

**ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ
ПО ФИЗИКЕ
10 КЛАСС**

ЧАСТЬ II

**Москва
2012 г.**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ФИЗИКЕ
10 КЛАСС**

ЧАСТЬ II

МОСКВА
2012 г.

Пособие подготовили:

Воинкова И.В.

Зуковская Ю.Э.

Казанская А.Я.

Кузнецов К.И.

Лукашевский М.В.

Щеглов С.А.

Редактор Казанская А.Я.

Лабораторный практикум по физике для учащихся
10 классов лицея № 1502 при МЭИ. Часть II.

Лабораторный практикум является пособием для выполнения лабораторных работ по программе 10 класса ГБОУ «Лицей № 1502 при МЭИ». Содержит указания к выполнению лабораторных работ и краткие теоретические введения к ним.

Содержание

	стр.
Введение	5
Механические колебания. Общее теоретическое введение к лабораторным работам № 7 и № 8	8
Лабораторная работа № 7.	
Изучение колебаний пружинного маятника	9
Лабораторная работа № 8.	
Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника	18
Лабораторная работа № 9.	
Определение плотности и объема тела методом гидростатического взвешивания	25
Лабораторная работа № 10.	
Изучение явления поверхностного натяжения жидкости	33
Лабораторная работа № 11.	
Исследование изотермического процесса в идеальном газе	41
Лабораторная работа № 12.	
Исследование электростатических полей методом моделирования	51
Лабораторная работа № 13.	
Определение емкости конденсатора методом зарядки и разрядки	60

Введение

Настоящий сборник лабораторных работ по физике предназначен для учащихся 10 классов лицея № 1502.

Выполнение лабораторных работ составляет очень важную часть обучения физике. Как известно, физика – наука экспериментальная, математическая формулировка законов физики является следствием наблюдений, опытов. Экспериментом также проверяются новые теоретические идеи физиков. Выполняя лабораторные работы, Вы приобретаете навыки исследовательской деятельности, обучаетесь методам получения и обработки результатов.

Сборник составлен в соответствии с программой по физике для второго полугодия 10 класса и включает в себя описание 7 лабораторных работ.

Пункты разделов *Обработка результатов измерений*, отмеченные знаком *, выполняются по указанию преподавателя.

Порядок работы в лаборатории

Учащиеся допускаются к выполнению лабораторной работы, если

- освоили теоретический материал, относящийся к теме данной работы,
- знают порядок ее выполнения,
- подготовили форму отчета (протокол).

Содержание формы отчета (протокола)

(Разделы 1–8 должны быть подготовлены дома в рукописном виде в рабочей тетради)

1. Название и номер лабораторной работы.
2. Формулировка цели работы.
3. Краткое изложение теоретических основ работы.
4. Расчетные формулы.
5. Схема установки (в виде рисунка или электрической схемы). Все основные элементы схемы должны быть пронумерованы арабскими цифрами; расшифровка цифр должна быть дана в подписи под рисунком.
6. Таблица спецификации измерительных приборов.
7. Данные установки, табличные данные.

8. Таблицы результатов измерений.
9. Расчет искомых величин.
10. Графики изученных зависимостей.
11. Расчет погрешностей прямых измерений.
12. Запись результатов прямых измерений в виде доверительных интервалов.
13. Расчет погрешностей косвенных измерений.
14. Запись окончательного результата в виде доверительного интервала.
15. Выводы по результатам экспериментов.

Лабораторные работы выполняют бригады (коллективы в 2-3 человека) строго по графику – расписанию. В ходе работы удобно распределить роли: один выполняет эксперимент, другой записывает результаты в протокол; затем ролями меняются. Это позволяет с одной стороны, всем овладеть навыками работы с приборами, с другой стороны, исключить фактор персонального восприятия показаний прибора. Экспериментальные данные необходимо заносить в протокол *в тех единицах, в которых они измеряются.*

В конце занятия учащиеся (по бригадам) предоставляют преподавателю таблицу результатов измерений и результат расчета искомой физической величины. При этом протокол *визуруется преподавателем.* Расчет погрешностей полученных величин, оформление работы, выводы могут быть выполнены в ходе последующей домашней работы и в **обязательном порядке представлены на следующем занятии** на проверку преподавателю.

По завершении цикла, включающего 1, 2 или 3 работы, проводится *защита лабораторных работ.* Для успешной защиты необходимо

- представить полностью оформленные протоколы работ;
- изучить теоретический материал соответствующей темы по лекциям или по предлагаемой литературе;
- уметь отвечать на вопросы, приведённые в конце каждой работы;
- объяснять полученные в работе результаты.

График лабораторных работ должен быть выполнен полностью, работы, пропущенные по любой причине, выполняются в дополнительное время (по расписанию лаборатории).

Построение графиков

При изучении зависимости одной измеряемой величины от другой целесообразно представить результаты в форме графика. Главное достоинство графика – его наглядность. График позволяет получить общее качественное представление о характере зависимости, а также судить о соответствии экспериментальных данных той или иной теоретической зависимости. На графиках легко видеть “выпадение” точек, которые, как правило, соответствуют наблюдениям с грубыми погрешностями (промахами).

Графики следует строить на *листах миллиметровой бумаги*. Масштаб графика по обеим осям нужно выбирать так, чтобы предполагаемые зависимости обладали наибольшей наглядностью и заполняли большую часть графика. Поле графика заключают в прямоугольную рамку, согласуя ее с основными линиями сетки. Стрелки на концах экспериментальных графиков не ставят (стрелки принято ставить лишь на иллюстрационных графиках качественного характера, построенных в произвольном масштабе). На концах осей (если на оси используется лишь интервал, то и в начале оси) нужно указать обозначение соответствующих физических величин и единицы измерений этих величин.

Учитывая, что миллиметровая бумага имеет очень мелкую сетку, оцифровывать нужно лишь деления крупной сетки. Допустимые значения, определяющие масштабы, следующие: 0,1,2,3,...; 0,2,4,6,...; 0,5,10,... Эти значения могут быть умножены на $10^{\pm n}$. *Не следует наносить на оси числовые значения величин, полученных в ходе опыта!*

Размеры экспериментальных точек должны быть соотнесены с погрешностями измерения соответствующих величин. Линия графика

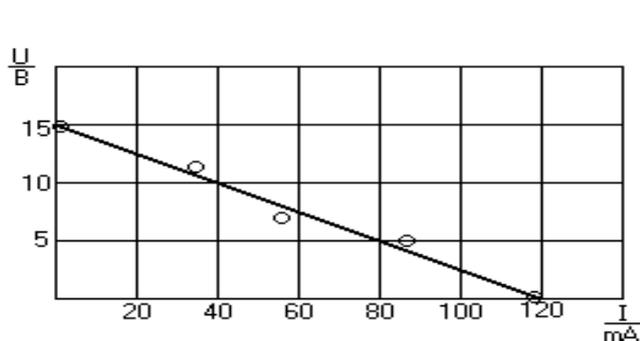
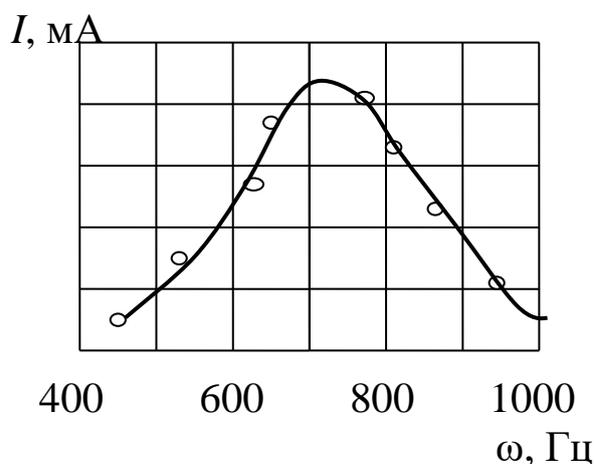


График зависимости напряжения от силы тока на участке цепи



Резонансная кривая колебательного контура

рис. 1

должна быть гладкой, она проводится так, чтобы по обе стороны от нее располагалось примерно одинаковое число “выпадающих” точек.

Под графиком должно быть подписано пояснение или название. Возможные варианты графического представления результатов показаны на рис. 1.

Механические колебания.

Общее теоретическое введение

к лабораторным работам № 7 и № 8

Литература

1. Физика: Учеб. для 10 кл. с углубленным изучением физики, Под ред. А.А. Пинского, О.Ф. Кабардина. – 8-е изд. – М.: Просвещение, 2005. – 332 с., § 11

Колебания – это движения, которые повторяются (точно или приблизительно) через определенный интервал времени.

Периодом колебаний T называется наименьший промежуток времени, по истечении которого повторяются значения величин, характеризующих колебательное движение. Для механических колебаний такими величинами являются, в частности, x – смещение тела от положения равновесия, v_x и a_x – проекции скорости и ускорения на направление оси x .

Колебания называются **гармоническими**, если $x(t)$ описывается соотношением

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0) \quad \text{или} \quad x = x_m \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (\text{в.1})$$

где x_m – наибольшее значение отклонения от положения равновесия – **амплитуда колебаний**, ω – **циклическая частота**, связанная с периодом T соотношением

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad (\text{в.2})$$

$\omega t + \varphi_0$ – **фаза колебания**, определяющая значение x в момент t ;

φ_0 – начальная фаза, определяющая значение x при $t = 0$.

Частотой колебаний ν называется число полных колебаний, совершаемых за единицу времени: $\nu = \frac{1}{T} \left(\frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1} = \text{Герц} \right)$. (в.3)

Циклическая частота ω – число колебаний, совершаемых за время 2π (секунд) $\omega = 2\pi\nu$. (в.4)

Твердое тело или совокупность нескольких твердых тел, участвующих в колебаниях, называется **механической колебательной системой**.

Колебания, возбуждаемые под действием сил, возникающих в самой системе при выводе ее из положения равновесия, называются **свободными**. Период свободных колебаний T определяется свойствами и характеристиками самой колебательной системы.

Чтобы в системе возникли гармонические колебания, при смещении тела от положения равновесия на величину x должна возникнуть сила, направленная к положению равновесия и пропорциональная смещению:

$F_x = -kx$ – упругая или квазиупругая сила.

Тогда, применив II закон Ньютона к колеблющемуся телу в проекции на ось x , можно получить соотношение, связывающее величину x с проекцией ускорения на направление оси X

$$a_x + \omega^2 x = 0, \quad (\text{в.5})$$

здесь ω^2 – положительный коэффициент, определяющий циклическую частоту гармонических колебаний.

Примером колебательных систем, совершающих гармонические колебания, могут служить математический и пружинный маятники (лабораторные работы № 7 и № 8).

Лабораторная работа № 7

Изучение колебаний пружинного маятника

Цели работы

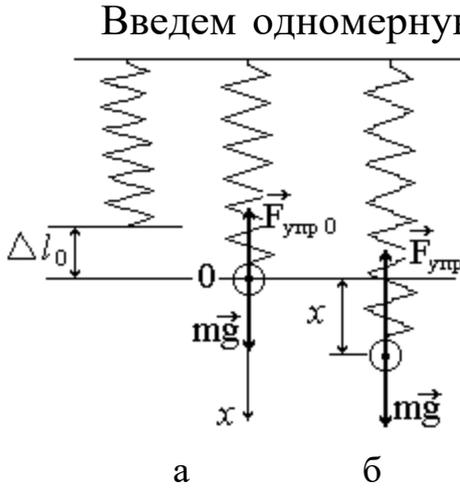
1. Убедиться в гармоническом характере колебаний пружинного маятника.
2. Исследовать зависимость периода колебаний от массы груза колебательной системы.
3. Исследовать зависимость периода колебаний от амплитуды колебаний.

Теоретическое введение

Основные понятия и определения теории колебаний рассмотрены в общем введении к лабораторным работам № 7 и № 8.

Идеальный пружинный маятник – колебательная система, состоящая из невесомой упругой винтовой пружины жесткостью k , скрепленной с грузом массой m . Если пружина расположена вертикально, а груз подвешен к ней, возникает начальная деформация пружины Δl_0 (рис. 7.1). Из условия равновесия груза и закона Гука следует

$$mg = k\Delta l_0 \quad (7.1).$$



а
б
рис. 7.1

Введем одномерную систему координат Ox : начало отсчета координаты x в точке равновесия груза, ось направлена вниз. Если отклонить груз от положения равновесия, возникнут колебания, при которых координата x зависит от времени t . Применим II закон Ньютона к системе в некоторый момент t (рис. 7.1 б).

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр}}$$

или в проекции на ось Ox :

$$ma_x = mg - F_{\text{упр}}, \text{ где } F_{\text{упр}} = k(\Delta l_0 + x).$$

$$\text{Тогда } ma_x = mg - k\Delta l_0 - kx,$$

что с учетом соотношения (7.1) дает $ma_x = -kx$ или

$$a_x + \frac{k}{m}x = 0. \quad (7.2).$$

Уравнение вида (7.2) означает, что величина $x(t)$ меняется по гармоническому закону

$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (7.3)$$

где $x_m = A$ – амплитуда колебаний; циклическая частота ω определяется коэффициентом при x в уравнении (7.2):

$$\omega^2 = \frac{k}{m}; \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (7.4)$$

Тогда период колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (7.5)$$

В соответствии с законом Гука $F_x = -kx$ и, следовательно, значение силы упругости пружины будет меняться по закону:

$$F_x(t) = -kx_m \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (7.6)$$

Изменяя массу груза, можно экспериментально проверить формулу (7.5). Возведем в квадрат левую и правую части формулы (7.5). Тогда для пар экспериментов, в которых отличаются массы грузов получим:

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}, \text{ при } k = \text{const.} \quad (7.7)$$

Так как в соотношении (7.5), определяющем период колебаний, фигурируют только масса груза и жесткость пружины и отсутствует амплитуда колебаний, то период колебаний не зависит от амплитуды, т.е.

$$T_1 = T_2, \text{ если } m_1 = m_2 \text{ и } k_1 = k_2. \quad (7.8)$$

В ходе лабораторной работы необходимо убедиться в справедливости соотношений (7.3), (7.6), (7.7) и (7.8).

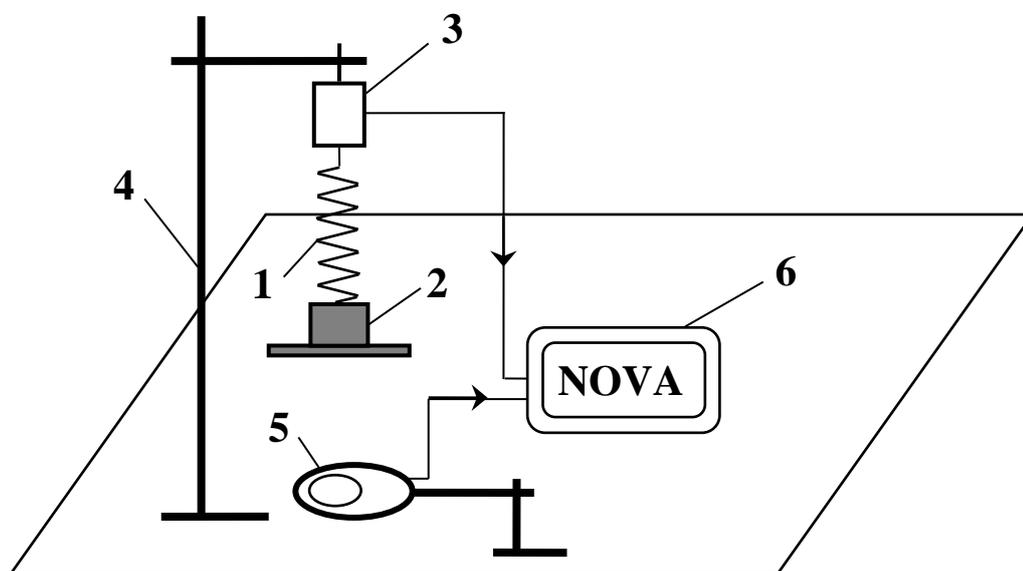


рис. 7.2

Описание установки

Основным элементом установки (рис. 7.2) является пружина (1) с подвешенным к нижнему концу грузом (2). Верхний конец пружины подвешен к чувствительному элементу электронного датчика силы (3), закрепленного на штативе (4). Показания датчика силы соответствуют значениям силы упругости, которые изменяются в процессе колебаний. Изменения положения груза по вертикали фиксируются электронным датчиком расстояния (5). Для обеспечения работы датчика расстояния нижняя поверхность груза снабжена отражателем. Показания датчиков силы и расстояния поступают в лабораторный компьютер Nova (6).

Принцип действия используемых электронных датчиков

- Датчик силы. На активном элементе датчика при его растяжении или сжатии возникает электрическое напряжение, значение которого зависит от приложенной силы.
- Датчик расстояния работает по принципу эхо-локатора. Прибор излучает короткие звуковые импульсы, которые могут быть им зарегистрированы после отражения от предмета. Скорость распространения импульсов известна. Измеряя время, прошедшее между моментами генерации излучения и регистрации прихода отраженного импульса, датчик вычисляет расстояние до предмета.

Порядок выполнения работы

1. Визуально ознакомьтесь с установкой и измерительными приборами. Заполните таблицу № 1.

Таблица № 1. Спецификация измерительных приборов.

№ п.п.	Наименование прибора	Пределы измерения	Приборная погрешность
1	датчик расстояния		5 %
2	датчик силы		5 %

Внимание!

Замену или переключение датчиков выполняет преподаватель или лаборант!

2. Запишите данные установки:

$$\text{масса одного груза } m_0 = 102 \text{ г.}$$

3. Повесьте пружину на крючок датчика силы.

4. Подвесьте грузы массой m_0 на нижний конец пружины.

Внимание! Будьте осторожны, падение предметов на датчик расстояния недопустимо!

5. Расположите датчик расстояния под пружинным маятником.

6. Включите Портативный компьютер Nova нажатием кнопки на его передней панели.

7. Запустите программу MultiLab, выбрав стилусом меню **Пуск → Программы → Наука → MultiLab.**

8. Выберите стилусом пункт меню **Файл** → **Открыть**, откройте файл **LabRab7.mlp**.

(Инструкцию по созданию файла **LabRab7.mlp** смотрите в Приложении.)

Опыт 1

9. Выведите маятник из положения равновесия с амплитудой координаты $\sim 3 \div 5$ см, наблюдайте колебания.

10. После того, как маятник совершит 2 – 3 колебания, нажмите кнопку  на панели инструментов Nova для начала регистрации данных.

11. После окончания регистрации данных убедитесь в том, что построенные зависимости имеют вид плавных кривых, что свидетельствует о правильной установке датчиков.

12. Качественно (приблизительно) убедитесь, что наблюдаемая зависимость координаты тела от времени может быть описана уравнением (7.3), а зависимость силы упругости пружины от времени может быть описана уравнением (7.6), то есть в том, что колебания носят гармонический характер.

13. По графикам определите значения периодов изменения сил упругости пружины и координаты x , запишите в таблицу № 2, для этого:

- а) нажмите на соответствующий график или на кнопку **1-ая метка**  на панели инструментов графика (метку можно "перетаскивать" стилусом в любую другую точку графика или на другой график);
- б) для вызова второй метки нажмите кнопку **2-ая метка**  на панели инструментов графика;
- в) разместите две метки в точках, разделенных одним периодом колебаний;
- г) на информационной панели под графиком отобразится разность значений по оси времени, соответствующая длительности периода.

Таблица № 2. Значения периодов и амплитуд колебаний силы упругости пружины и координаты груза в различных опытах.

№ опыта	Масса груза	Период колебаний силы, T_F , сек	Период колебаний координаты груза, T_x , сек	Амплитуда колебаний координаты груза, x_m , м
1.	$m_1 = m_0$			—————
2.	$m_2 = 2m_0$ большая амплитуда колебаний			
3.	$m_2 = 2m_0$ меньшая амплитуда колебаний			

14. Для последующего воспроизведения на миллиметровой бумаге графиков зависимостей координаты тела и силы упругости от времени запишите результаты опыта в лабораторную тетрадь в виде таблицы, для этого

- нажмите на кнопку  для перехода в режим представления данных в табличном виде;
- запишите значения экспериментальных данных в соответствующие графы таблицы № 3. Выберите данные **каждого 2-ого** замера, выполненного Nova;
- для возврата в режим отображения графика на дисплее нажмите кнопку .

Таблица № 3. Результаты измерений зависимости от времени силы упругости пружины и координаты груза при массе m_0 .

№	Время t , с	Сила F , Н	Координата x , м
1			
2			
...			
20			

Опыт 2

15. Подвесьте грузы массой $2m_0$ на нижний конец пружины.

16. Повторите пп. 9, 10, 11 для регистрации второго набора данных; (для переключения отображаемого эксперимента используйте кнопки **Показать/Спрятать** карты данных).

17. Повторив п. 14, занесите результаты измерений в таблицу № 4.

Таблица № 4. Результаты измерений зависимости от времени силы упругости пружины и координаты груза при массе $2m_0$.

№	Время t , с	Сила F , Н	Координата x , м
1			
2			
...			
20			

Опыт 3

18. Подвесьте грузы массой $2m_0$ на нижний конец пружины.

19. Повторите пп. 9, 10, 11, задав **меньшее** значения амплитуды колебаний чем в опыте 2.

20. Повторив п. 14, занесите результаты измерений в **таблицу № 5**.

Таблица № 5. Результаты измерений зависимости от времени силы упругости пружины и координаты груза при массе $2m_0$ при измененной амплитуде колебаний.

№	Время t , с	Сила F , Н	Координата x , м
1			
2			
...			
20			

21. Покажите результаты преподавателю.

***Дополнительное задание 1.** Определение коэффициента упругости пружины

1. Нажмите кнопку **Свойства графика**  на панели инструментов графика в нижней части экрана.

2. Задайте значение параметра **Ось X: Эксп.1-Расстояние (Удаление)**.

3. На закладке **Линии** задайте значение параметра

График: Эксп.1-Сила, Растяжение.

4. Примените установленные параметры. Программа построит график зависимости силы упругости пружины от координаты тела $F(x)$ в процессе колебаний.

5. Обратите внимание на линейный характер зависимости.

6. Выберите пункт меню **Инструменты → Анализ → Линейное приближение.**

7. Запишите вычисленное программой уравнение прямой.

8. В соответствии с законом Гука коэффициент при x будет соответствовать коэффициенту упругости пружины. Запишите полученное значение.

$$k = \dots\dots \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

*Дополнительное задание 2. Изучение скорости движения тела

1. Выберите один из зарегистрированных наборов данных по указанию преподавателя.

2. Разместите два курсора на графике координаты тела, захватив несколько периодов колебаний (см. п. 13).

3. Выберите пункт меню **Инструменты → Анализ → Производная** – таким образом будет получена зависимость скорости тела от времени.

4. Запишите зависимость скорости тела от времени в таблицу № 6 (см. п. 14).

Таблица № 6. Результаты измерений координаты тела и скорости движения груза.

№	Время t , с	Координата x , м	Скорость v , м/с
1			
2			
...			
20			

По окончании работы выберите пункт меню **Файл → Очистить все.**

Обработка результатов измерений

1. По данным таблиц № 3, 4, 5 постройте графики зависимостей $x(t)$ на **миллиметровой** бумаге в **одном масштабе времени**, вклейте графики в лабораторную тетрадь.

2. По данным таблицы № 3 постройте график зависимости $F(t)$ на **миллиметровой** бумаге в **том же масштабе времени**, вклейте график в лабораторную тетрадь.

3. По данным таблицы №2 сравните значения периодов колебаний силы упругости пружины T_F и координаты груза T_x для каждого опыта в отдельности. Убедитесь в совпадении периодов колебаний различных величин.

4. Рассчитайте отношение полученных значений периодов колебаний в опытах 1 и 2.

Измеренное отношение периодов колебаний силы упругости

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)_F^{\text{измер}} =$$

Измеренное отношение периодов колебаний координаты груза

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)_x^{\text{измер}} =$$

5. Вычислите отношение периодов колебаний грузов массами m_1 и m_2 согласно формуле (7.7), полученной из формулы (7.5)

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\text{теор}} =$$

6. По графикам, построенным в п. 1, определите значение амплитуд колебаний координаты груза в опытах 2 и 3.

7. Сделайте выводы о

- совпадении периодов колебаний силы упругости пружины и координаты груза в процессе колебаний;
- зависимости периода колебаний от массы груза;
- зависимости периода колебаний от амплитуды колебаний.

*Дополнительное задание 2. Изучение скорости движения тела

1. Постройте графики зависимостей $x(t)$ и $v(t)$ по данным таблицы № 6 на **миллиметровой** бумаге в **одном масштабе времени**.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое идеальный пружинный маятник?
2. Что такое период колебаний?
3. От чего зависит период колебаний пружинного маятника?
4. Что такое амплитуда колебаний?
5. Что такое гармонические колебания?
6. Что непосредственно измеряется в ходе работы?
7. Постройте (качественно) графики зависимости $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$.
8. Какими видами энергии обладает пружинный маятник? От чего они зависят?
9. Докажите, что пружинный маятник совершает гармонические колебания.
10. Постройте график зависимости кинетической энергии маятника от времени.
11. Постройте график зависимости потенциальной энергии маятника от времени.

Лабораторная работа № 8

Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника

Цели работы

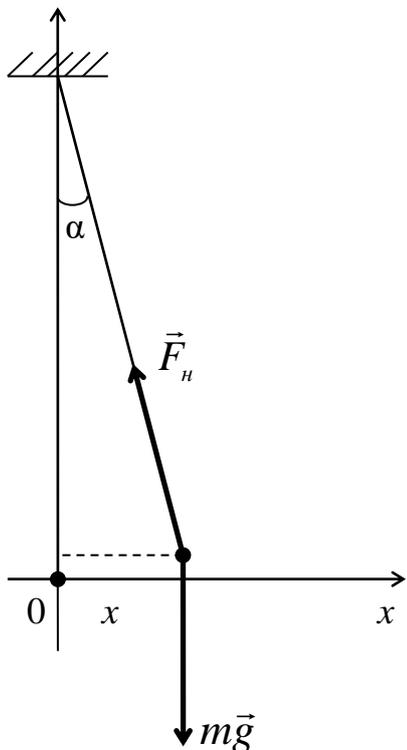
1. Изучение колебательного движения модели математического маятника.
2. Экспериментальное определение периода колебаний.
3. Определение ускорения свободного падения.

Теоретическое введение

Понятия и определения величин, характеризующих колебательное движение, изложены в общем теоретическом введении к работам № 7 и № 8, с ними необходимо предварительно ознакомиться.

Математический маятник – колебательная система, состоящая из невесомой нерастяжимой нити, на которой подвешено тело, массу которого можно считать сосредоточенной в одной точке. При выведении системы из положения равновесия возникают силы, под действием которых маятник совершает свободные колебания.

На рис. 8.1 показано положение маятника в некоторый момент, когда нить длиной l составляет с вертикалью малый угол α , а смещение от положения равновесия x . Применим II закон Ньютона к телу массой m . На него действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити \vec{F}_H , поэтому



$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_H. \quad (8.1)$$

В проекциях на оси

$$\left. \begin{aligned} ox: ma_x &= -F_H \sin \alpha, \\ oy: 0 &= F_H \cos \alpha - mg. \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

При малых углах α проекция ускорения $a_y = 0$. Совместное решение уравнений (8.2) дает $\frac{a_x}{g} = -\text{tg}\alpha$; где $\text{tg}\alpha \approx \frac{x}{l}$ (с учетом того, что угол α мал).

рис. 8.1

После преобразования, получаем

$$a_x + \frac{g}{l}x = 0. \quad (8.3)$$

Сопоставив полученное уравнение с выражением (в.5) общего теоретического введения, можем сделать два вывода:

1) тело совершает гармонические колебания, т.е.
 $x(t) = x_m \cos(\omega t + \varphi_0)$;

2) циклическая частота колебаний $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$. (8.4)

Следовательно, период колебаний математического маятника при малых углах отклонения в поле тяготения определяется формулой

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (8.5)$$

Период колебаний не зависит ни от начального угла отклонения, ни от массы груза, а определяется только длиной нити.

Замечание: углы можно считать малыми, если $\sin \alpha \approx \text{tg}\alpha$, а $\cos \alpha$ мало отличается от единицы.

Описание установки

Моделью математического маятника является тяжелое тело, подвешенное на нити, длина которой много больше линейных размеров тела. В этом случае длина l – расстояние от точки подвеса до центра масс тела. Это величина указана на установке.

Схема установки представлена на рис. 8.2. На вертикальной стойке (1) закреплен кронштейн (2). На кронштейне подвешен математический маятник, представляющий собой маленький шарик (3) (или цилиндр) с нитью (4) длиной l_0 . Длину подвеса можно в небольших пределах регулировать с помощью винта (5). На нижнем кронштейне (6) смонтирован фотоэлектрический датчик (7), подающий на цифровой миллисекундомер (8) сигнал для начала и окончания счета времени, а также числа произошедших колебаний.

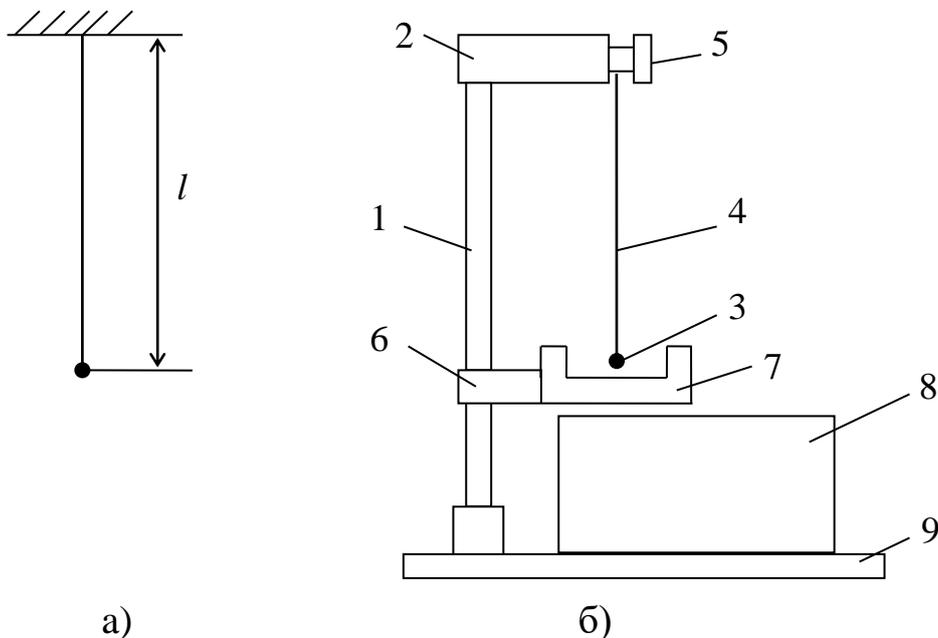


рис. 8.2

Здесь же закреплена шкала отсчета угла отклонения маятника от положения равновесия. Миллисекундомер и вертикальная стойка крепятся на массивной опоре (9).

Возможен вариант установки для выполнения лабораторной работы, в которой для измерения времени используется отдельный миллисекундомер с ручным управлением.

На этой установке можно измерить период колебаний маятника а) при различных амплитудах колебаний; б) при различных массах груза. Необходимо убедиться, что период колебаний во всех случаях остается одинаковым (в пределах погрешности).

Из формулы (8.5) находим выражение для определения ускорения свободного падения

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}. \quad (8.6)$$

Порядок выполнения работы

1. Визуально ознакомьтесь с установкой и измерительными приборами. Заполните таблицу № 1.

Таблица № 1. Спецификация измерительных приборов.

№ п.п.	Наименование прибора	Предел измерения	Цена деления	Приборная погрешность
1	Миллисекундомер			
2	Измеритель углов			

2. Запишите данные установки с погрешностями.

Длина маятника: $l_0 = \dots \pm \dots$ (см)

относительная погрешность длины маятника $\delta l_0 = \frac{\Delta l_0}{l_0} =$

массы тел на нити $m_1 = 31,60$ г; $m_2 = 10,20$ г

$\pi =$

Вариант установки I. Для измерения времени применяется *встроенный миллисекундомер с автоматическим управлением.*

3. Включите установку, нажав клавишу «сеть» на лицевой панели миллисекундомера. При этом должны загореться лампочка фотодатчика и цифровая индикация миллисекундомера.

4. Выведите маятник из положения равновесия, отклонив на угол α_1 . Удерживая маятник в этом положении, нажмите клавишу «сброс» миллисекундомера. На панели цифровой индикации должны установиться нули.

Важное замечание!

Колебания маятника должны происходить строго в одной вертикальной плоскости. Выводя его из положения равновесия, следите, чтобы не создать поперечного смещения перпендикулярного этой плоскости!

5. Отпустите маятник. При первом прохождении положения равновесия начинается отсчет времени колебаний и числа полных колебаний.

6. Для прекращения счета нажмите клавишу «стоп» – в тот момент, когда счетчик числа колебаний покажет $N - 1 = 9$. В этом случае счет времени прекратится после $N = 10$ полных колебаний. Запишите результат в таблицу №2.

Таблица № 2. Результаты измерения времени $N = 10$ колебаний маятника массами m_1 и m_2 при углах отклонения α_1 и α_2 .

№ п/п	$m_1, \alpha_1 = 5^\circ$		$m_1, \alpha_2 = 10^\circ$		$m_2, \alpha_1 = 5^\circ$	
	$\tau_{1i}, \text{мс}$	$ \tau_{1\text{ср}} - \tau_{1i} , \text{мс}$	$\tau_{2i}, \text{мс}$	$ \tau_{2\text{ср}} - \tau_{2i} , \text{мс}$	$\tau_{3i}, \text{мс}$	$ \tau_{3\text{ср}} - \tau_{3i} , \text{мс}$
1						
2						
3						
4						
5						
средн.						

7. Повторите пункты 4-6 при угле отклонения $\alpha_2 = 10^\circ$. Результаты запишите в таблицу 2.

8. Смените тело массой m_1 на тело массой m_2 . Повторите пункты 4-6 при одном угле $\alpha_1 = 5^\circ$, записывая данные τ_3 в таблицу 2.

Вариант установки II. Для измерения времени применяется отдельный миллисекундомер с ручным управлением.

3. Нажмите клавишу "УСТ. 0" миллисекундомера.

4. Выведите маятник из положения равновесия, отклонив на угол α_1 .

Важное замечание! Колебания маятника должны происходить строго в одной вертикальной плоскости. Выводя его из положения равновесия, следите, чтобы не создать поперечного смещения перпендикулярного этой плоскости!

5. Отпустите маятник, одновременно нажав клавишу «пуск» миллисекундомера, удерживайте клавишу «пуск» нажатой.

6. Следите за колебаниями, проводите счет количества выполненных полных колебаний. В момент завершения полного 10-го колебания маятника отпустите клавишу «пуск».

7. Запишите показания миллисекундомера в таблицу № 2.

8. Повторите пункты 3-7 при угле отклонения $\alpha_2 = 10^\circ$. Результаты запишите в таблицу 2.

9. Смените тело массой m_1 на тело массой m_2 . Повторите пункты 3-7 при одном угле $\alpha_1 = 5^\circ$, записывая данные τ_3 в таблицу 2.

Обработка результатов измерений

1. Для каждого из трех экспериментов рассчитайте средние арифметические значения $\tau_{\text{ср}}$ времени N колебаний, запишите полученные значения в соответствующие ячейки таблицы № 2.

2. Для каждого из трех экспериментов рассчитайте период колебаний T_1, T_2, T_3 по формуле $T = \frac{\tau_{\text{ср}}}{N}$.

3. Для каждого из трех экспериментов рассчитайте значение ускорения свободного падения g по формуле (8.6).

4. Из трех полученных значений ускорения свободного падения выберите наиболее близкое к значению, взятому из справочных данных. Результаты покажите преподавателю.

5. Вычислите *случайные* погрешности прямых измерений для величин τ_1, τ_2 и τ_3 , записывая их в соответствующие ячейки последней строки таблицы № 2.

6. Вычислите *полные* погрешности прямых измерений для величин τ_1, τ_2 и τ_3 , по формуле $\Delta\tau = \Delta\tau_{\text{пр}} + \Delta\tau_{\text{сл}}$, используя соответствующее значения приборной погрешности из таблицы № 1.

7. Вычислите погрешности измерения периодов колебаний T_1, T_2 и T_3 по формуле $\Delta T = \frac{\Delta\tau}{N}$.

8. Округлите значения абсолютных погрешностей и результатов измерений для величин T_1, T_2 и T_3 согласно правилам округления результатов измерений.

9. Запишите результаты измерений величин T_1, T_2 и T_3 , в виде доверительного интервала.

$$T = (T_{\text{ср}} \pm \Delta T) \quad (\text{единицы измерения})$$

10. Изобразите на числовой оси в выбранном масштабе значения периодов колебаний T_1, T_2 и T_3 с доверительными интервалами.

11. Сделайте вывод о наличии или отсутствии зависимости периода колебания математического маятника от амплитуды колебания и массы груза.

12. Для выбранного в п. 4 опыта рассчитайте относительную погрешность периода колебаний δT .

13. Вычислите относительную и абсолютную погрешности ускорения свободного падения для значения, выбранного в п. 4, по формулам:

$$\delta g = \delta T + \delta l_0; \quad \Delta g = g \cdot \delta g.$$

14. Округлите значение абсолютной погрешности и результата косвенного измерения ускорения свободного падения согласно правилам округления результатов измерений.

15. Запишите результат измерения ускорения свободного падения в виде доверительного интервала.

$$g = (g \pm \Delta g) \text{ (единицы измерения)}$$

16. Изобразите на числовой оси в выбранном масштабе полученное значение ускорения свободного падения с доверительным интервалом. Отложите на этой же числовой оси значение ускорения свободного падения, взятое из справочных данных.

17. Сравните полученное значение со справочными данными. Сделайте вывод о корректности проведения экспериментов.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое математический маятник?
2. Что служит моделью математического маятника в данной работе?
3. Что такое период колебаний?
4. От чего зависит период колебаний?
5. Какие величины измеряются непосредственно в ходе работы? Какими приборами?
6. Какие колебания называются гармоническими?
7. Что такое амплитуда, частота, фаза колебаний?
8. Нарисуйте графики $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$ для гармонического колебания тела.
9. Какими видами энергии обладает математический маятник?
10. По данным лабораторной работы вычислите амплитуду, циклическую частоту и начальную фазу колебаний для опыта, указанного преподавателем. Используя полученные величины, запишите уравнение $x(t)$.
11. Постройте графики колебаний для опытов с α_1 и α_2 .
12. От чего зависит начальная фаза колебаний? Как осуществить эксперимент, чтобы начальная фаза стала другой?
13. По данным лабораторной работы вычислите силу натяжения нити при прохождении маятником положения равновесия.
14. По данным лабораторной работы найдите нормальное, тангенциальное и полное ускорения в крайней точке и при прохождении маятником положения равновесия.

Определение объема и плотности тела методом гидростатического взвешивания

Литература

Грачев А.В. Физика: 10 класс: базовый уровень; профильный уровень: учебник для учащихся общеобразовательных учреждений М.: Вентана-Граф, 2011. § 37

Цели работы

1. Изучение приемов взвешивания на рычажных весах.
2. Определение объема и плотности тел методом взвешивания с использованием закона Архимеда.

Теоретическое введение

Исследуемое тело представляет собой цилиндр с отверстием (рис. 9.1). Его объем определяется формулой

$$V = V_{\text{внеш}} - V_{\text{внутр}},$$
$$V_{\text{геом}} = \frac{\pi h}{4}(d^2 - d_0^2). \quad (9.1)$$

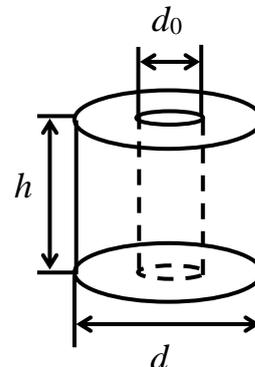


рис. 9.1

Для экспериментального определения объема и плотности тела его взвешивают вначале в воздухе, а затем в воде (рис. 9.2). Согласно третьему закону Ньютона, вес тела равен силе натяжения нити. Сила натяжения нити в момент равновесия весов равна силе тяжести разновесов, действующей на правое плечо коромысла равноплечих весов. По результатам взвешиваний рассчитывают объем и плотность тела.

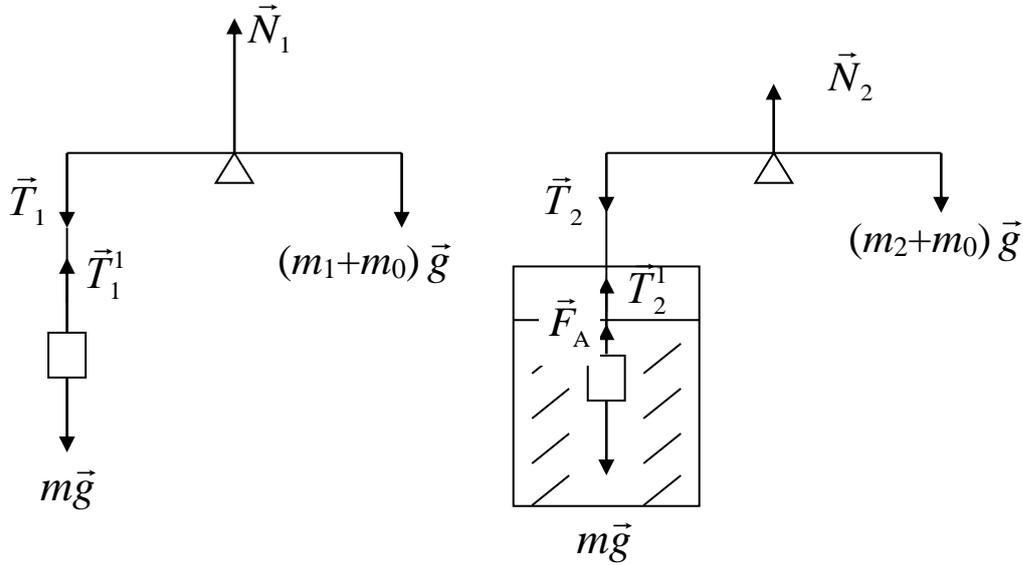


рис. 9.2

Из условий равновесия тела в воздухе и в воде имеем систему уравнений

$$\begin{cases} mg = T_1, \\ mg = T_2 + F_A, \end{cases} \quad (9.2)$$

откуда

$$T_1 = T_2 + F_A. \quad (9.3)$$

По закону Архимеда $F_A = \rho_B V g$, где ρ_B – плотность воды, V – объем вытесненной телом воды, равный объему тела. Тогда получаем

$$V = \frac{(T_1 - T_2)}{\rho_B g}. \quad (9.4)$$

Учитывая, что $T_1 = (m_1 + m_0)g$ и $T_2 = (m_2 + m_0)g$,

где m_1 и m_2 – массы гирь при взвешивании тела в воздухе и воде соответственно, m_0 – масса чашки весов, получаем

$$V_{\text{гидр}} = \frac{(m_1 - m_2)}{\rho_B}. \quad (9.6)$$

Из первого уравнения системы (9.2) с учетом (9.4) получим выражение для плотности тела

$$\rho_T = \frac{m_1}{V} = \frac{T_1 \rho_B g}{g(T_1 - T_2)}.$$

Учитывая (9.5), окончательно получаем

$$\rho_T = \rho_B \frac{(m_1 + m_0)}{(m_1 - m_2)}. \quad (9.7)$$

Описание установки

Устройство аналитических весов.

Точное взвешивание производится на аналитических весах (рис. 9.3). Высокая точность взвешивания достигается за счет конструк-

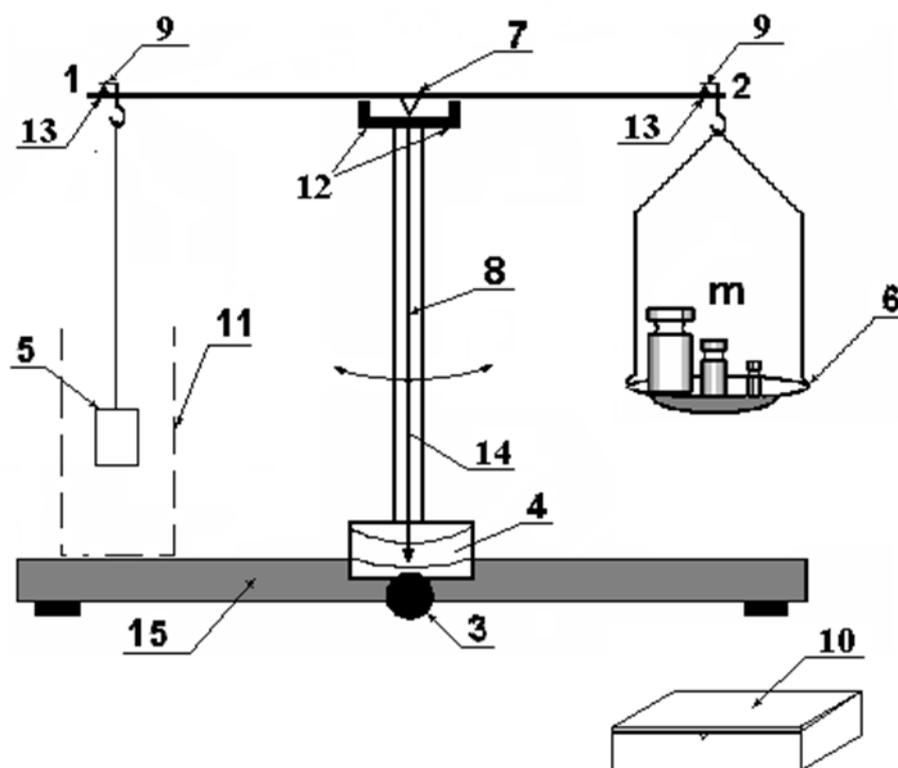


рис. 9.3

ции весов и применения определенных правил и приемов взвешивания.

Наиболее ответственной частью весов является подвижная часть, состоящая из коромысла (1-2), связанной с ним стрелки (8) и чашки (6). Подвижная часть не скреплена жестко с опорной колонкой; в рабочем положении она опирается на острое ребро опорной призмы (7). Опорные призмы коромысла (1-2) и чашечных подвесок (13) изготавливаются из закаленной стали или твердого минерала агата. При использовании таких твердых материалов уменьшается трение и достигается большая чувствительность весов. Стрелка (8) жестко связана с коромыслом и направлена вертикально вниз. Нижний конец стрелки движется перед небольшой шкалой (4) с делениями. Опорная колонка (14), находящаяся на основании (15), несет внутри механизм, называемый арретиром. Арретир управляется ручкой арретира (3). Если ручка арретира находится в крайнем левом положении, то коромысло весов лежит на упорах (12) в нерабочем положении. Весы в таком положении называются *арретированными*. При повороте ручки арретира (3) вправо до упора коромысло поднимается на призму (7) и может совершать колебания.

Все манипуляции на чашках производятся только с арретированными весами.

При взвешивании пользуются набором разновесок. Разновески находятся в футляре (10). При использовании разновесок, масса которых менее 2 г, их надо брать пинцетом. Разновески должны находиться на чашке весов или в своем гнезде в футляре. Нельзя класть разновески на стол или держать в руках, это может привести к загрязнению, порче их и искажению указанного на них веса.

Порядок выполнения работы

1. Визуально ознакомьтесь с установкой и измерительными приборами. Заполните таблицу № 1.

Таблица № 1. Спецификация измерительных приборов.

№ п.п.	Наименование прибора	Предел измерения	Цена деления	Приборная погрешность
1.	Аналитические весы			
2.	Штангенциркуль с числом делений нониуса _____			

2. Запишите данные установки:

масса чашки рычажных весов $m_0 = \dots$ г

диаметр отверстия в цилиндрическом теле $d_0 = \dots$ мм

плотность воды при $t = 20^\circ\text{C}$, $\rho_{\text{в}} = (1,00 \pm 0,01) \cdot 10^3$ кг/м³

$\pi =$

Определите и запишите погрешности данных установки

$\Delta m_0 = \dots$ г; $\delta m_0 = \dots$

$\Delta d_0 = \dots$ мм; $\delta d_0 = \dots$

3. С помощью штангенциркуля измерьте диаметр тела d_{T} и высоту тела h_{T} . Запишите результаты в таблицу 2. Измерения d_{T} и h_{T} произведите по 5 раз.

Таблица № 2. Результаты измерения диаметра и высоты тела.

№п/п	$d_{Ti}, \text{мм}$	$ d_{T \text{ ср}} - d_{Ti} , \text{мм}$	$h_{Ti}, \text{мм}$	$ h_{T \text{ ср}} - h_{Ti} , \text{мм}$
1				
2				
3				
4				
5				
средн.				

Внимание: Уравновешивание пустых весов и другие наладочные работы выполняет лаборант!

4. В нерабочем положении коромысло 1 весов лежит на упорах 12.

5. Плавно повернув ручку арретира 3 вправо до упора, убедитесь, что ненагруженные весы находятся в равновесии. Равновесие считается достигнутым, если стрелка 8 весов отклоняется одинаково вправо и влево от положения «0» на шкале 4.

6. Приведите весы в арретированное состояние. Закрепите тело 5, объем которого необходимо измерить, на подвеске 9 левого плеча 1 весов, а чашку весов 6 на подвеске 9 правого плеча 2 весов.

7. Откройте футляр с разновесами. Установите крупный разновес на чашку весов 6, после чего поверните ручку арретира 3 вправо для выведения коромысла в рабочее положение, при котором коромысло балансирует на призме 7. В таком положении весы находятся короткое время, в течение которого определяют, возможно ли достижение равновесия с данным набором разновесов. При возникновении необходимости добавить на чашку (или убрать, заменить) разновесы, коромысло необходимо вывести из рабочего положения в первоначальное (арретированное).

8. После изменения массы разновесов на чашке весов вновь проверьте достижение равновесия как в п. 7, затем вновь переведите коромысло в нерабочее положение с помощью ручки арретира 3.

9. Когда равновесие наконец достигнуто, переведите весы в нерабочее положение. Определите массу разновесов на чашке весов. Полученное значение массы m_1 запишите в таблицу 3.

10. Снимите с чашки разновесы, поместите в футляр. Повторное взвешивание произведите четыре раза. Результаты занесите в таблицу 3.

Таблица № 3. Результаты взвешивания тела.

№ п/п	в воздухе		в воде	
	$m_{1i}, \text{Г}$	$ m_{1\text{ср}} - m_{1i} , \text{Г}$	$m_{2i}, \text{Г}$	$ m_{2\text{ср}} - m_{2i} , \text{Г}$
1				
2				
3				
4				
5				
среднее				

11. Опустите тело 5, подвешенное на нити, в сосуд с водой 11 так, чтобы оно не касалось дна и стенок сосуда и было полностью погружено в воду. Повторите пп. 7 – 10.

12. По окончании измерений:

- а) разложите разновесы в соответствующие гнезда футляра,
- б) снимите тело и чашку для гирь с подвесок и сложите их в коробку,
- в) предъявите лаборанту или преподавателю футляр с разновесами для проверки комплектности.

Обработка результатов измерений

1. Для каждой из измеренных величин m_1 , m_2 , d_T , h_T найдите среднее арифметическое значение, записывая их в таблицы № 2 и № 3.

2. По средним значениям m_1 и m_2 , используя формулы (9.6) и (9.7), рассчитайте объем тела $V_{\text{гидр}}$ и плотность материала ρ_T .

3. Используя данные таблицы 2, определите объем тела геометрическим методом по формуле (9.1).

4. Выразите полученные значения объемов $V_{\text{гидр}}$ и $V_{\text{геом}}$ в см^3 , а плотность материала ρ_T – в $\text{г}/\text{см}^3$.

Результаты покажите преподавателю.

5. Вычислите *случайные* погрешности прямых измерений для величин d_T и h_T в таблице № 2, записывая их в соответствующие ячейки последней строки таблицы.

6. Вычислите *полные* погрешности прямых измерений для величин d_T и h_T , записанных в таблице № 2, по формуле $\Delta x = \Delta x_{\text{пр}} + \Delta x_{\text{сл}}$, используя соответствующие значения приборной погрешности из таблицы № 1.

7. Округлите значения абсолютных погрешностей и результатов прямых измерений для величин d_T и h_T согласно правилам округления результатов измерений.

8. Запишите результаты прямых измерений величин d_T и h_T , в виде доверительного интервала.

$$d_T = (d_{T \text{ ср}} \pm \Delta d_T) \text{ мм}$$

$$h_T = (h_{T \text{ ср}} \pm \Delta h_T) \text{ мм}$$

9. Выполните пункты 4 – 7 для величин m_1 и m_2 , записанных в таблице № 3.

10. Рассчитайте погрешность объема, определенного геометрическим методом, по формуле

$$\Delta V_{\text{геом}} = \frac{\pi}{4} \left((d^2 - d_0^2) \Delta h + 2d \cdot h \cdot \Delta d + 2d_0 h \Delta d_0 \right)$$

11. Рассчитайте погрешности косвенных измерений $V_{\text{гидр}}$ и ρ_T по формулам

$$\Delta V_{\text{гидр}} = \frac{1}{\rho_{\text{в}}} (\Delta m_1 + \Delta m_2),$$

$$\delta \rho_m = \frac{\Delta m_1 + \Delta m_0}{m_1 + m_0} + \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{m_1 - m_2}, \quad \Delta \rho = \rho \cdot \delta \rho.$$

12. Запишите результаты косвенных измерений в виде доверительного интервала в соответствующих единицах измерения:

Объем и плотность тела, полученные методом гидростатического взвешивания

$$V_{\text{гидр}} = (V_{\text{гидр}} \pm \Delta V_{\text{гидр}}) \text{ м}^3$$

$$V_{\text{гидр}} = (V_{\text{гидр}} \pm \Delta V_{\text{гидр}}) \text{ см}^3$$

$$\rho_T = (\rho_T \pm \Delta \rho_T) \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_T = (\rho_T \pm \Delta \rho_T) \text{ г/см}^3$$

Объем тела, полученный геометрическим методом

$$V_{\text{геом}} = (V_{\text{геом}} \pm \Delta V_{\text{геом}}) \text{ м}^3$$

$$V_{\text{геом}} = (V_{\text{геом}} \pm \Delta V_{\text{геом}}) \text{ см}^3$$

13. Изобразите на числовой оси в выбранном масштабе значения объемов тела, полученные методом гидростатического взвешивания и геометрическим методом с доверительными интервалами.

14. Сравните полученные значения объемов и погрешностей их измерения, сделайте выводы.

15. По таблицам плотностей твердых тел сделайте предположение о веществе тела.

Контрольные вопросы

1. Какие силы действуют на тело, полностью погруженное в жидкость в данной работе?
2. Какими способами можно определить объем тела произвольной формы?
3. Что такое плотность тела?
4. Сформулируйте закон Архимеда.
5. Выведите формулу зависимости давления от глубины погружения тела в жидкость или газ.
6. Длинную стеклянную трубку, запаянную с одного из ее концов, полностью погрузили в озеро с водой. Затем ее поставили вертикально, так, что ее открытый конец все время оставался в воде. На какой высоте от уровня воды в озере установится уровень воды в трубке?
7. Ведро, до краев наполненное водой, взвесили динамометром. Затем в ведро опустили на нити железный груз так, чтобы не он касался дна и стенок ведра и при этом часть воды выливается. Изменится ли при этом показание динамометра?
8. При взвешивании тел на Земле, Луне и Марсе пружинные весы показали один и тот же вес. Сравните массы взвешиваемых тел. Справка: ускорения свободного падения на Луне составляет $1,62 \text{ м/с}^2$, на Марсе – $3,86 \text{ м/с}^2$.
9. Как измерить массу тела в условиях невесомости?
10. Сравните выталкивающие силы, действующие на один и тот же брусок, плавающий сначала в воде, а потом в керосине.
11. В стакане с водой плавает кусок льда с замороженной в него гайкой. Изменится ли уровень воды в стакане, после того как лед растает?
12. В закрытом сосуде, частично заполненном водой, плавает тело. Изменится ли глубина погружения тела, если увеличить давление воздуха в сосуде?
13. Плотность воды при $t = 20^\circ\text{C}$ $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$. Что это значит?

14. Что труднее удержать в воде: деревянный брусок или кусок железа, если они имеют одинаковые массы?
15. Ведро, наполовину заполненное водой, висит на крюке динамометра. Изменятся ли показания динамометра, если в воду опустить кусок железа, подвешенный на нити? Вода при опускании железа из ведра не выливается.
16. Тело сначала плавает в воде, а затем в ртути. Сравните выталкивающие силы, действующие на тело.

Лабораторная работа № 10

Изучение явления поверхностного натяжения жидкости

Литература

1. Физика: Учеб. для 10 кл. с углубленным изучением физики, Под ред. А.А. Пинского, О.Ф. Кабардина. – 8-е изд. – М.: Просвещение, 2005. – 332 с., § 22, 23

Цели работы

1. Наблюдение явления поверхностного натяжения.
2. Экспериментальное определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.
3. Определение радиуса капиллярной трубки.

Теоретическое введение

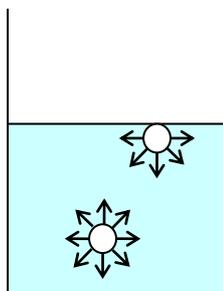


рис. 10.1

Характерным свойством жидкого состояния вещества является наличие свободной поверхности – границы, отделяющей ее от газа (пара). Молекулы поверхностного слоя находятся в особом состоянии, так как силы их взаимодействия с окружающими молекулами жидкости не скомпенсированы (рис. 10.1). Равнодействующая этих сил направлена внутрь жидкости перпендикулярно ее поверхности. Поэтому поверхностный слой жидкости проявляет свойства, подобные свойствам пленки, натянутой на поверхность (только эту

«пленку» нельзя снять, как кожу с виноградины). Каждый элемент поверхности действует на соседние с силой, параллельной поверхности. Она называется силой поверхностного натяжения и зависит от свойств жидкости.

Проявление этой силы можно наблюдать на линиях соприкосновения жидкости с твердым телом, например, со стенкой сосуда. Если сила взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердого тела больше силы взаимодействия с соседними молекулами жидкости, происходит смачивание твердого тела. По линии касания со стенками сосуда жидкость приподнимается. В этом случае поверхность жидкости, помещенной в узкий сосуд, принимает вогнутую форму – образуется мениск (рис. 10.2 а). Если жидкость не смачивает стенок сосуда, мениск выпуклый (рис. 10.2 б).

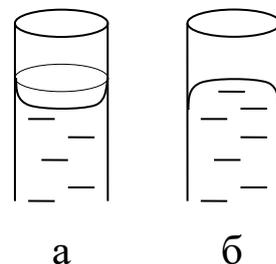


рис. 10.2

Сила притяжения молекул жидкости молекулами твердого тела уравнивается силой поверхностного натяжения $F_{\text{нат}}$. Эта последняя направлена вдоль поверхности жидкости перпендикулярно линии касания с твердым телом и по модулю пропорциональна l – длине линии касания.

$$F_{\text{нат}} = \sigma l, \quad (10.1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения. Он зависит от свойств жидкости – строения ее молекул, наличия примесей, температуры и измеряется (в СИ) в Н/м.

В узкой трубке – капилляре – при полном смачивании жидкость поднимается, так что ее уровень на величину h выше жидкости в сосуде, а мениск имеет полу-сферическую форму (рис. 10.3).

Сила тяжести столба жидкости mg уравнивается силой взаимодействия молекул жидкости с молекулами трубки, действующей по всему периметру смачивания $l = 2\pi R$.

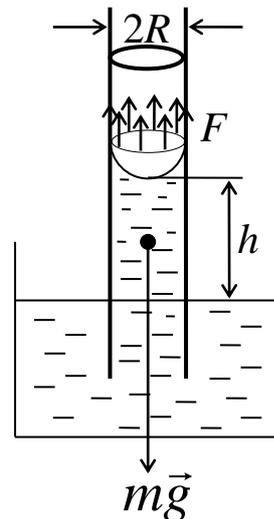


рис. 10.3

Следовательно,

$$mg = \sigma \cdot 2\pi R, \text{ где}$$

$$m = \rho_{\text{ж}} \pi R^2 h, \text{ откуда}$$

$$h = \frac{2\sigma}{\rho_{\text{ж}} R}. \quad (10.2)$$

Описание установки

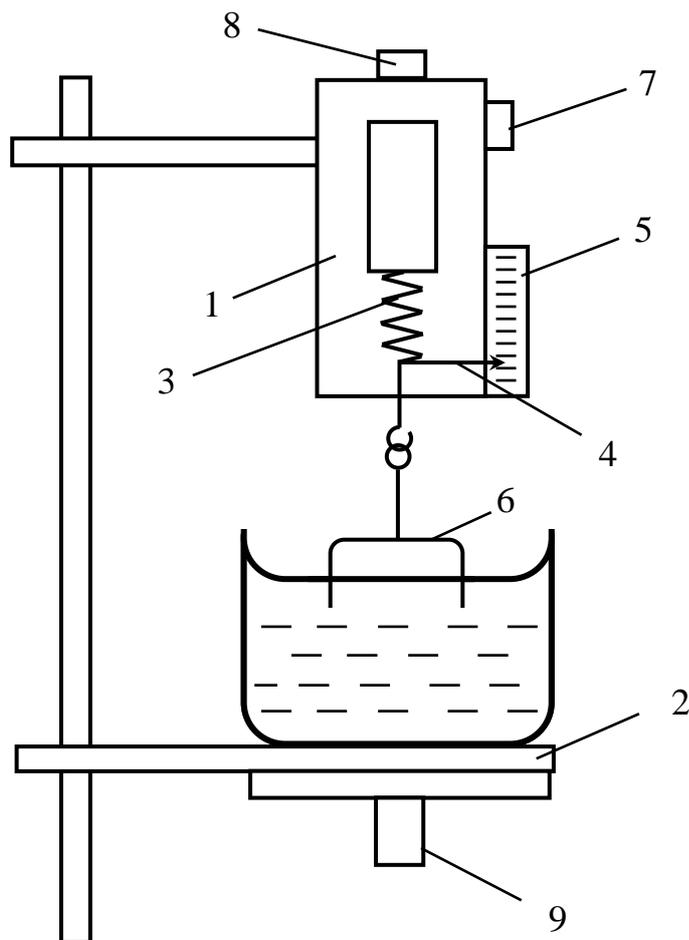


рис. 10.4

Схема установки (весы Жоли) представлена на рисунке 10.4.

На вертикальной стойке установлен динамометр (1) и столик с сосудом (2), заполненным исследуемой жидкостью. Динамометр состоит из корпуса и размещенной внутри него пружины (3). На нижнем конце динамометра закреплена стрелка (4), служащая для отсчета показаний динамометра. К корпусу динамометра прикреплена шкала (5), проградуированная в миллиньютонах (мН).

Стрелку динамометра можно установить на ноль, перемещая пружину (3) относительно корпуса динамометра нажатием на кнопку (8). Положение фиксируется стопорным винтом (7). **(Эту работу выполняет лаборант!)** Для перемещения сосуда с жидкостью по вертикали служит винт (9).

На крючок динамометра навешивается проволочная рамка, после чего производится установка нуля по шкале динамометра.

Если подвести сосуд с жидкостью к неподвижно висящей рамке так, чтобы рамка слегка коснулась поверхности жидкости, то жидкость смачивает рамку. На рисунке 10.5 приведено положение рамки в жидко-

сти. По линии смачивания на рамку действует сила натяжения жидкости, направленная вниз по касательной к поверхности жидкости и перпендикулярно к линии смачивания. Сила тяжести рамки на рисунке не показана, так как ее действие компенсируется при установке нуля по шкале динамометра.

Если начать медленно опускать сосуд с жидкостью, рамка также будет двигаться вниз, так как $F_{\text{нат}} > F_{\text{упр}}$ пружины. При дальнейшем движении пружина растягивается. В соответствии с законом Гука $F_{\text{упр}} = k\Delta l$ растет сила упругости. Постепенное растяжение пружины динамометра

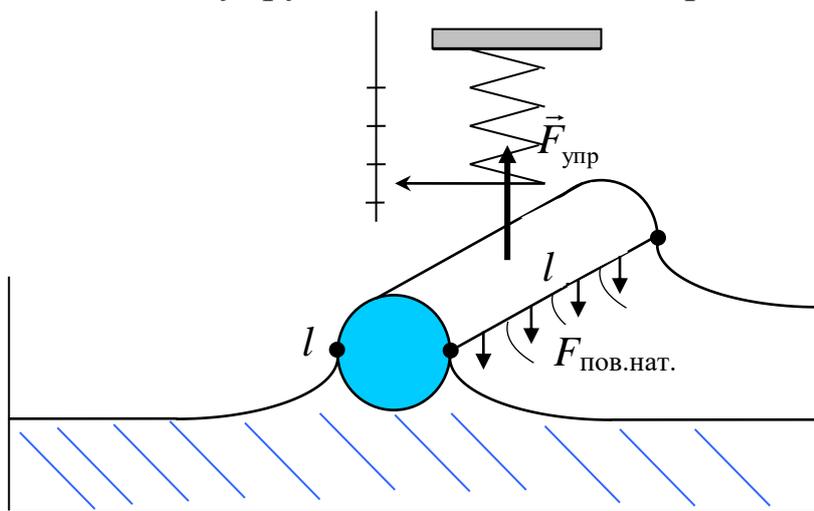


рис. 10.5

продолжаем до момента, когда рамка оторвется от поверхности жидкости. В момент отрыва от воды сила поверхностного натяжения F_n . Значение этой силы равно максимальной силе упругости пружины динамометра, которая определяется по шкале 4 в момент отрыва рамки от поверхности жидкости.

Из рис. 10.5 видно, что длина линии смачивания, по которой действует $F_{\text{нат}}$, равна удвоенной длине рамки. Поэтому $F_n = \sigma \cdot 2l$, откуда

$$\sigma = \frac{F_n}{2l}. \quad (10.3)$$

Порядок выполнения работы

1. Визуально ознакомьтесь с установкой и измерительными приборами. Заполните таблицу № 1.

Таблица № 1. Спецификация измерительных приборов.

№ п.п.	Наименование прибора	Предел измерения	Цена деления	Приборная погрешность
1.	Миллидинамометр			
2.	Шкала капиллярной трубки			

Опыт 1. Определение силы поверхностного натяжения чистой воды

2. Запишите данные установки: длина рамки $l_1 = \dots$ мм, $l_2 = \dots$ мм; $l_2 \geq l_1$; плотность воды считайте равной $\rho = 1000$ кг/м³.

Определите погрешности округления данных установки: $\Delta l = \dots$ мм; $\delta l_1 = \dots$, $\delta l_2 = \dots$.

3. *Пользуясь пинцетом*, аккуратно подвесьте на крючок измерительной пружины рамку 6 длиной l_1 . **Загрязнение рамки прикосновением рук недопустимо, пользуйтесь пинцетом!**

4. При помощи винта 9 поднимите сосуд с водой до такой высоты, чтобы рамка полностью погрузилась в жидкость.

5. Убедитесь, что стрелка динамометра указывает на ноль. В противном случае обратитесь к лаборанту.

6. Придерживая сосуд (несколько прижимая его вниз), медленно вращайте винт 9 до тех пор, пока рамка не оторвется от поверхности жидкости. (Наблюдайте искривление поверхности жидкости по линии смачивания рамки).

7. По шкале миллидинамометра 5 зафиксируйте значение силы, при которой произошел отрыв рамки.

8. Повторите опыт ещё 4 раза п.п. 4 – 7, записывая результаты в таблицу № 2.

Таблица № 2. Результаты измерения силы поверхностного натяжения жидкости, действующей на рамку.

Вид жидкости – холодная вода				
Длина рамки $l_1 = \dots$ мм			Длина рамки $l_2 = \dots$ мм	
№ п/п	$F_{н1i}$, мН	$ F_{н1\text{ ср}} - F_{н1i} $, мН	$F_{н2i}$, мН	$ F_{н2\text{ ср}} - F_{н2i} $, мН
1				
2				
3				
4				
5				
средн.				

8. *Пользуясь пинцетом*, аккуратно снимите рамку длиной l_1 и подвесьте на крючок измерительной пружины рамку длиной l_2 .

9. Повторите измерения п.п. 4 – 7, записывая результаты в таблицу № 2.

Опыт 2. *Определение высоты подъема воды в капилляре.*

10. Опустите капиллярную трубку в сосуд с водой так, чтобы ее нижний край был на 2-3 см ниже поверхности воды. Убедитесь, что столбик воды в капилляре не разрывается пузырьками воздуха.

11. С помощью измерительной шкалы, нанесенной на капилляр, измерьте высоту столба воды в капилляре (см. рис. 10.3). Результат измерения занесите в таблицу № 4.

12. Выньте трубку из воды, удалите воду из капилляра.

13. Повторите измерения еще 4 раза.

Таблица № 3. Результаты измерения высоты подъема воды в капилляре.

№ опыта	h_i , мм	$ h_{\text{ср}} - h_i $, мм
1		
2		
3		
4		
5		
среднее		

Обработка результатов измерений

При выполнении задания 1

1. Рассчитайте средние арифметические значения величин $F_{\text{н1}}$ и $F_{\text{н2}}$, запишите полученные значения в соответствующие ячейки таблицы № 2.

2. Для каждой рамки по средним значениям $F_{\text{н1}}$ и $F_{\text{н2}}$ по формуле (10.3) вычислите σ_1 и σ_2 .

3. По результатам двух опытов, проведенных с рамками различных размеров, вычислите среднее значение коэффициента поверхностного натяжения $\sigma_{\text{сред}}$. Результаты покажите преподавателю.

4. Вычислите *случайные* погрешности прямых измерений для величин $F_{\text{н1}}$ и $F_{\text{н2}}$, записывая их в соответствующие ячейки последней строки таблицы № 2.

5. Вычислите *полные* погрешности прямых измерений для величин $F_{н1}$ и $F_{н2}$, по формуле $\Delta F_{н} = \Delta F_{н\text{пр}} + \Delta F_{н\text{сл}}$, используя соответствующее значения приборной погрешности из таблицы № 1.

6. Округлите значения абсолютных погрешностей и результатов измерений для величин $F_{н1}$ и $F_{н2}$ согласно правилам округления результатов измерений.

7. Запишите результаты измерений величин $F_{н1}$ и $F_{н2}$, в виде доверительного интервала.

$$F_{н} = (F_{н\text{ср}} \pm \Delta F_{н}) \text{ (единицы измерения)}$$

8. Вычислите относительную погрешность силы поверхностного натяжения при использовании рамки меньшей длины $\delta F_{н1}$.

9. Для опыта, выполненного с рамкой меньшей длины, рассчитайте относительную погрешность косвенного измерения по формуле

$$\delta\sigma = \delta F_{н1} + \delta l_1.$$

10. Определите абсолютную погрешность коэффициента поверхностного натяжения по формуле $\Delta\sigma = \delta\sigma \cdot \sigma_{\text{сред}}$.

11. Округлите значение абсолютной погрешности и результата измерений для величины $\sigma_{\text{сред}}$ согласно правилам округления результатов измерений.

12. Запишите результат измерения величины $\sigma_{\text{сред}}$ в виде доверительного интервала.

$$\sigma = (\sigma_{\text{ср}} \pm \Delta\sigma) \text{ (единицы измерения)}$$

13. Сравните полученное значение с табличным значением коэффициента поверхностного натяжения воды при температуре воздуха в лаборатории.

14. Сделайте вывод о корректности проведения эксперимента.

При выполнении задания 2

15. По результатам измерений в таблице 5 определите среднее значение высоты столба жидкости.

16. Используя среднее значение высоты столба жидкости в капилляре, по формуле (10.4) определите радиус капилляра.

17. Вычислите *случайную* погрешность прямого измерения для величины h и запишите ее в соответствующую ячейку последней строки таблицы № 3.

18. Вычислите *полную* погрешность прямого измерения для величины h , по формуле $\Delta h = \Delta h_{\text{пр}} + \Delta h_{\text{сл}}$, используя соответствующее значение приборной погрешности из таблицы № 1.

19. Вычислите относительную погрешность измерения высоты подъема воды в капилляре δh .

20. Округлите значение абсолютной погрешности и результата измерения высоты подъема воды в капилляре согласно правилам округления результатов измерений.

21. Запишите результат измерения величины h , в виде доверительного интервала.

$$h = (h_{\text{cp}} \pm \Delta h) \text{ (единицы измерения)}$$

22. Рассчитайте относительную погрешность косвенных измерений радиуса капилляра

$$\delta R = \delta \sigma + \delta h.$$

23. Определите абсолютную погрешность измерения радиуса $\Delta R = \delta R \cdot R$.

24. Запишите результат измерения радиуса капилляра, в виде доверительного интервала.

$$R = (R_{\text{cp}} \pm \Delta R) \text{ (единицы измерения)}$$

25. Сделайте выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Чем объясняется наличие силы поверхностного натяжения?
2. Что понимается под коэффициентом поверхностного натяжения?
3. В чем заключается явление полного смачивания и полного несмачивания?
4. Чем объясняется подъем жидкости в капиллярах?
5. Почему капля жидкости в невесомости принимает форму сферы?
6. Что показывает коэффициент поверхностного натяжения?
7. Коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma = 0,072$ Н/м. Что это значит?
8. Коэффициент поверхностного натяжения глицерина $\sigma = 0,059$ Дж/м². Что это значит?
9. Какую форму стремится принять жидкость под действием сил поверхностного натяжения?
10. Почему смачивающие жидкости в капилляре имеют вогнутый мениск?
11. Из крана самовара падают капли. Когда капли более тяжелые: когда вода горячая или когда она остыла?
12. Деревянный кружок, покрывающий воду, легче снять, понимая его не плашмя, а ребром. Почему?

13. Почему уменьшаются размеры мыльного пузыря, если перестать дуть в трубочку, на конце которой держится пузырь?
14. Почему расплавленный жир плавает на поверхности воды в виде кружков?
15. Почему две капельки ртути, приведенные в соприкосновение, сливаются в одну?
16. От чего зависит коэффициент поверхностного натяжения?

Лабораторная работа № 11

Исследование изотермического процесса в идеальном газе

Литература

Грачев А.В. Физика: 10 класс: базовый уровень; профильный уровень: учебник для учащихся общеобразовательных учреждений М.: Вентана-Граф, 2011. § 43, 44

Цели работы

1. Исследовать изменение давления идеального газа при изменении его объема при постоянной температуре.
2. Проверить справедливость закона Бойля – Мариотта.
3. Определить количество газа в заданном объёме.
- 4*. Проверить калибровку датчика объёма.

Теоретическое введение

Идеальный газ – физическая модель. Такой газ состоит из частиц

- линейные размеры которых пренебрежимо малы;
- между которыми отсутствуют силы, действующие на расстоянии;
- которые обмениваются энергией между собой и стенками сосуда посредством упругих соударений.

Термодинамическое состояние идеального газа, определяют параметры состояния: давление (p), температура (T) и объем (V), занимае-

мый газом. С учетом количества вещества $\nu = m/M$, взаимосвязь этих параметров описывается уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M} \cdot RT, \quad (11.1)$$

где m – масса газа, M – масса одного моля газа (молярная масса).

При давлении близком к атмосферному и в пределах температурного интервала $[0 - 100^\circ\text{C}]$ воздух можно считать идеальным газом.

Процессом в газе называется переход газа из одного состояния (характеризуемого параметрами ν_1, p_1, V_1, T_1) в другое (с параметрами ν_1, p_2, V_2, T_2).

Если в ходе процесса температура газа не изменяется, процесс называется *изотермическим*. Уравнение процесса – зависимость давления газа от его объёма – можно получить, используя уравнение Менделеева-Клапейрона

$$p = \frac{\nu RT}{V}. \quad (11.2)$$

При неизменном количестве вещества график зависимости давления от объёма – *изотерма*, соответствующая температуре T_1 , представлен на рис. 11.1. (Это гипербола вида $y = a/x$). При более высокой постоянной в ходе процесса температуре T_2 , изотерма располагается выше в соответствии с уравнением процесса (11.2).

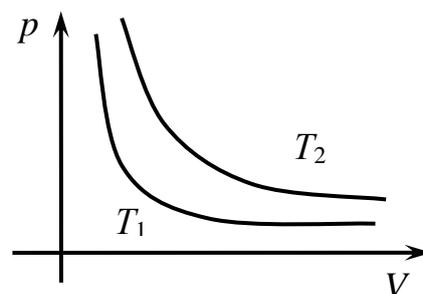


рис. 11.1

Для экспериментальной проверки теоретической зависимости, формулу удобно преобразовать так, чтобы зависимость имела вид линейной функции. Из уравнения (11.2) очевидно, что

$$p = \nu RT \left(\frac{1}{V} \right), \quad (11.3)$$

то есть зависимость значений p от значений $\frac{1}{V}$ имеет вид линейной функции вида $y = kx$, где коэффициент $k = \nu RT$.

Из уравнения Менделеева-Клапейрона и условия $T = \text{const}$, следует, что при изотермическом процессе произведение значений давления и объёма газа должно быть постоянной величиной:

$$pV = \text{const}. \quad (11.4)$$

Этот факт был экспериментально установлен в XVII веке независимо двумя учеными и носит название ЗАКОНА БОЙЛЯ – МАРИОТТА.

Описание установки

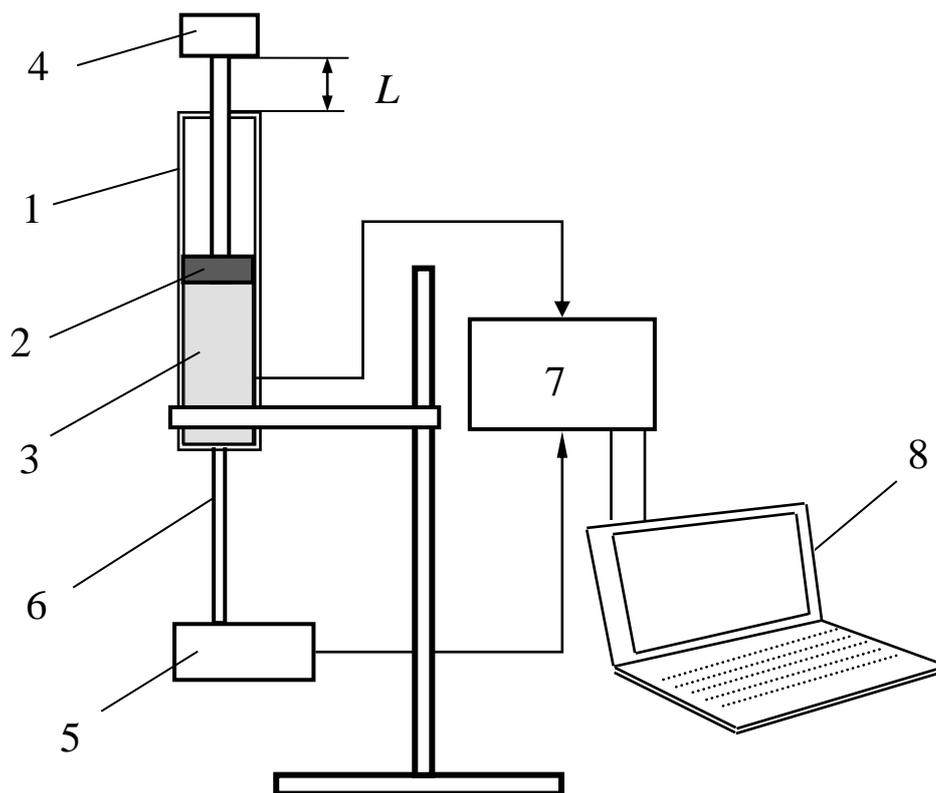


рис. 11.2

Основным элементом установки является цилиндр (1) с подвижным поршнем (2) и встроенным датчиком объема. В цилиндре находится рабочее тело – воздух (3). При перемещении поршня из нижнего положения объем газа увеличивается, а давление внутри цилиндра уменьшается. Если изменение объема рабочего тела происходит медленно, большая теплоемкость цилиндра и окружающего его атмосферного воздуха позволяют считать процесс с достаточной степенью точности *изотермическим*, происходящим при комнатной температуре.

Для плавного перемещения поршня служит винт (4). Давление воздуха внутри цилиндра измеряется датчиком давления (5), соединенным с рабочим объёмом толстостенным шлангом (6). Через концентратор L-микро (7) данные поступают в ноутбук (8).

Приборы, применяемые для измерений параметров газа

- Датчик объема. В нём используется реостат, ползунок которого перемещается вместе с поршнем. Изменение выходного напряжения реостата даёт информацию об изменении объёма. В процессе калибровки датчика каждому значению напряжения присвоено значение объёма.
- Штангенциркуль. Измерение перемещения поршня L (см. рис.11-2) позволяет получить дополнительную информацию об изменении объёма газа.
- Датчик давления. На активном элементе датчика при его деформации воздухом возникает электрическое напряжение, значение которого зависит от давления воздуха.
- Термометр. Спиртовой термометр, действие которого основано на явлении термического расширения жидкости.
- Концентратор L-микро. Устройство, преобразующее аналоговые сигналы датчиков в цифровые для обработки данных на компьютере.
- ПК ноутбук, снабженный программой обработки данных, позволяющей, в том числе, представить результаты эксперимента в виде графиков.

Порядок выполнения работы

1. Визуально ознакомьтесь с установкой и измерительными приборами. Заполните таблицу № 1.

Таблица № 1. Спецификация измерительных приборов.

№ п.п.	Наименование прибора	Предел измерения	Цена деления	Приборная погрешность
1	штангенциркуль			
2	термометр			
3	датчик объема	30 - 120 см ³	—	5 %
4	датчик давления	0 - 2 · 10 ⁵ Па	—	5 %

2. Запишите с погрешностями значения табличных данных, данных установки и условий опыта.

Диаметр поршня $d = \dots \pm \dots$ см

$\delta d =$

Температура воздуха в лаборатории $t = \dots \pm \dots$ °С

Начальный объем $V_0 = \dots \text{ см}^3$ (заполняется позже)

Универсальная газовая постоянная $R = \dots$

3. На ноутбуке войдите в программу **L-physics** → **молекулярная физика** → **газовые законы** → **изотермический процесс (зависимость p от V)**.

4. Активируйте режим **настройка оборудования**. На экране появится изображение рабочей установки и текущие показания датчиков: давление и объем рабочего цилиндра.

5. Переведите поршень в положение, соответствующее минимальному объёму 30 мл. Убедитесь, что на корпусе датчика объема включился зеленый индикатор готовности.

6. Запишите начальное показание датчика объема (V_0).

7. Вращая рукоятку винта и наблюдая за показаниями датчика объема, установите рабочий объем 50 см^3 .

8. Запишите соответствующее показание датчика давления в первую строку таблицы № 2.

9. С помощью штангенциркуля измерьте расстояние L , на которое выдвинулся поршень. Эта величина показана на рис. 11.2 как расстояние между верхним торцом рабочего цилиндра и нижним торцом рукоятки винта. Запишите значение L в первую строку таблицы № 2.

10. Начните запись данных. Для этого перейдите в режим «**проведение измерений**» и нажмите кнопку «**пуск**». В процессе измерений цифровые индикаторы на экране будут показывать текущие значения давления и объема газа, программа одновременно производит построение графика зависимости давления от объема газа.

11. Повторите п.п. 7 – 9 для объемов 60 – 90 см^3 , записывая результаты измерений в соответствующие ячейки таблицы № 2.

12. Нажмите кнопку «**стоп**».

Компьютерная обработка результатов

13. Для перехода в режим обработки нажмите кнопку «**обработка**».

Первый этап – получение графика $p = F(V)$

14. На первом этапе программа по данным опыта построит зависимость $p(V)$. Для этого нажмите кнопку «**функция**». Программа рассчитает и нанесет на график аппроксимирующую кривую, наилучшим способом проходящую через экспериментальные значения. На дисплее по-

явится гипербола (красным цветом) и функция, соответствующая построенному графику.

Запишите эту программно полученную зависимость $p = F(V)$ в протокол после таблицы № 2 (формула 11.5).

15. Для перехода к следующему этапу обработки нажмите кнопку «далее».

Второй этап – получение графика $p = F(1/V)$

16. Те же экспериментальные данные программа перестроит в координатах $\left(p, \frac{1}{V}\right)$. При нажатии кнопки «прямая» программа рассчитает и построит на этом графике прямую, наилучшим образом аппроксимирующую экспериментальные результаты и выведет ее уравнение вида $Y = kX$. Коэффициент k при этом равен константе из уравнения для изотермы (11.3).

Таблица № 2. Результаты измерения высоты подъема поршня, давления и объема воздуха в цилиндре.

№ п.п.	$V_{\text{измер}}, \text{см}^3$	$p, \text{кПа}$	$\frac{1}{V_{\text{измер}}}, \text{см}^{-3}$	$L, \text{см}$	$V_{\text{расч}}, \text{см}^3$	$pV_{\text{расч}}, \text{кПа} \cdot \text{см}^3$	$\left \left(pV_{\text{расч}} \right)_{\text{ср}} - \left(pV_{\text{расч}} \right)_i \right , \text{кПа} \cdot \text{см}^3 *$
1.	50						
2.	60						
3.	70						
4.	80						
5.	90						
средн.							

Зависимость $p = F(V)$, полученная при компьютерной обработке данных

..... (11.5)

Зависимость $p = F\left(\frac{1}{V}\right)$, полученная при компьютерной обработке данных

..... (11.6)

17. Запишите программно полученную зависимость $p = f\left(\frac{1}{V}\right)$ в протокол после таблицы № 2 (формула 11.6).

Обработка результатов измерений вручную

1. Рассчитайте значения $\frac{1}{V_{\text{измер}}}$ и запишите их в соответствующий столбец таблицы № 2.

2. Рассчитайте значения рабочего объема газа под поршнем для каждого положения поршня по формуле

$$V_{\text{расч}} = V_0 + L \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (11.7)$$

и запишите их в соответствующий столбец таблицы № 2.

3. Рассчитайте произведения $pV_{\text{расч}}$ и запишите полученные значения в соответствующий столбец таблицы № 2.

4. Согласно уравнению (11.5), рассчитайте значения давления p_2 при измеренных значениях объема. Занесите полученные значения в таблицу 3.

Таблица № 3. Результаты расчета по программно полученной зависимости $p = F(V)$.

№ п.п.	1.	2.	3.	4.	5.
$V_{\text{измер}}, \text{см}^3$					
$p_2, \text{кПа}$					

5. По данным таблицы № 3 на миллиметровой бумаге в соответствующем масштабе изобразите координатные оси давления и объема, нанесите на график точки по данным таблицы 3, соедините построенные точки плавной кривой.

6. По данным таблицы № 2 на графике, построенном в п. 5, другим цветом отложите экспериментальные точки зависимости $p = F(V_{\text{измер}})$, определенной по показаниям соответствующих датчиков.

7. На миллиметровой бумаге в координатах $\left(p, \frac{1}{V}\right)$ постройте прямую, соответствующую программно полученной зависимости (11.6).

8. По данным таблицы № 2 на графике, построенном в п. 7, *другим цветом* отложите экспериментальные точки зависимости $p = f\left(\frac{1}{V_{\text{измер}}}\right)$.

9. Рассчитайте количество газа под поршнем для одного значения давления по указанию преподавателя по формуле:

$$v = \frac{pV_{\text{измер}}}{RT}. \quad (11.8)$$

Расчет погрешностей

10. Рассчитайте относительную погрешность косвенного измерения объема с помощью штангенциркуля по формуле:

$$\delta V_{\text{расч}} = 2\delta d + \frac{\Delta L}{L_{\text{min}}},$$

погрешность измерения перемещения поршня ΔL примите равной приборной погрешности, L_{min} – значение величины L , соответствующее объему 50 см^3 .

11. Рассчитайте абсолютную погрешность измерения объема по формуле:

$$\Delta V_{\text{расч}} = V_{\text{расч}} \cdot \delta V_{\text{расч}},$$

используя в качестве $V_{\text{расч}}$ *минимальное рассчитанное* значение объема.

12. Запишите результат косвенного измерения объема в виде доверительного интервала.

$$V_{\text{расч}} = (V_{\text{расч}} \pm \Delta V_{\text{расч}}) \text{ (единицы измерения)}$$

13. Рассчитайте абсолютную погрешность прямого измерения объема $V_{\text{измер}}$ по формуле:

$$\Delta V_{\text{измер}} = V_{\text{измер}} \cdot \delta V_{\text{измер}}.$$

В качестве $V_{\text{измер}}$ рекомендуется использовать минимальное измеренное значение объема 50 см^3 , относительную погрешность измерения объема примите равной приборной погрешности датчика.

14. Запишите результат прямого измерения объема в виде доверительного интервала.

$$V_{\text{измер}} = (V_{\text{измер}} \pm \Delta V_{\text{измер}}) \text{ (единицы измерения)}$$

15. Изобразите на числовой оси доверительные интервалы значений объема, полученных путем прямого и косвенного измерения.

16. Сравните результаты прямого и косвенного измерения объема с учетом погрешностей, сделайте вывод о корректности работы датчика объема.

17. Рассчитайте относительную погрешность измерения количества газа по формуле

$$\delta v = \delta p + \delta V + \delta T,$$

относительные погрешности измерения давления и объема примите равными приборным погрешностям соответствующих датчиков.

18. Рассчитайте абсолютную погрешность измерения количества газа по формуле

$$\Delta v = v \cdot \delta v.$$

19. Запишите результат измерения v в виде доверительного интервала.

$$v = v \pm \Delta v \text{ (единицы измерения)}$$

20. Рассчитайте *среднее арифметическое* значение величины $pV_{\text{расч}}$ и запишите полученное значение в соответствующую ячейку таблицы № 2.

21. По данным таблицы № 2 на миллиметровой бумаге постройте график зависимости $pV_{\text{расч}} = f(p)$.

22. По "разбросу" точек на графике зависимости $pV_{\text{расч}} = f(p)$ сделайте вывод о постоянстве данной величины в изотермическом процессе и о выполнении закона Бойля-Мариотта в проведенном эксперименте.

23*. Найдите отклонения от среднего $|(pV_{\text{расч}})_{\text{средн}} - (pV_{\text{расч}})_i|$ для всех полученных значений величины $pV_{\text{расч}}$, записывая, вычисленные величины в соответствующие ячейки таблицы № 2.

24*. Вычислите среднее отклонение от среднего величины $pV_{\text{расч}}$, по формуле

$$\Delta(pV_{\text{расч}})_{\text{отклон}} = \frac{\sum_{i=1}^N ((pV_{\text{расч}})_{\text{средн}} - (pV_{\text{расч}})_i)}{N},$$

где $(pV_{\text{расч}})_{\text{средн}}$ – среднее арифметическое значение величины $pV_{\text{расч}}$, N – количество сделанных измерений, и запишите полученную величину в соответствующую ячейку последней строки таблицы № 2.

25*. Рассчитайте относительную и абсолютную погрешности произведения $pV_{\text{расч}}$ по формулам

$$\delta(pV_{\text{расч}}) = \frac{\Delta(pV_{\text{расч}})_{\text{отклон}}}{(pV_{\text{расч}})_{\text{ср}}} + \delta p + \delta V_{\text{расч}},$$
$$\Delta(pV_{\text{расч}}) = (pV_{\text{расч}})_{\text{ср}} \cdot \delta(pV_{\text{расч}}).$$

26*. Запишите результат измерения величины $pV_{\text{расч}}$ в виде доверительного интервала.

$$pV_{\text{расч}} = \left((pV_{\text{расч}})_{\text{ср}} \pm \Delta(pV_{\text{расч}}) \right) \text{ (единицы измерения)}$$

27*. Изобразите на числовой оси доверительный интервал значений величины $pV_{\text{расч}}$ и значение коэффициента k зависимости (11.6).

28*. Сравните значение коэффициента k , и величину $pV_{\text{расч}}$ с учетом интервалов погрешностей.

29*. Сделайте выводы:

1) на основании полученной относительной погрешности произведения $pV_{\text{расч}}$ сделайте вывод о постоянстве данной величины в изотермическом процессе и о выполнении закона Бойля-Мариотта в проведенном эксперименте;

2) на основании сравнения значения коэффициента k , и величины $pV_{\text{расч}}$ сделайте вывод о точности выполненных измерений.

30*. Из сравнения измеренных и рассчитанных значений объема сделайте вывод о качестве калибровки датчика объема.

Контрольные вопросы

1. Что такое идеальный газ?
2. При каких реальных условиях воздух можно считать идеальным газом?
3. Какие параметры определяют состояние идеального газа?
4. Каким уравнением связаны параметры состояния идеального газа?
5. Какой процесс называется
а) изотермическим; б) изобарным; в) изохорным; г) адиабатным?
6. Сформулируйте первый закон термодинамики.
7. Что такое внутренняя энергия идеального газа? От чего она зависит?
8. Чем определяется работа газа?
9. Какие изменения внутренней энергии газа происходят при изотермическом процессе?
10. Как будут выглядеть графики, построенные в ходе лабораторной работы, если изотермический процесс будет проходить при более высокой температуре?
11. Газ расширяется из одного и того же состояния вначале изотермически, а затем адиабатически. В обоих процессах изменение объема

газа одинаково. В каком процессе газ совершил большую работу и почему?

24. Почему при проведении лабораторной работы необходимо перемещать поршень медленно?

25. Что произойдет если быстро переместить поршень?

26. Как изменится сила давления газа на поршень при уменьшении объема воздуха в цилиндре в два, три раза?

27. Какие внесистемные единицы измерения давления Вы знаете? Как они связаны с 1 Па?

28. Чему равна теплоемкость газа изобарном, изохорном, изотермическом и адиабатном процессах?

29. Рассчитайте приблизительную массу воздуха в стакане, в помещении лаборатории, в легких человека (полная ёмкость лёгких составляет 5000 см^3 ; обычный вдох составляет 500 см^3).

Лабораторная работа № 12

Исследование электростатических полей методом моделирования

Литература

Грачев А.В. Физика: 10 класс: базовый уровень; профильный уровень: учебник для учащихся общеобразовательных учреждений М.: Вентана-Граф, 2011. § 64, 66

Цели работы

1. Исследование распределения потенциала электрического поля, созданного двумя электродами.
2. Построение эквипотенциалей электрического поля.
3. Построение линий напряженности электрического поля.
4. Ознакомление с электроизмерительным прибором – многопредельным вольтметром.

Теоретическое введение

Электрическое поле – материальный объект непрерывный в пространстве, окружающий заряженное тело. Основное свойство поля – действовать на заряженное тело (другое). Это действие определяется силовой характеристикой поля – напряженностью.

Напряженность в рассматриваемой точке электрического поля \vec{E} – векторная величина, равная отношению силы \vec{F} , действующей на пробный заряд $q_{\text{проб}}$ (точечный, положительный), помещенный в эту точку, к значению этого заряда

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{проб}}}; \quad (12.1)$$

Единицы измерения напряженности $[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Вольт}}{\text{метр}}$.

Напряженность поля зависит от величины и конфигурации зарядов, создающих поле (и не зависит от величины $q_{\text{проб}}$!).

Электрическое поле можно графически представить с помощью **линий напряженности** (силовых линий). Они начинаются на положительном заряде (или в бесконечности), кончаются на отрицательном заряде (или в бесконечности). Касательная к силовым линиям в каждой точке показывает направление вектора \vec{E} , а плотность силовых линий

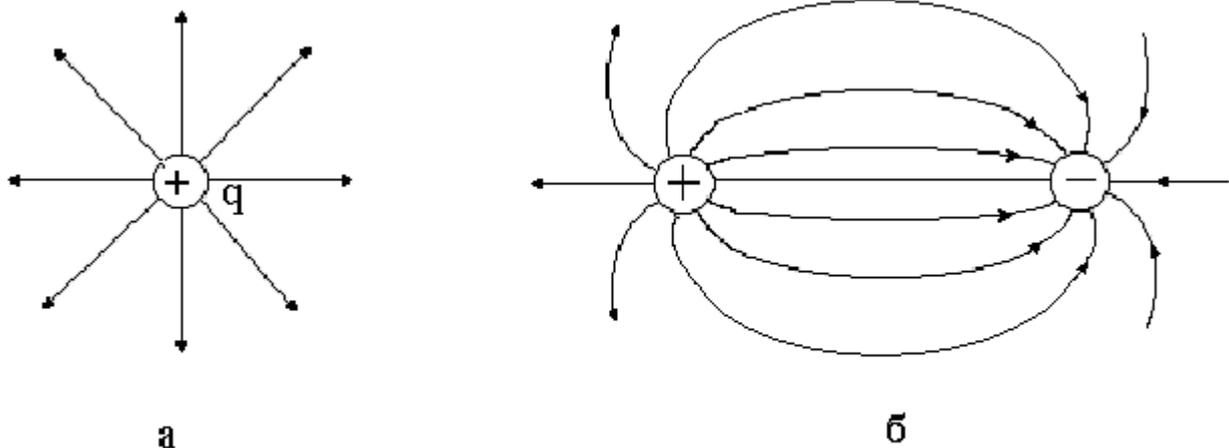


рис. 12.1

пропорциональна модулю E . На рис. 12.1 а, б показаны силовые линии полей, созданных точечным зарядом $+q$, а также двумя точечными зарядами $+q, -q$.

Электрическое поле, в котором $\vec{E} = \text{const}$ во всех точках, называется **однородным**.

Зная напряженность \vec{E} в точке поля, можно найти силу, действующую на заряд q , помещенный в эту точку

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (12.2).$$

При перемещении заряда q из точки 1 в точку 2 поле совершает работу, которую можно рассчитать по формуле

$$A_{1-2} = qE \cdot \Delta r_{12} \cos(\vec{E} \hat{\Delta} \vec{r}), \quad (12.3)$$

если $\vec{E} = \text{const}$ на перемещении Δr_{12} .

Оказывается, что работа не зависит от формы траектории, а зависит только от положения точек 1, 2. Это означает, что электрическое поле является потенциальным, а заряд в точке поля обладает потенциальной энергией.

Потенциалом точки поля называется отношение потенциальной энергии пробного заряда $q_{\text{проб}}$, которой он обладает в этой точке, к величине $q_{\text{проб}}$:

$$\varphi = \frac{W_{\text{пот}}}{q_{\text{проб}}}, \quad (12.4)$$

где $W_{\text{пот}}$ определена по отношению к выбранному нулевому уровню потенциальной энергии. Потенциал измеряется в Вольтах (В).

Разность потенциалов двух точек поля не зависит от выбора нулевого уровня потенциала, а определяется модулем и направлением вектора \vec{E} в пространстве между этими точками:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1 \rightarrow 2}^{\text{поля}}}{q_{\text{проб}}}, \quad (12.5)$$

где A_{12} можно найти по формуле (12.3).

$$\text{Тогда } \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{Eq\Delta r_{12} \cos(\vec{E} \hat{\Delta} \vec{r})}{q} \quad (12.6).$$

В однородном электрическом поле (рис. 12.2)

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E\Delta x_{12}, \quad (12.7),$$

где Δx_{12} – перемещение вдоль силовой линии.

Изменение потенциала при перемещении из точки 2 в точку 1 $\varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi = -E_x \Delta x$ или

$$E_x = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}. \quad (12.8)$$

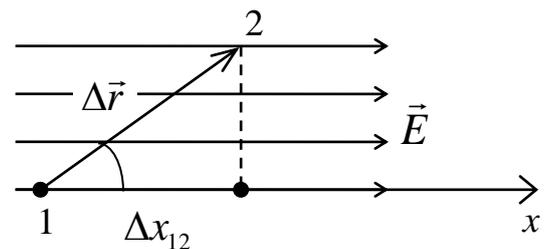


рис. 12.2

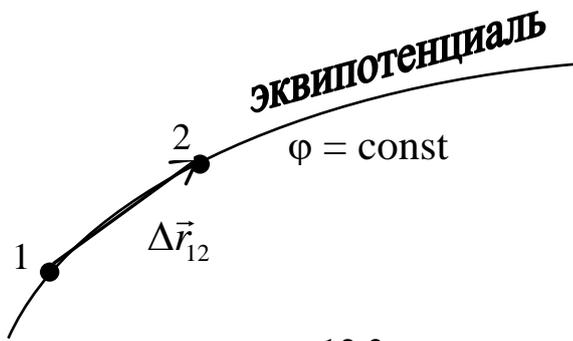


рис. 12.3

Из этого соотношения следует, что **вдоль по силовой линии потенциал всегда убывает, причем тем быстрее, чем больше модуль напряженности.**

Поверхность, во всех точках которой потенциал поля одинаков, называется **эквипотенциальной поверхностью. Эквипотенциалью (эквипотенциальной**

линией) называется линия пересечения плоскости листа с эквипотенциальной поверхностью. Разность потенциалов между любыми двумя точками эквипотенциальной поверхности равна нулю, откуда следует, что эквипотенциальные поверхности всегда перпендикулярны линиям напряженности (силовым линиям). Докажем это с помощью рис. 12.3 и формулы (12.6).

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E \Delta r_{12} \cos(\vec{E} \hat{\Delta} \vec{r}_{12})$$

$\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ по определению эквипотенциальной поверхности;
 $E \neq 0$; $\Delta r \neq 0$, следовательно,

$$\cos(\vec{E} \hat{\Delta} \vec{r}_{12}) = 0,$$

т.е. $\vec{E} \perp \Delta \vec{r}_{12}$, где $\Delta \vec{r}_{12}$ – перемещение вдоль эквипотенциали.

С помощью эквипотенциалей можно также графически представить картину электрического поля. Два способа графического изображения поля – с помощью линий напряженности и эквипотенциалей – дополняют друг друга. При этом плотность силовых линий (т.е. модуль E) больше в тех областях поля, где ближе друг к другу эквипотенциальные поверхности (это следует из формулы 12.8). На рис. 12.4 а изображено электрическое поле, созданное положительно заряженной плоской металлической пластиной 1 и отрицательно заряженным круглым телом 2. Пунктирные линии – линии пересечения эквипотенциальных поверхностей с плоскостью листа, сплошные линии – линии напряженности, везде перпендикулярные эквипотенциалам.

На расположенном ниже графике (рис. 12.4 б) показано распределение потенциала вдоль оси x , соответствующее картине поля. Отметим, что внутри металлической (проводящей) пластины потенциал не меняется. Начало отсчета потенциала ($\varphi = 0$) выбрано в точке, где помещена заряженная пластина.

Используя формулу (12.8), можно вычислить средние значения проекции напряженности E_x в промежутках между каждой парой эквипотенциалей. На рис.4в построен график $E_x(x)$ для электрического поля, изображенного на рис. 12.4 а.

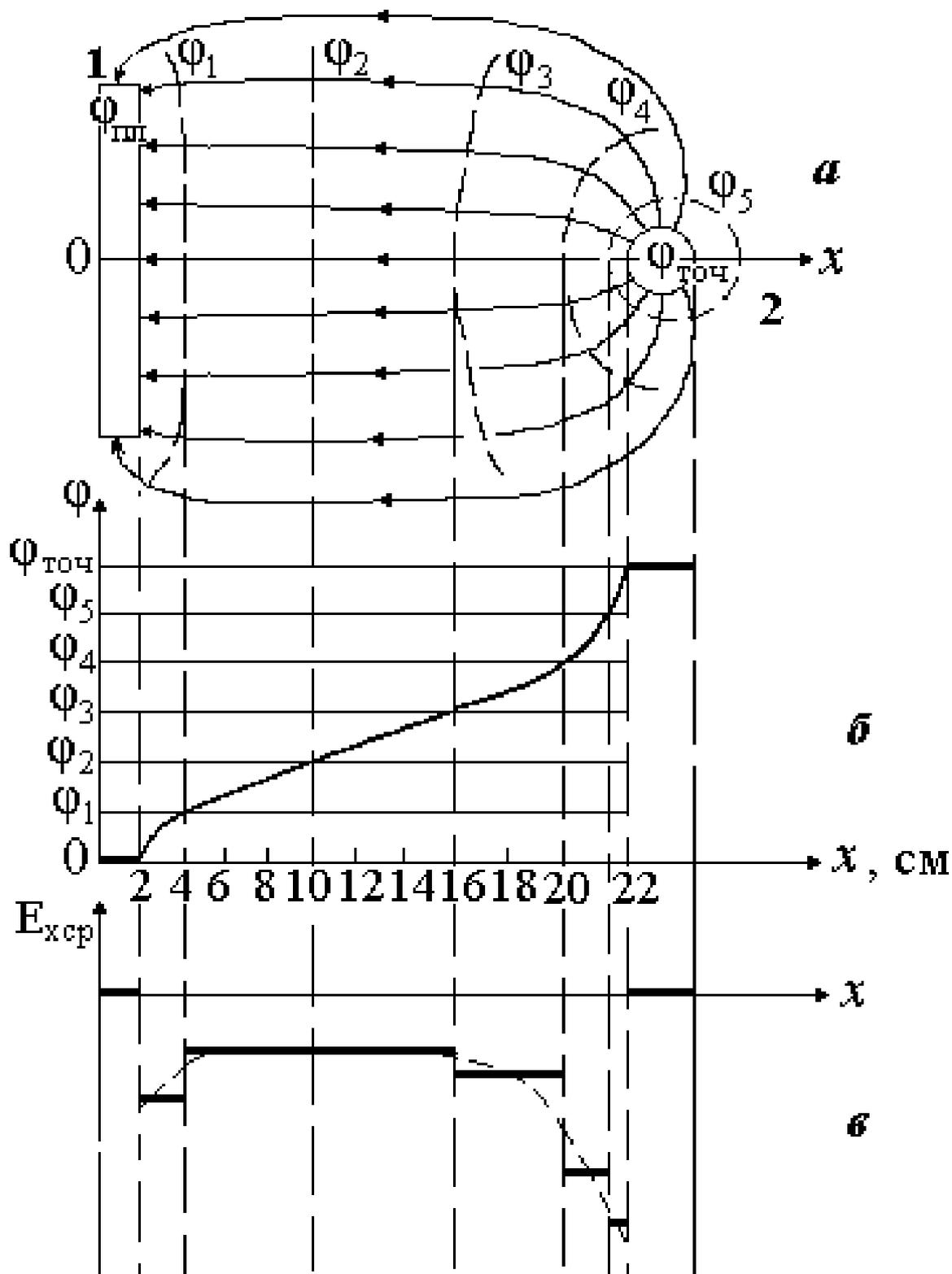


рис. 12.4

Описание установки

Электрическое поле, созданное двумя заряженными телами в вакууме, подобно полю тока, создаваемому двумя электродами в слабопроводящей среде. Такой «средой» является специальная электропроводящая бумага. Металлический электрод – зонд, приобретает потенциал той точки поля, в которую он помещен, соприкасаясь с электропроводящей бумагой. Этот потенциал может быть измерен с помощью вольтметра.

Схема установки приведена на рис. 12.5.

Перемещая зонд по поверхности бумаги и контролируя величину потенциала по вольтметру, можно найти точки одинакового потенциала и отметить их положение.

Совокупность точек определит форму и расположение соответствующей эквипотенциали с потенциалом φ_1 . Затем аналогичным образом можно найти точки эквипотенциалей φ_2 , φ_3 и т.д.

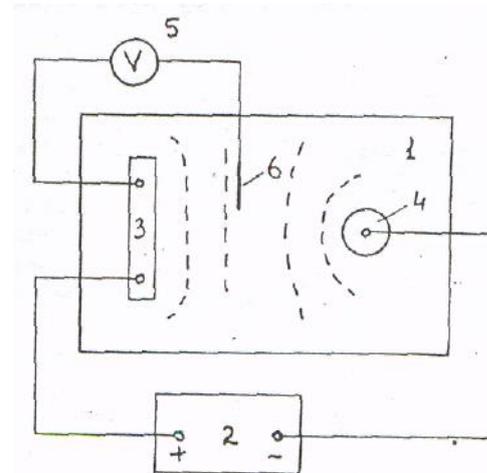


рис. 12.5

1 – площадка с закрепленной на ней электропроводной бумагой; 2 – источник постоянного напряжения; 3, 4 – электроды; 5 – вольтметр; 6 – зонд.

Порядок выполнения работы

1. Визуально ознакомьтесь с установкой. Заполните таблицу № 1.
2. Ознакомьтесь с многопредельным вольтметром, запишите все его параметры в таблицу спецификации:
 - а) первую строчку таблицы № 1 заполните для рабочего предела измерения равного 7,5 В;
 - б) выберите дополнительно любые 3 другие предела измерения и заполните остальные строки таблицы № 1.

Таблица №1. Спецификация измерительных приборов.

№ п.п.	Наименование прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Приборная погрешность
1.	Вольтметр				

3. Положите на предметный столик лист миллиметровой бумаги, на него – копировальную бумагу копирующим слоем вниз, поверх нее – лист электропроводящей бумаги.

4. Установите на электропроводящей бумаге электроды, предложенные преподавателем. Обведите их контуры зондом через копировальную бумагу.

5. Включите источник питания.

6. Касаясь электродов зондом, определите по вольтметру и запишите число делений шкалы, соответствующих потенциалам электродов.

$\varphi_I = \dots$ делений

$\varphi_{II} = \dots$ делений

7. Разделите величину разности потенциалов между электродами ($\varphi_{II} - \varphi_I$) на число n по указанию преподавателя ($n = 4, 5$ или 6). Запишите величину

$$\Delta\varphi \text{ (дел)} = \frac{(\varphi_{II} - \varphi_I)}{n} =$$

8. Перемещая зонд по бумаге и глядя на стрелку вольтметра, найдите точку с потенциалом $\varphi_1 = \varphi_I + \Delta\varphi$. Легким нажимом зонда отметьте положение точки, *не допуская прокола* электропроводящей бумаги.

9. Найдите соседние, на расстоянии 1-2 см точки с тем же потенциалом. Совокупность 10-15 точек позволит определить расположение эквипотенциальной поверхности, имеющей потенциал φ_1 .

Примечание. Необходимо использовать все доступное поле миллиметровой/электропроводной бумаги.

10. Вычислите значение потенциала на следующей эквипотенциали $\varphi_2 = \varphi_1 + 2\Delta\varphi$ (дел). Повторяя операции п. 8-10, найдите точки второй эквипотенциали.

12. Повторите п. 8-9 для построения эквипотенциалей $\varphi_3 = \varphi_1 + 3\Delta\varphi$ (дел) и т.д. $\varphi_{n-1} = \varphi_1 + (n-1)\Delta\varphi$.

13. Не извлекая бумагу, пригласите преподавателя для демонстрации проделанной работы. После разрешения преподавателя выключите источник питания, снимите электроды, извлеките миллиметровую бумагу.

14. Постройте *гладкие* эквипотенциальные линии по полученным точкам. Отметьте соответствующие им значения потенциала в делениях вольтметра и в вольтах. Покажите преподавателю.

Обработка результатов измерений

1. На полученной в эксперименте картине начертите силовые линии электрического поля, принимая во внимание

- а) силовые линии направлены в сторону уменьшения потенциала,
- б) каждое пересечение силовой линии с эквипотенциалью должно происходить под прямым углом,
- в) силовые линии не прерываются, начинаясь на одном заряженном теле, заканчиваются на другом.

2. По указанию преподавателя на картине поля начертите координатную ось OX , разметьте ее в сантиметрах.

3. Запишите в таблицу 2 значения координат точек пересечения оси OX с эквипотенциальными и соответствующие потенциалы в делениях, а также *координаты и потенциалы электродов*.

Таблица 2. Зависимость потенциала от координаты.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
φ , дел							
x , см							
φ_i , В							

4. Вычислите и занесите в таблицу № 2 значения φ_i в вольтах, используя данные спецификации приборов

$$\varphi(\text{В}) = \varphi(\text{дел}) \times (\text{цена деления}).$$

5. По данным таблицы 2 на отдельном листе миллиметровой бумаги постройте график зависимости $\varphi(x)$.

6. Вычислите усредненное значение E_x между каждой парой эквипотенциалей по формуле (12.8), используя таблицу № 3.

Таблица 3. Зависимость напряженности поля от координаты.

k	x_k , см	φ_k , В	$\Delta\varphi$, В	Δx , см	E_x , В/см
0					
1					
2					
3					
4					
⋮					
⋮					
n					

$$\Delta\varphi = \varphi_{k+1} - \varphi_k; \Delta x = x_{k+1} - x_k.$$

$k = 0$ соответствует одному электроду, $k = n - 1$ – другому.

7. Считая E_x постоянным в интервале координат $x_{k+1} - x_k$, постройте примерный график зависимости E_x от координаты точки поля по данным таблицы. График зависимости $E_x(x)$ расположите под графиком зависимости $\varphi(x)$ в том же масштабе по оси x (см. рис. 12.4).

8. Сделайте выводы о:

- характере изменения напряженности и потенциала электрического поля вдали и вблизи от заряженных тел;
- взаимосвязи густоты силовых линий и значений напряженности и потенциала электрического поля;
- наличии электрического поля в объеме проводников;
- рациональном выборе предела измерения, имеющегося многопредельного прибора.

Контрольные вопросы

1. Что такое электрическое поле? Какие характеристики электрического поля вы знаете?
2. Что такое силовые линии? Каковы их свойства?
3. Что такое эквипотенциальные поверхности? Как расположены эквипотенциальные поверхности по отношению к силовым линиям?
4. Что непосредственно измеряется в работе? С помощью каких измерительных приборов?
5. Что такое напряженность электрического поля? В каких единицах измеряется?
6. Что такое потенциал? В каких единицах измеряется?
7. Как, зная напряженность поля, найти силу, действующую на заряд?
8. Какими способами можно вычислить работу сил электрического поля по перемещению заряда q из одной точки поля в другую?
9. Доказать, что силовые линии перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.
10. Используя формулы для напряженности и потенциала, построить примерную картину силовых линий и эквипотенциалей для полей, созданных
 - а) точечным зарядом Q ,
 - б) зарядом Q , распределенным по сфере радиуса R ,
 - в) зарядом Q , распределенным по большой плоскости площадью S .
11. Что можно сказать о напряженности и потенциале внутри заряженного проводника? Дайте подробный ответ.

12. Измеренное напряжение составляет 0,15 В. Каким пределом вольтметра рационально воспользоваться? Оцените погрешность измерения.

Лабораторная работа № 13

Определение емкости конденсатора методом зарядки и разрядки

Литература

Грачев А.В. Физика: 10 класс: базовый уровень; профильный уровень: учебник для учащихся общеобразовательных учреждений М.: Вентана-Граф, 2011. § 70, 71

Цели работы

1. Изучение процесса разрядки конденсатора.
2. Определение емкостей конденсаторов.
3. Определение емкостей систем последовательного и параллельного соединения конденсаторов.

Теоретическое введение

Конденсатором называется система проводников (обкладок), разделенных диэлектриком. Обкладки заряженного конденсатора имеют

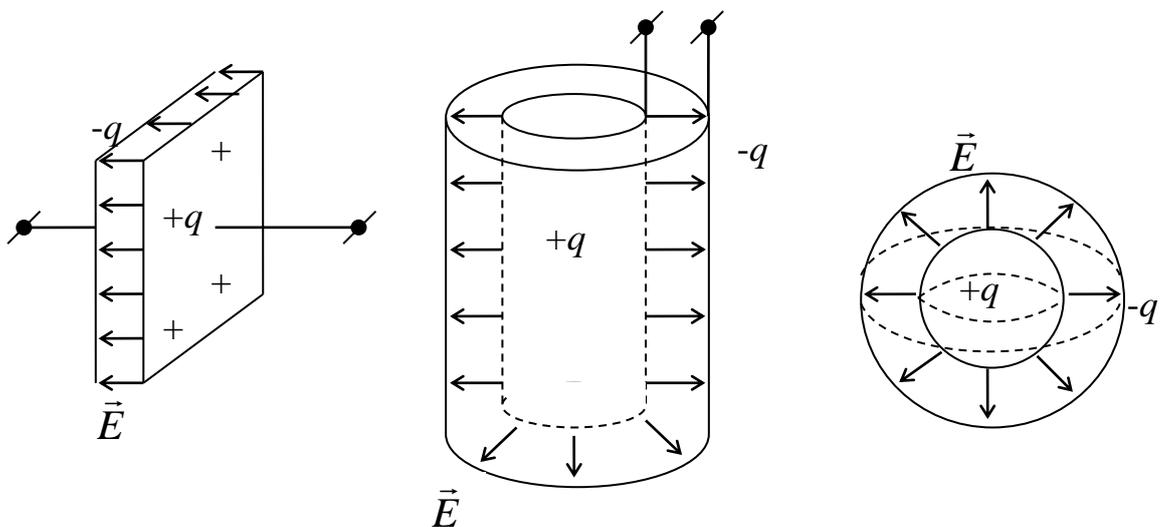


рис. 13.1

равные по величине и противоположные по знаку заряды $|q|$. Форма и размеры обкладок должны быть такими, чтобы электрическое поле было сосредоточено между ними. В зависимости от формы обкладок конденсатор может быть плоским, цилиндрическим, сферическим (рис. 13.1).

Емкостью конденсатора C называется коэффициент пропорциональности между зарядом обкладок q и разностью потенциалов между ними $|\varphi_1 - \varphi_2| = U$,

$$q = CU. \quad (13.1)$$

Это физическая величина, численно равная заряду, который надо сообщить обкладкам, чтобы разность потенциалов между ними увеличилась на 1 В.

$$C = \frac{|q|}{|\varphi_1 - \varphi_2|} = \frac{|q|}{U}. \quad (13.2)$$

Единица измерения емкости – фарад (Ф). Емкость не зависит ни от заряда, ни от разности потенциалов (при увеличении q пропорционально увеличивается U), а определяется формой и размерами обкладок и свойствами диэлектрика между ними.

Емкость плоского конденсатора рассчитывается по формуле

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}, \quad (13.3)$$

где S – площадь обкладок, d – расстояние между ними, ε – диэлектрическая проницаемость диэлектрика, заполняющего конденсатор, ε_0 – электрическая постоянная.

Конденсаторы можно соединять в батарею разными способами.

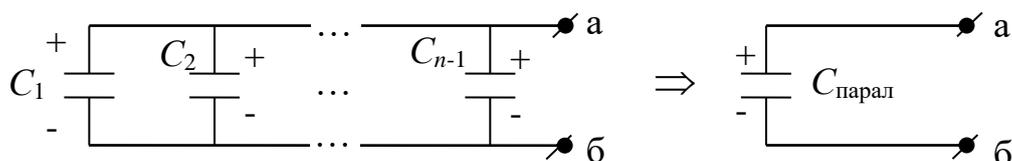


рис. 13.2

При параллельном соединении (рис. 13.2) эквивалентная емкость батареи

$$C_{\text{парал}} = \sum C_i. \quad (13.4)$$

При этом разность потенциалов на всех конденсаторах одинакова, а общий заряд равен сумме зарядов конденсаторов.

При последовательном соединении конденсаторов (рис. 13.3) емкость батареи определяется соотношением

$$\frac{1}{C_{\text{послед}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}. \quad (13.5)$$

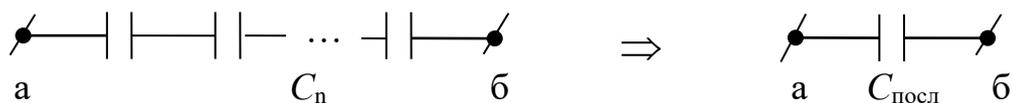


рис. 13.3

Заряды всех конденсаторов при этом одинаковы, а разность потенциалов на клеммах батареи $|\varphi_a - \varphi_b|$ равна сумме разностей потенциалов на каждом конденсаторе.

Для экспериментального определения емкости конденсатора (или батареи конденсаторов) надо зарядить его, измерить заряд q и разность потенциалов U ; по формуле (13.1) рассчитывается C .

Описание установки

Схема установки приведена на рис. 13.4.

Здесь C – исследуемый конденсатор, U – источник питания, Π – трехполюсный переключатель, R – резистор, V – цифровой датчик напряжения, A – цифровой датчик силы тока, ПК – компьютер с программой записи и обработки результатов измерений.

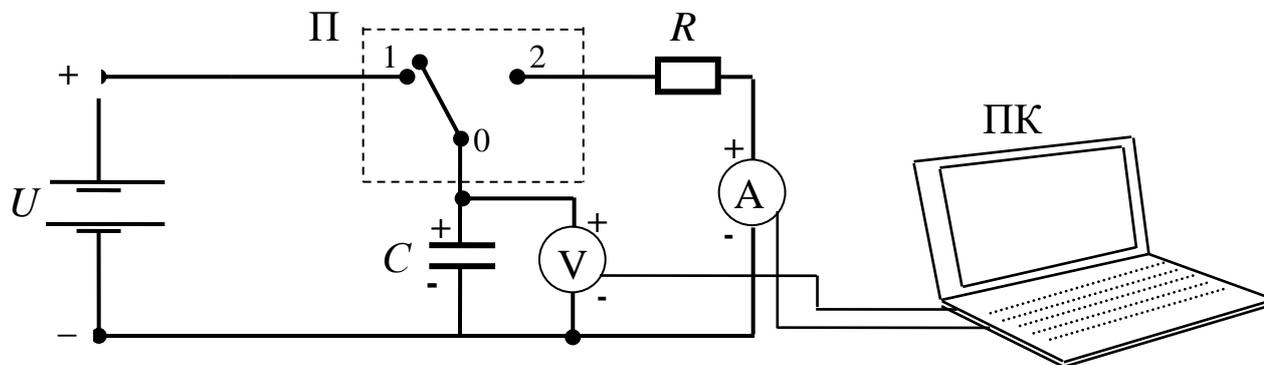


рис. 13.4

Когда переключатель П установлен в положение (1), конденсатор подключается к источнику питания. Происходит зарядка конденсатора до разности потенциалов U . Когда переключатель П переводится в положение (2), конденсатор отключается от источника питания и его обкладки соединяются друг с другом через резистор R . Под действием кулоновских сил заряд с одной обкладки конденсатора переходит на другую, при этом идет ток через цифровой датчик силы тока. Программа обработки на компьютере записывает показания датчиков и отображает графики изменения разности потенциалов и силы тока с течением времени.

При разрядке конденсатора сила тока разрядки постепенно уменьшается, графически его зависимость от времени показана на рис. 13.5.

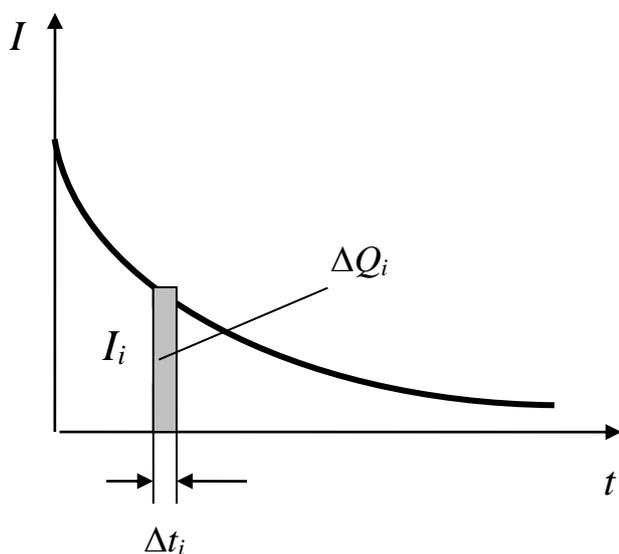


рис. 13.5

По определению сила тока равна заряду, прошедшему через сечение проводника за единицу времени. Тогда заряд ΔQ_i , прошедший за время Δt_i , определяется формулой

$$\Delta Q_i = I_i \cdot \Delta t_i,$$

что графически равно площади прямоугольника, заштрихованного на рис. 13.5. Весь заряд Q , который был на обкладках конденсатора до начала разрядки, равен площади криволинейной фигуры, ограниченной линией графика и осями координат.

Примечание. В установке используются конденсаторы электролитического типа. Они обладают рядом особенностей: большими значениями емкости при малых габаритах. Другое свойство подобных конденсаторов заключается в том, что одна из его обкладок (помечена знаком «+») может накапливать только заряды положительного знака, а вторая обкладка (помечена знаком «-») может накапливать только заряды отрицательного знака. Это строго определяет полярность включения таких конденсаторов в электрическую цепь.

Порядок выполнения работы

1. Визуально ознакомьтесь с установкой, заполните таблицу спецификации измерительных приборов.

Таблица № 1. Спецификация измерительных приборов.

№ п.п.	Наименование прибора	Предел измерения	Цена деления	Приборная погрешность
1.	Датчик напряжения	6 В	3,1 мВ	1 %
	Датчик силы тока	0,6 А	0,31 мА	1 %

Рабочее напряжение $U = 5,0$ В

2. Соберите схему, изображенную на рис. 13.4, подключив конденсатор емкостью C_1 .

Примечание: следите за соблюдением полярности подключения всех элементов!

3. Включите компьютер, откройте программу Logger Pro. В рабочем окне программы отобразятся две координатные плоскости для построения зависимости показания датчиков силы тока и напряжения от времени, таблица для числового представления измеренных значений и индикаторы текущих значений силы тока и разности потенциалов.

4. В меню выберите Эксперимент\Сбор данных, в появившемся диалоговом окне установите параметры **Длина: 10 секунд, Частота выборки: 200 выборки/секунду.**

5. После проверки схемы соединения преподавателем или лаборантом включите источник питания, с помощью регулятора установите значение напряжения равное **5 В.**

6. Установите переключатель П в положение 1 для зарядки конденсатора.

7. На экране компьютера нажмите кнопку  **Сбор данных.**

8. Переведите переключатель П в положение 2.

9. Наблюдайте резкое возрастание силы тока в цепи с последующим его уменьшением по закономерности, подобной показанной на рис. 13.5.

10. По окончании разрядки конденсатора (показания вольтметра и амперметра станут практически равными нулю) нажмите кнопку  **Стоп.**

11. Курсором на экране с помощью мыши выделите часть графика зависимости силы тока от времени, содержащую измеренные значения тока разрядки.

12. Нажмите кнопку  **Приблизить**.

13. Установите нижний предел на оси силы тока равный 0. Для этого на графике зависимости силы тока от времени нажмите левой кнопкой мыши на нижнее числовое значение, указанное на оси силы тока. В появившемся поле ввода впишите 0.

14. Пользуясь *табличным* представлением значений, измеренных цифровыми датчиками, определите *максимальное* значение силы тока в процессе разрядки конденсатора.

16. Аналогично п. 13 установите верхний предел на оси силы тока, соответствующий максимальному значению. Масштаб и вид графика на дисплее изменятся.

17. На графике в полученном масштабе выделите уточненный интервал времени, ограничивающий моменты начала разрядки конденсатора и достижения силой тока значений практически равных нулю.

18. Нажмите кнопку  **Интеграл**. Программа вычислит площадь под выбранной частью графика. Эта площадь равна полному заряду, протекшему через датчик тока в процессе разрядки конденсатора.

19. Запишите полученное значение заряда конденсатора в соответствующую ячейку таблицы 2.

Таблица № 2. Измерение заряда, накопленного в конденсаторе.

№ п.п.	C_1		C_2	
	q_{1i} , мКл	$ q_{1cp} - q_{1i} $, мКл	q_{2i} , мКл	$ q_{2cp} - q_{2i} $, мКл
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
среднее				

$$q_{\text{прл}} = \quad \text{мКл}$$

$$q_{\text{посл}} = \quad \text{мКл}$$

20. Закройте окно вывода результата интегрирования.

21. Повторите пп. 6 – 20 еще 4 раза.

22. Замените в схеме конденсатор емкостью C_1 на конденсатор емкостью C_2 .

23. Выполните измерения заряда конденсатора согласно пп. 6 – 20 5 раз, записывая результаты в соответствующий столбец таблицы 2.

24. Соедините конденсаторы C_1 и C_2 **параллельно, соблюдая полярность**. После проверки схемы соединения преподавателем или лаборантом произведите однократное измерение заряда батареи конденсаторов согласно пп. 6 – 20.

25. Соедините конденсаторы C_1 и C_2 **последовательно, соблюдая полярность**. После проверки схемы соединения преподавателем или лаборантом произведите однократное измерение заряда батареи конденсаторов согласно пп. 6 – 20.

***Дополнительное задание 1.** Изучение зависимости заряда конденсатора от разности потенциалов.

Выполните измерения заряда одного из конденсаторов (по указанию преподавателя) согласно пп. 6 – 20 для пяти различных значений рабочего напряжения: 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 В. Запишите полученные значения заряда конденсатора q_3 в соответствующий столбец таблицы 3.

Таблица № 3. Изучение зависимости заряда конденсатора от разности потенциалов.

№ п.п.	U , В	q_{3i} , мКл	C_{3i} , мФ
1.	4,0		
2.	4,5		
3.	5,0		
4.	5,5		
5.	6,0		
средн.			

***Дополнительное задание 2.** Изучение зависимости напряжения и тока разрядки конденсатора от времени

1. В табличном представлении измеренных значений по указанию преподавателя выберите временной интервал проведения измерений, включающий процесс разрядки конденсатора.

2. Запишите выбранные значения в таблицу 4.

Таблица № 4. Зависимость тока разрядки и разности потенциалов на конденсаторе от времени

№ п.п.	t, c	I, A	U, B
1.			
2.			
3.			
...			
10.			

Обработка результатов измерений

1. По данным таблицы № 2 вычислите средние значения зарядов конденсаторов.

2. Используя формулу (13.2), рассчитайте емкости конденсаторов C_1 и C_2 по средним значениям их заряда и значению разности потенциалов.

3. По данным п.п. 21 и 22 рассчитайте значение емкостей параллельного и последовательного соединения конденсаторов $C_{\text{прл эксперим}}$ и $C_{\text{псл эксперим}}$.

5. Вычислите *случайные* погрешности прямых измерений для величин q_1 и q_2 , записывая их в соответствующие ячейки последней строки таблицы № 2.

6. Вычислите приборные погрешности измерения величин q_1 и q_2 . Приборную погрешность измерения заряда можно принять равной приборной погрешности датчика силы тока. Тогда будут справедливы следующие формулы

$$\Delta q_{1 \text{ пр}} = q_1 \cdot 0,01; \quad \Delta q_{2 \text{ пр}} = q_2 \cdot 0,01.$$

7. Вычислите *полные* погрешности прямых измерений для величин q_1 и q_2 по формуле $\Delta q = \Delta q_{\text{пр}} + \Delta q_{\text{сл}}$.

8. Вычислите полные погрешности измерения величин $q_{\text{прл}}$ и $q_{\text{псл}}$ по формулам

$$\Delta q_{\text{прл пр}} = q_{\text{прл}} \cdot 0,01; \quad \Delta q_{\text{псл пр}} = q_{\text{псл}} \cdot 0,01.$$

9. Вычислите относительные погрешности измерения величин q_1 , q_2 , $q_{\text{прл}}$, $q_{\text{псл}}$.

10. Вычислите погрешности измерения емкостей C_1 , C_2 , $C_{\text{прл эксперим}}$, $C_{\text{псл эксперим}}$ по формулам

$$\delta C = \delta q + \delta U, \quad \Delta C = C \cdot \delta C.$$

11. Запишите результаты измерений емкостей C_1 , C_2 , $C_{\text{прл экспер}}$, $C_{\text{посл экспер}}$ в виде доверительного интервала.

$$C = (C_{\text{ср}} \pm \Delta C) \text{ (единицы измерения)}$$

12. Вычислите теоретические значения $C_{\text{прл}}$, $C_{\text{посл}}$ по формулам (13.4) и (13.5) и сравните их с полученными в эксперименте.

13. Сделайте выводы о:

- характере изменения напряжения и силы тока при разрядке конденсатора, дайте объяснение;
- применимости формул вычисления эквивалентной емкости батареи конденсаторов при их последовательном и параллельном соединении.

*Дополнительное задание 1. Изучение зависимости заряда конденсатора от разности потенциалов.

14. Используя формулу (13.2), по данным таблицы 3, рассчитайте значения емкости конденсатора C_{3i} , запишите полученные значения в соответствующий столбец таблицы 3.

15. Рассчитайте среднее значение $C_{3\text{ср}}$. Запишите его в соответствующую ячейку таблицы 3.

16. По данным таблицы 3 на миллиметровой бумаге постройте график зависимости заряда конденсатора от его разности потенциалов $q(U)$.

17. Сделайте выводы о:

- зависимости *заряда* конденсатора от разности потенциалов на его обкладках;
- зависимости *емкости* конденсатора от разности потенциалов на его обкладках.

*Дополнительное задание 2. Изучение зависимости тока разрядки конденсатора от времени

По данным таблицы 4 на миллиметровой бумаге постройте график зависимости тока разрядки конденсатора от времени.

Контрольные вопросы

1. Какова цель работы?
2. Что такое конденсатор?
3. Что такое емкость конденсатора?
4. В каких единицах измеряется электроемкость?
5. Какие величины измеряются в работе непосредственно, в ходе прямых измерений?
6. От чего зависит электроемкость конденсатора?
7. Вывести формулу емкости плоского конденсатора.
8. Вывести формулу параллельного соединения конденсаторов.
9. Вывести формулу последовательного соединения конденсаторов.
10. Почему зависимость заряда конденсатора от разности потенциалов носит линейный характер?
11. Почему зависимость тока разрядки конденсатора от времени носит нелинейный характер?

Приложение

Инструкция по созданию файла LabRab7.mlp, содержащего необходимые параметры эксперимента для проведения лабораторной работы № 7

1. Включите Портативный компьютер Nova нажатием кнопки на его передней панели.

2. Запустите программу MultiLab, выбрав стилусом меню **Пуск → Программы → Наука → MultiLab**.

3. Выберите стилусом пункт меню **Регистратор → Настройка**; на закладке **Частота** установите значение частоты **25 замеров в секунду**; на закладке **Замеры** установите количество замеров **200**.

4. Выберите пункт меню **Регистратор → Свойства**; установите следующие значения параметров:

Положительная разность: Расстояние (Удаление),

Положительное направление силы: Сила, Растяжение +

5. Выберите пункт меню **Регистратор → Настройка**

а) нажмите кнопку **Свойства** у датчика расстояния. В появившемся окне отключите опцию **Автомасштаб**, установите минимальное значение равным 0.6 м, максимальное значение равным +1.3 м;

б) нажмите кнопку **Свойства** у датчика силы. В появившемся окне отключите опцию **Автомасштаб**, установите минимальное значение равным +1.3 Н, максимальное значение равным +4.5 Н.

Примечание: в качестве разделителя целой и дробной части чисел необходимо использовать символ ".".

6. Выберите пункт меню **Файл → Сохранить**, сохраните текущий эксперимент под именем **LabRab7.mlp**.

Ирина Владимировна Воинкова
Юлия Эдуардовна Зуковская
Алла Яковлевна Казанская
Кирилл Игоревич Кузнецов
Михаил Владимирович Лукашевский
Сергей Александрович Щеглов

Редактор Казанская А.Я.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ
для учащихся 10 классов лицея № 1502 при МЭИ. Часть II.

Тематический план 2012 г.

Отпечатано в типографии лицея