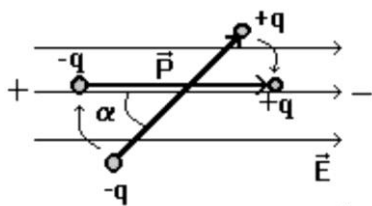


Рис. 6.2

где  $q$  – суммарная величина положительных (или равных им отрицательных) зарядов молекулы,  $L$  – расстояние между центрами тяжести положительных и отрицательных зарядов. За направление вектора дипольного момента принимается направление от его отрицательного к положительному заряду. Если диполь поместить во внешнее электрическое поле напряженностью  $\vec{E}$ , то на диполь будет действовать вращающий момент сил, в результате чего диполь будет поворачиваться – ориентироваться в электрическом поле так, чтобы стать параллельно направлению поля (Рис.6.2).

Если в отсутствие внешнего электрического поля центры положительного и отрицательного зарядов молекулы совпадают, то диэлектрики называются **неполярными** (Рис.6.3). В молекулах неполярных диэлектриков ( $H_2$ ,  $N_2$ , углеводороды и др.) в отсутствие внешнего поля дипольный момент равен нулю. При помещении такого диэлектрика в электрическое поле напряженностью  $\vec{E}$  происходит смещение центров тяжести зарядов и молекула или атом приобретают электрический дипольный момент (Рис.6.4).

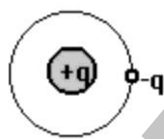


Рис. 6.3

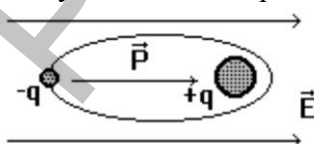


Рис. 6.4

Если в отсутствие внешнего электрического поля расстояние между центрами зарядов в молекуле не равно нулю  $L \neq 0$ , то диэлектрики называют **полярными**. Молекулы полярных диэлектриков ( $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $HCl$  и др.) имеют постоянный дипольный момент (Рис.6.1). На молекулу с дипольным моментом (6.1) в электрическом поле действует момент силы  $\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$ , стремящийся повернуть диполь в направлении вектора  $\vec{E}$  (Рис.6.2).

Третий класс – **кристаллические диэлектрики** ( $NaCl$ ,  $CsCl$  и др.), решетка которых состоит из положительных и отрицательных ионов. Такой диэлектрик схематически можно рассматривать как совокупность двух "подрешеток", одна из которых заряжена положительно, другая – отрицательно. При отсутствии внешнего поля подрешетки расположены симметрично и суммарный электрический момент равен нулю. Помещая диэлектрик в поле, происходит смещение подрешетки и диэлектрик приобретает электрический момент.

**Поляризацией диэлектрика** называется возникновение в нем при внесении во внешнее электрическое поле макроскопического собственного (внутреннего) электрического поля, обусловленного смещением заряженных частиц, входящих в состав молекул диэлектрика.

Диэлектрик, в котором возникло такое поле, называют поляризованным. Различают три вида поляризации:

1. **ориентационную поляризацию с полярными молекулами**, которая возрастает с увеличением напряженности электрического поля и убывает при повышении температуры (Рис.6.2);

2. **электронную поляризацию диэлектрика с неполярными молекулами**, состоящую в возникновении у каждой молекулы индуцированного электрического момента (Рис.6.4);

3. **ионную поляризацию** в кристаллических диэлектриках, имеющих ионные кристаллические решетки. Она состоит в смещении положительных ионов решетки вдоль направления поля, а отрицательных ионов в противоположную сторону.

**Вектором поляризации** (поляризованностью)  $\vec{P}$  называется векторная сумма дипольных моментов молекул (атомов) единицы объема диэлектрика:

$$\vec{P} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \vec{p}_i, \quad (6.2)$$

где  $N$  – число молекул (атомов), содержащихся в объеме  $V$  диэлектрика,  $\vec{p}_i$  – дипольный электрический момент  $i$ -й молекулы (атома).

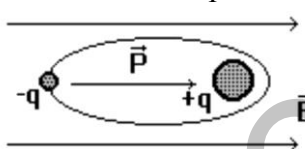


Рис. 6.5

Рассмотрим диэлектрик во внешнем электрическом поле напряженностью  $\vec{E}_0$  (Рис.6.5). В результате поляризации в диэлектрике возникнут связанные заряды, которые создают свое электрическое поле напряженностью  $\vec{E}_{св}$ , противоположно направленное внешнему электрическому полю. В результате сложения напряженностей внешнего поля и поля связанных зарядов, в диэлектрике будет возникать электрическое поле, напряженность которого:

$$E = E_0 - E_{св}, \quad (6.3)$$

т.е., напряженность результирующего электрического поля в диэлектрике становится меньше, чем напряженность внешнего электрического поля.

Характеристикой способности диэлектрика уменьшать внешнее электрическое поле является **относительная диэлектрическая проницаемость**  $\epsilon$  (греч. "эпсилон"):

$$\epsilon = \frac{E_0}{E} = \frac{E_0}{E_0 - E_{св}}, \quad (6.4)$$

которая показывает во сколько раз напряженность электрического поля в вакууме больше напряженности поля в данной среде.



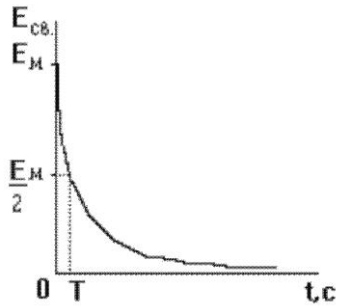


Рис. 6.6

Если поляризованный диэлектрик убрать из внешнего электрического поля, то поле в диэлектрике, обусловленное появлением связанных зарядов, начнет исчезать, а его напряженность  $E_{св}$  будет с течением времени уменьшаться по экспоненциальному закону (Рис.6.6):

$$E_{св} = E_{св \max} \cdot e^{-kt}, \quad (6.5)$$

где  $E_{св}$  – напряженность ЭП связанных зарядов в данный момент времени  $t$ ,  $E_{св \max}$  – максимальная напряженность электрического поля связанных зарядов в момент отключения внешнего поля ( $t=0$ ),  $k$  –

коэффициент диэлектрической поляризации.

Если поместить диэлектрик во внешнее электрическое поле, то в нем возникнет внутреннее электрическое поле связанных зарядов. При отключении внешнего электрического поля можно зафиксировать вольтметром максимальное напряжение, которое пропорционально напряженности электрического поля связанных зарядов в самом диэлектрике –  $E_{св \max}$ . Если измерить промежуток времени  $t = T$ , за который напряженность электрического поля связанных зарядов в диэлектрике уменьшится в два раза, т.е. станет равным  $E_{св} = \frac{E_{св \max}}{2}$ , то уравнение (6.5)

для этого момента времени примет вид:  $\frac{E_{св \max}}{2} = E_{св \max} \cdot e^{-kT}$ . Тогда получим:  $2 = e^{kT}$ .

Прологарифмируем левую и правую часть:  $\ln 2 = kT$ . Тогда коэффициент диэлектрической поляризации диэлектрика:

$$k = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T}. \quad (6.6)$$

В данной работе измеряется коэффициент диэлектрической поляризации и диэлектрическая проницаемость вещества.

### Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему согласно рис.6.7, где:

1- исследуемое вещество и иглы;

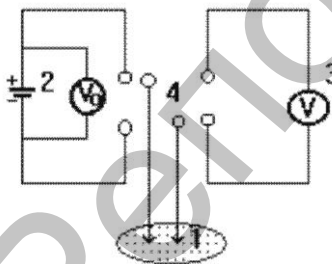


Рис. 6.7

2- источник постоянного тока на  $U_0 = 4 \div 10$  В ;

3- цифровой высокоомный вольтметр;

4- четырехполюсный ключ.

2. Установить на источнике постоянного тока напряжение  $U_0 = 10$  В.

3. В исследуемый образец вставить иглы на глубину 1 см с расстоянием между ними  $d=1$  см и ключом замкнуть на источник постоянного тока на  $20 \div 30$  секунд.

4. Переключить ключ на милливольтметр и быстро записывать в таблицу его показания через 0, 10, 20, . . . и

т.д. секунд до момента времени  $T$ , когда напряженность внутреннего поля связанных зарядов  $E_{св}$  не уменьшится в два раза по сравнению с показаниями цифрового вольтметра в начале измерений, т.е. пока не станет равным

$E_{св} = \frac{E_{св \max}}{2}$ . Момент начала измерений считать нулевым моментом времени.

5. Пункты 2-4 повторить для остальных образцов.

6. Рассчитать напряженность электрического поля связанных зарядов в диэлектрике по формуле:

$$E = \frac{U}{d}, \quad (6.7)$$

где  $U$  – напряжение;  $d$  – расстояние между электродами, равное в нашем случае  $d = 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$ .

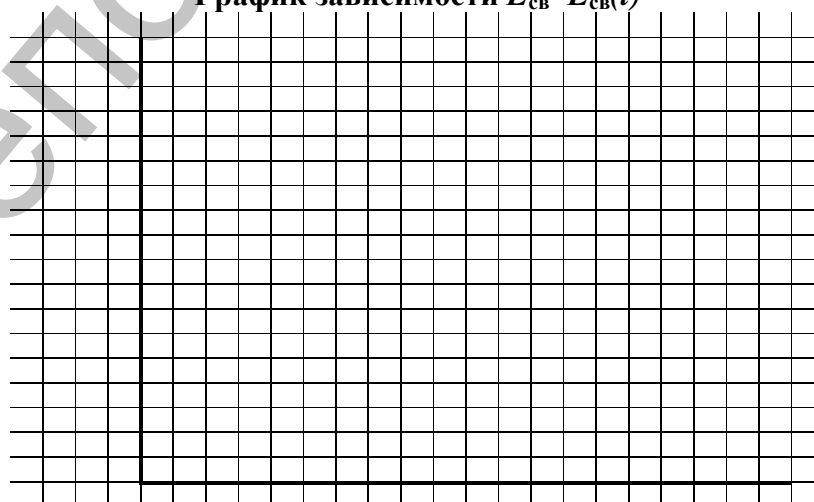
7. По формуле (6.6) найти коэффициент диэлектрической поляризации  $k$ .
8. Зная значение напряженности внешнего поля  $E_0$ , вычисленное по показаниям вольтметра выпрямителя  $U_0$  и  $E_{\text{max}}$  – напряженность электрического поля связанных зарядов внутри диэлектрика, вычисленное по показаниям цифрового вольтметра в момент времени  $t=0$ , вычислить по формуле (6.4) значение относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ .
9. Данные измерений и вычислений занести в таблицу.

Образец 1			Образец 2			Образец 3		
$U_0 =$			$U_0 =$			$U_0 =$		
$E_0 =$			$E_0 =$			$E_0 =$		
$t,$ с	$U,$ В	$E_{\text{св}},$ В/м	$t,$ с	$U,$ В	$E_{\text{св}},$ В/м	$t,$ с	$U,$ В	$E_{\text{св}},$ В/м
0			0			0		
10			10			10		
20			20			20		
30			30			30		
40			40			40		
50			50			50		
60			60			60		
70			70			70		
80			80			80		
$k =$			$k =$			$k =$		
$\epsilon =$			$\epsilon =$			$\epsilon =$		

10. Построить график зависимости изменения  $E_{\text{св}}$  от времени:  $E_{\text{св}} = E_{\text{св}}(t)$ .

11. На основании выражения (6.5) сделать вывод о виде закономерности, по которой происходит изменение напряженности электрического поля с указанием причины происходящих при этом в диэлектрике процессов.

**График зависимости  $E_{\text{св}} = E_{\text{св}}(t)$**



**Вывод:**

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие вещества называются диэлектриками? Дайте их классификацию.
2. Что такое диполь, дипольный момент? Объясните его поведение в электрическом поле.
3. Что такое диэлектрическая поляризация? Какие существуют виды поляризации? Дайте определение и запишите формулу вектора поляризации (поляризованности) диэлектрика.
4. Запишите формулу и дайте определение относительной диэлектрической проницаемости?
5. Объясните, почему при отключении внешнего электрического поля, поле связанных зарядов внутри диэлектрика уменьшается.
6. Объясните методику измерения коэффициента диэлектрической поляризации и относительной диэлектрической проницаемости.

## Лабораторная работа №7

### Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.

**Цель работы:** изучить основные характеристики постоянного магнитного поля, принцип суперпозиции магнитных полей и научиться определять горизонтальную составляющую магнитного поля Земли с помощью тангенс-гальванометра.

**Приборы и принадлежности:** источник постоянного тока, миллиамперметр, тангенс-гальванометр, двухполюсный ключ, провода.

#### Теория работы

**Магнитное поле** – это особый вид материи, создаваемый движущимися (относительно определенной системы отсчета) электрическими зарядами и переменными электрическими полями.

Силовой характеристикой магнитного поля является **вектор индукции  $\vec{B}$** .

Если в постоянное магнитное поле внести проводник с током, то со стороны магнитного поля на него будет действовать сила Ампера, численно равная:

$$F_A = B I \ell \sin \alpha, \quad (7.1)$$

где  $I$  – сила тока в проводнике;  $\ell$  – длина проводника;  $\alpha$  – угол между направлением вектора индукции магнитного поля и направлением силы тока;  $B$  – индукция магнитного поля. Направление силы Ампера определяется по **правилу «левой руки»** (Рис.7.1): если направление силы тока в проводнике совпадает с направлением вытянутых четырех пальцев левой руки, а линии индукции магнитного поля входят в ладонь, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец покажет направление силы Ампера.

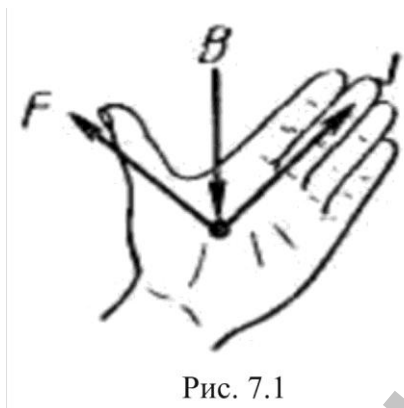


Рис. 7.1

Размерность магнитной индукции:  $[B] = \text{H}/(\text{A}\cdot\text{м}) = \text{Тл}$  (Тесла).

Графически магнитное поле изображается с помощью  **$N$  силовых линий индукции** магнитного поля, т.е. линий, в каждой точке которых вектор индукции совпадает с касательной. За направление силовых линий индукции магнитного поля постоянного магнита условились считать направление от северного ( $N$ ) к южному ( $S$ ) магнитному полюсу. В отличие от электрического поля линии индукции магнитного поля нигде не начинаются и нигде не заканчиваются, т.е. являются замкнутыми. (Рис.7.2). Магнитных зарядов в природе не существует, поэтому деление на северный и южный магнитный полюс чисто условное. Если «разрезать» постоянный магнит по линии, разделяющей  $S$  и  $N$ , то каждый «кусочек» магнита опять разобьется на северный и южный магнитный полюс.

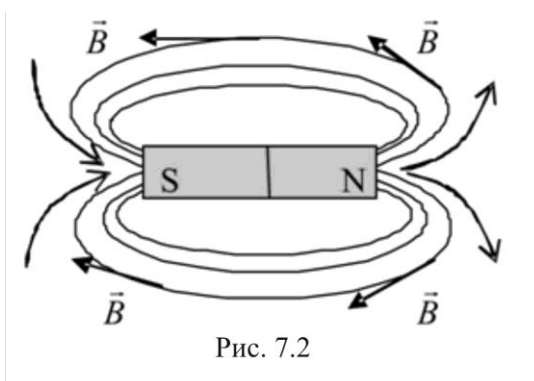


Рис. 7.2

**За направление вектора индукции магнитного поля** в данной точке поля принимается направление, указываемое северным полюсом свободной магнитной стрелки. Направление вектора  $\vec{B}$  кругового витка с током можно определить с помощью правила правого буравчика: если рукоятку буравчика вращать в направлении

нии тока, то поступательное движение острия буравчика покажет направление магнитной индукции в центре кругового витка.

Если магнитное поле образовано системой  $n$  проводников с токами, то имеет место **принцип суперпозиции магнитных полей**: *магнитная индукция поля системы токов равна геометрической сумме магнитных индукций полей, создаваемых каждым из токов в отдельности*:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i.$$

**Магнитное поле называется однородным**, если модуль и направление величина индукции магнитного поля в каждой точке пространства постоянны. Графически это означает, что «густота» линий индукции магнитного поля должна быть постоянной. В противном случае магнитное поле является **неоднородным**. Примером неоднородного магнитного поля может быть рис.7.2 – поле постоянно магнита; рис.7.3 – магнитное поле Земли.

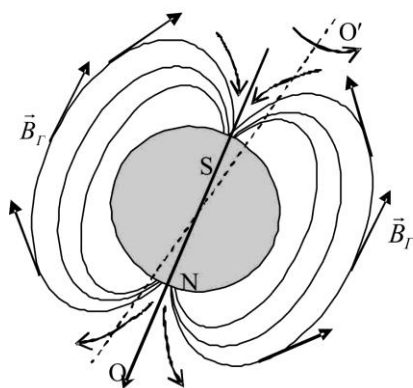


Рис. 7.3

Земля представляет собой огромный шаровой магнит. Поэтому в любом пункте поверхности Земли и в окружающем пространстве проявляется действие магнитных сил. Магнитные полюса Земли не совпадают с географическими. Южный полюс магнитного поля Земли размещается около северных берегов Америки, приблизительно под  $74^\circ$  северной широты и  $100^\circ$  западной долготы, а северный полюс – в Антарктиде, под  $60^\circ$  южной широты и  $143^\circ$  восточной долготы.

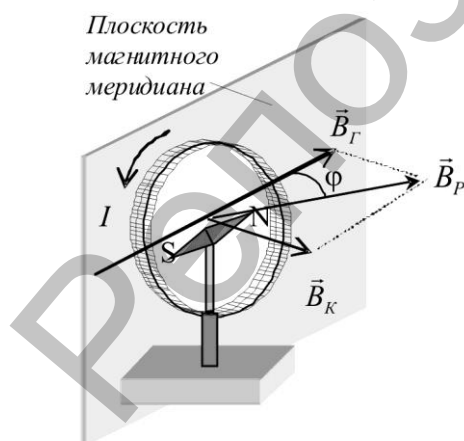


Рис. 7.4

Схема силовых линий магнитного поля Земли показана на рис. 7.3 (пунктиром показана ось вращения Земли -  $OO'$  и направление вращения Земли). Направление вектора индукции магнитного поля Земли определены с помощью магнитной стрелки (стрелки компаса). Если поднести магнитную стрелку на нитке так, чтобы пункт подвеса совпал с центром тяжести стрелки, то последняя устанавливается по направлению касательной к силовой линии индукции магнитного поля Земли. В северном полушарии южный конец стрелки будет наклонен к Земле и она будет создавать с горизонтом угол наклона  $\theta$  (греч. «тета») – магнитное склонение. Вертикальная плоскость, в которой разместится стрелка, называется плоскостью магнитного меридиана. Угол  $\alpha$  между магнитным и географическим меридианами называется магнитным склонением. Значения индукции магнитного поля  $\vec{B}$  Земли невелики и меняются от  $0,42 \cdot 10^{-4}$  Тл на экваторе до  $0,7 \cdot 10^{-4}$  Тл около магнитных полюсов.

Вектор индукции магнитного поля Земли можно разложить на две составляющие: горизонтальную  $\vec{B}_H$  и вертикальную  $\vec{B}_V$ . Закрепленная на вертикальной оси магнитная стрелка устанавливается в направлении горизонтальной составляющей магнитного поля Земли –  $\vec{B}_H$ . Магнитное

наклонение  $\theta$ ; магнитное склонение  $\alpha$  и горизонтальная составляющая  $\vec{B}_Г$  являются основными параметрами магнитного поля Земли.

Горизонтальную составляющую магнитного поля Земли определяют с помощью прибора, который называется **тангенс-гальванометр**. Схематическое устройство прибора показано на рис.7.4. Он состоит из катушки, расположенной вертикально в плоскости магнитного меридиана (диаметр катушки и количество витков указывается на приборе), в центре катушки размещается магнитная стрелка. Она должна быть небольшой, чтобы можно было считать индукцию магнитного поля в пределах стрелки равной индукции в центре кругового витка с током. Плоскость контура устанавливается перпендикулярно горизонтальной плоскости так, чтобы она совпала с направлением магнитной стрелки  $N-S$ . Ток  $I$ , который протекает по контуру, создает магнитное поле, которое действует на магнитную стрелку. Направление вектора индукции магнитного поля, созданного катушкой с током, определяется **правилом буравчика**. Вектор индукции магнитного поля катушки  $\vec{B}_К$  направлен перпендикулярно горизонтальной составляющей поля Земли  $\vec{B}_Г$ . В результате, на магнитную стрелку  $N-S$  будут действовать сразу два магнитных поля: поле Земли и поле, созданное катушкой с током. Согласно **принципу суперпозиции**, при сложении индукции горизонтальной составляющей магнитного поля Земли  $\vec{B}_Г$  и индукции магнитного поля катушки с током  $\vec{B}_К$  возникает индукция результирующего магнитного поля  $\vec{B}_Р$ , действующая на магнитную стрелку:

$$\vec{B}_Р = \vec{B}_Г + \vec{B}_К.$$

Вектор  $\vec{B}_Р$  направлен под углом  $\varphi$  к плоскости магнитного меридиана. В результате, на магнитную стрелку действует вращающий момент, который поворачивает – ориентирует магнитную стрелку по направлению вектора результирующего магнитного поля  $\vec{B}_Р$ .

Из рис.7.4 видно, что:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{|\vec{B}_К|}{|\vec{B}_Г|}. \quad (7.2)$$

Индукция магнитного поля контура  $B_К$  в центре кругового витка равна:

$$B_К = \mu_0 \frac{nI}{2R}, \quad (7.3)$$

где  $n$  – количество витков контура;  $I$  – сила тока, который протекает в контуре;  $R$  – радиус контура;  $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная.

Из (7.2) и (7.3) находим, что:

$$B_Г = \mu_0 \frac{nI}{2R \cdot \operatorname{tg}\varphi}. \quad (7.4)$$

Необходимо помнить, что формула (7.4) является приближительной, т.е. верной только в том случае, если размер магнитной стрелки много меньше радиуса катушки  $R$ . Наименьшая погрешность при измерениях получается при углах отклонения стрелки  $\varphi = 45^\circ$ .

### Порядок выполнения работы

1. Собрать рабочую схему (Рис.7.5).
2. Установить плоскость катушки в плоскости магнитного меридиана (по направлению магнитной стрелки компаса).

3. Переключателем  $S$  подключить цепь к источнику тока и измерить величину силы тока  $I$ .
4. После успокоения стрелки компаса отсчитать на его шкале угол  $\varphi_1$ .
5. Изменить направление тока в катушке с помощью переключателя  $S$ , подождать успокоения стрелки компаса и отсчитать по его шкале угол  $\varphi_2$ .

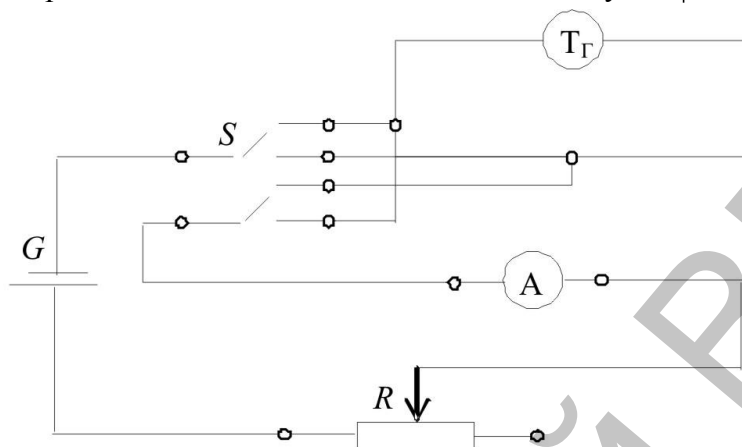


Рис. 7.5

6. Найти среднее значение угла отклонения  $\varphi$  при данном значении силы тока:

$$\varphi = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}. \quad (7.5)$$

7. По формуле (7.4) найти значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, где  $R=0,075$  м – радиус витков катушки;  $n=200$  – количество витков.
8. Измерения повторить еще два раза при других значениях тока, изменяя его положением движка реостата  $R$ .
9. Найти среднее значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли  $B_H$ .
10. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.
11. Расчет погрешности измерений величины  $B_H$  произвести по методу обработки прямых измерений.

N	$I$ , А	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi$	$B_H$ , мТл	$\langle B_H \rangle$ , мТл
1						
2						
3						

**Вычисления:**

## Расчет погрешности измерений

Записать окончательный результат:

$$B_T = ( \quad \pm \quad ) ; \varepsilon = \quad \%$$

### Контрольные вопросы:

1. Что такое магнитное поле? Как направлены силовые линии магнитного поля?
2. Запишите и сформулируйте закон Ампера для проводника с током в магнитном поле. Как определяется направление силы Ампера?
3. Как определить направление индукции магнитного поля, созданного катушкой с током?
4. Что такое однородное и неоднородное магнитное поле?
5. Сформулируйте принцип суперпозиции магнитных полей.
6. Объясните методику проведения опыта и на основании принципа суперпозиции получите формулу для вычисления горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.



## Приложения

### Приложение 1. Приставки для обозначения десятичных кратных и дольных единиц

Название приставки	Обозначение	Коэффициент умножения	Пример
Экса	Э	$10^{18}$	Эксаметр (Эм)
Пета	П	$10^{15}$	Петаметр (Пм)
Тера	Т	$10^{12}$	Тераджоуль (ТДж)
Гига	Г	$10^9$	Гигаом (ГОм)
Мега	М	$10^6$	Мегаом (МОм)
Кило	к	$10^3$	километр (км)
Гекто	г	$10^2$	гектоватт (гВт)
Дека	да	$10^1$	декалитр (дал)
Деци	д	$10^{-1}$	дециметр (дм)
Санتي	с	$10^{-2}$	сантиметр (см)
Милли	м	$10^{-3}$	миллиампер (мА)
Микро	мк, $\mu$ (греч. "мю")	$10^{-6}$	микровольт (мкВ, $\mu$ В)
Нано	н	$10^{-9}$	нанометр (нм)
Пико	п	$10^{-12}$	пикофарада (пФ)
Фемто	ф	$10^{-15}$	фемтометр (фм)
Атто	а	$10^{-18}$	аттокулон (аКл)

**Примечание:** при произношении ударение не должно приходиться на приставку.

### Приложение 2. Основные физические константы в СИ

Название	Символ	Значение
Гравитационная постоянная	$\gamma$	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Скорость света в вакууме	$c$	$2,99793 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Постоянная Авогадро	$N_A$	$6,022252 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	$R$	$8,31510 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k$	$1,38054 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Заряд электрона	$e$	$1,60021 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	$m_e$	$9,1091 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0$	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

**Приложение 3. Коэффициенты Стьюдента для доверительной вероятности  $P$  при различных количествах измерений**

№	$P$			
	0,5	0,9	<b>0,95</b>	0,99
2	1,60	6,31	12,7	63,7
3	0,82	2,92	4,30	9,92
4	0,77	2,35	3,16	5,94
<b>5</b>	0,74	2,13	<b>2,78</b>	4,60
6	0,73	2,02	2,67	4,03
7	0,72	1,94	2,45	3,71
8	0,71	1,89	2,36	3,50
9	0,71	1,86	2,31	3,36
10	0,70	1,83	2,26	3,25
15	0,69	1,76	2,14	2,98
20	0,69	1,73	2,09	2,86
$\infty$	0,68	1,65	1,96	2,59

Замечание: При  $n \rightarrow \infty$  приведены значения коэффициентов  $\lambda_p$ .

**Приложение 4. Пределы измерения и предельные погрешности измерительных приборов**

Приборы и пределы	Значение предела	Предельная погрешность
Линейки металлические	150, 300, 500 мм	0,1 мм
>> >>	1000 мм	0,2 мм
>> деревянные	200, 250, 300 мм	0,1 мм
>> >>	400, 500, 1000 мм	0,5 мм
>> пластмассовые	200, 250, 300 мм	1 мм
Гири для техн. анализа	10, 20, 50, 100 мг	1 мг
>>	200 мг	2 мг
>>	500 мг	4 мг
>>	1 г	6 мг
>>	2 г	8 мг
>>	5 г	12 мг
Мензурки 2-го класса	100, 200 см <sup>3</sup>	5 см <sup>3</sup>
Штангенциркули		
с ценой деления 0,1 мм	0-155 мм	0,1 мм
>> 0,05 мм	0-200; 0-250; 0-350 мм	0,05 мм
Микрометры 0,01 мм	0,25, 25-50 мм	4 мкм
Индикаторы 0,01 мм	0-2 мм	12 мкм
>>	0-5 мм	16 мкм
>>	0-10 мм	20 мкм
Весы лабораторные	5-100, 10-200 г	3 цены деления шкалы
Секундомеры технич.	30-60 мин	1,5 цены деления шкалы
>> электромеханич.	30 мин	0,5 цены деления шкалы
Термометры стекл.жидк	от -20° до 100°	1 цена деления шкалы

## Литература

1. Яковенко, В.А. Общая физика. Механика: учебное пособие / Яковенко В.А., Г.А. Заборовский, С.В. Яковенко В.А., под общ. ред. В.А.Яковенко.- Мн.: РИВШ, 2008.- 320 с.
2. Якавенка, У.А. Курс агульнай фізікі. Механіка / У.А.Якавенка, Г.А. Забароўскі, А.В. Раўкоў.- Мн.: Выш. шк.,1993.- 260 с.
3. Яковлев, В.Ф. Курс физики. Теплота и молекулярная физика / В.Ф. Яковлев.- М.: Просвещение, 1976.- 320 с.
4. Цэдрык, М.С. Курс агульнай фізікі. Цеплыня і малекулярная фізіка / М.С. Цэдрык.-Мн.: Выш. шк., 1994.- 232 с.
5. Мікуліч, А.С. Курс агульнай фізікі. Электрычнасць і магнетызм / А.С. Мікуліч.- Мн.:Выш. шк., 1995.- 285 с.
6. Калашников, С.Г. Электричество/С.Г. Калашников.- М.: Редакция ф.-м. лит-ры, 1985.- 530 с.
7. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм. Учебное пособие / И.И. Ташлыкова-Бушкевич – 2-е изд., испр.-Минск: АСАР, 2010.- 288 с.: ил.
8. Бондарь, В.А. Общая физика. Практикум: учебное пособие / В.А. Бондарь [и др.] - под общ. ред. В.А.Яковенко - Мн.:Выш. шк., 2008.-572 с.
9. Физический практикум: учебное пособие / А.М. Саржевский [и др.]; под ред. Г.С. Кембровского.- Мн.: изд-во «Университетское», 1986.- 352 с.

### *Дополнительная литература*

1. Савельев, И.В. Курс физики. т.1. Механика. Молекулярная физика/ И.В. Савельев –М. Наука, 1989.-515 с.
2. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. В 5 томах. Том I. Механика/ Д.В.Сивухин - 4-е изд., М. Наука, 2005.- 570 с.
3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. В 5 томах. Том II. Термодинамика и молекулярная физика /Д.В. Сивухин - 5-е изд., М., Наука, 2005.- 687 с.
4. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. В 5 томах. Том III. Электричество / Д.В. Сивухин - 4-е изд., М., Наука, 2004.-756с.

Учебное издание

**КАШЕВИЧ** Ирина Федоровна  
**ПЫШНЕНКО** Олег Викторович  
**КОРШИКОВ** Федор Павлович  
**ПАСТУШОНОК** София Николаевна

**МЕХАНИКА.  
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.  
ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

Рабочая тетрадь  
для выполнения лабораторных работ  
студентами математического факультета

*Печатается в авторской редакции*

Технический редактор *Г.В. Разбоева*  
Компьютерный дизайн *Е.В. Малнач*

Подписано в печать .2011. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 2,96. Уч.-изд. 2,87. Тираж 80 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение – учреждение образования  
«Витебский государственный университет им. П.М. Машерова».  
ЛИ № 02330 / 0494385 от 16.03.2009

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Витебский государственный университет им. П.М. Машерова».  
210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.