

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,  
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ТАРАСА ШЕВЧЕНКО»

## **ФРОНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

*Методическое пособие к практике  
по школьному физическому эксперименту  
для студентов V курса специальности 7.040203 «Физика»*

Луганск  
ГУ «ЛНУ имени Тараса Шевченко»  
2012

УДК – [373.5.016 : 53] (076)  
ББК – 74.262.23 - 215 р 3  
Ф–91

**Р е ц е н з е н т ы:**

- Тарасенко С. В.** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом теории магнетизма и фазовых переходов Донецкого физико-технического института им. А.А. Галкина.
- Левченко Г. Г.** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом фазовых превращений Донецкого физико-технического института им. А.А. Галкина.
- Савченко С. В.** – доктор педагогических наук, професор, ректор ГУ «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко».

**Фронтальные** лабораторные работы : методическое пособие к  
**Ф–91** практике по школьному физическому эксперименту / составители : Т. В. Краснякова, Е. Г. Чернобай, И. В. Жихарев ; – Луганск : Изд-во ГУ «ЛНУ имени Тараса Шевченко», 2012. – 68 с.

В пособии представлены рекомендации по методическому обеспечению работ практикума по ШФЭ, включающие лабораторные работы по физике 10 и 11 классов (академический уровень) и приложения. Каждая работа содержит краткие теоретические сведения, детальное описание последовательности выполнения, снабженное расчетными формулами и методами оценки правильности полученных результатов.

Предназначено для студентов специальности «Физика» ВУЗов, а также будет полезным для преподавателей физики лицеев, гимназий, учителей общеобразовательных школ.

УДК – [373.5.016 : 53] (076)  
ББК – 74.262.23 - 215 р 3

*Рекомендовано к печати учебно-методическим советом  
Луганского национального университета имени Тараса Шевченко  
(протокол № 7 от 15 февраля 2012 года)*

© Краснякова Т.В., Чернобай Е.Г., Жихарев И.В., 2012  
© ГУ «ЛНУ имени тараса Шевченко», 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	5
РАЗДЕЛ 1. 10 класс.....	9
Лабораторная работа № 1 «Определение ускорения тела при равноускоренном движении» .....	9
Лабораторная работа № 2 «Исследование движения тела по окружности» .....	11
Лабораторная работа № 3 «Измерение сил».....	13
Лабораторная работа № 4 «Измерение коэффициента жесткости упругого тела».....	15
Лабораторная работа № 5 «Измерение коэффициента трения скольжения».....	17
Лабораторная работа № 6 «Изучение равновесия тел под действием нескольких сил».....	20
Лабораторная работа № 7 «Исследование упругого удара двух тел».....	22
Лабораторная работа № 7* «Исследование упругого удара двух тел».....	25
Лабораторная работа № 8 «Изготовление маятника и определение периода его колебаний».....	28
Лабораторная работа № 8* «Изготовление маятника и определение периода его колебаний».....	31
Лабораторная работа № 9 «Исследование одного из изопроцессов».....	33
Лабораторная работа № 9* «Исследование одного из изопроцессов».....	35
Лабораторная работа № 10 «Измерение относительной влажности воздуха».....	37
РАЗДЕЛ 1. 11 класс.....	39
Лабораторная работа № 11 «Изучение взаимодействия заряженных тел».....	39
Лабораторная работа № 12 «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока».....	42
Лабораторная работа № 13 «Исследование электрической цепи с полупроводниковым диодом».....	45
Лабораторная работа № 14 «Исследование магнитных свойств вещества».....	47
Лабораторная работа № 15 «Изучение явления электромагнитной индукции».....	49
Лабораторная работа № 16 «Наблюдение интерференции света».....	52
Лабораторная работа № 17 «Наблюдение дифракции света».....	54
Лабораторная работа № 18 «Наблюдение сплошного и линейчатого спектров вещества».....	56
Лабораторная работа № 19 «Изучение треков заряженных частиц по фотографиям».....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	65
ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	66
ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ.....	67
АННОТАЦИИ.....	68

## ВВЕДЕНИЕ

Практика по школьному физическому эксперименту (ШФЭ) является важной составляющей подготовки студентов специальности «Физика» в рамках образовательно-квалификационного уровня «специалист», поскольку именно на этом уровне студенты получают специализацию учителя физики с правом преподавания в старших классах.

Целью курса является повышение теоретического и практического уровней подготовки студентов по методике проведения фронтальных лабораторных работ школьного курса физики.

В рамках поставленной цели курс решает следующие задачи:

- усовершенствовать навыки практической работы со школьным лабораторным оборудованием в условиях перехода школы на новую учебную программу, а также с учетом отсутствия обновления парка лабораторного оборудования школьного физического кабинета;
- выработать умение обучать учащихся выполнению лабораторного эксперимента, которое является необходимым и существенным элементом профессиональной подготовки учителей физики.

Данное пособие состоит из кратких рекомендаций по методическому обеспечению работ практикума по ШФЭ и двух разделов, включающих лабораторные работы по физике 10 и 11 классов средней общеобразовательной школы (академический уровень) и приложений. Каждая работа содержит краткие теоретические сведения, детальное описание с алгоритмом выполнения, снабженным расчетными формулами и методами оценки правильности полученных результатов. Последнему вопросу уделяется большое внимание, поскольку именно в старших классах учащиеся уже в состоянии критически относиться к экспериментальным данным, а именно: сравнивать результаты, полученные разными способами, оценивать их достоверность и точность. Для ряда тем предложены разные способы выполнения эксперимента, кроме того некоторые работы предложены в двух вариантах, что позволяет планировать эксперимент в зависимости от степени оснащения оборудованием кабинета физики и уровня подготовки учащихся. Предложенные контрольные вопросы позволяют более глубоко проверить знания, а дополнительные задания дают возможность учащимся творчески применять приобретенные навыки на практике. В приложениях приведены критерии, позволяющие выработать единую методику оценивания выполненных работ, правила техники безопасности при проведении лабораторных занятий в школьном физическом кабинете, общие сведения из теории погрешностей, характеристики измерительных приборов.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Современный уровень преподавания физики в школе не мыслим без использования учебного физического эксперимента (УФЭ). Анализируя историческое развитие школьного физического эксперимента и современный его уровень, можно с уверенностью констатировать, что к УФЭ ставится целый комплекс требований, который предусматривает безопасное его использование, качественное восприятие и эффективное выполнение в процессе обучения.

Исходя из специфики выполнения экспериментов при обучении физики учителем и учениками и целям урока, выделяют следующие виды ШФЭ, а именно:

- 1) демонстрационный эксперимент;
- 2) фронтальные лабораторные работы;
- 3) физический практикум;
- 4) самостоятельные наблюдения и домашние опыты;
- 5) экспериментальные задачи.

Демонстрационному эксперименту отводят главенствующую роль именно на первом этапе ознакомления учащихся с основами физики и на начальном уровне формирования экспериментаторских умений (первая ступень обучения физики). Демонстрационные опыты классифицируют на:

- феноменологические (иллюстрация явления, объекта);
- функциональные (для определения физических величин, соотношений между ними и их закономерностей);
- технические (строение и принцип действия устройств);
- модельные (модель явления, изучение объекта).

Фронтальные лабораторные работы предусматривают активизацию самостоятельной учебно-поисковой деятельности учеников и использование персональных компьютеров, что приводит к быстрому и качественному выполнению расчетов, позволяет обобщать полученные результаты и формулировать выводы.

Физический практикум позволяет повторить ранее изученный материал, углубляя и расширяя полученные знания; развивает умения и навыки использования более сложных устройств и установок; развивает самостоятельность в проведении лабораторных исследований.

Для этого вида эксперимента присущи следующие особенности:

а) физический практикум всегда проводится после изучения больших разделов курса физики или в конце года;

б) в физический практикум включают сложные работы, чем во время проведения фронтальных лабораторных работ, оборудование к которым ограничено в количестве, что приводит к разделению класса учащихся на группы;

в) средством управления учебной деятельностью учащихся во время физического практикума выступает инструкция, которая является алгоритмом

действий учеников при выполнении опытов, описание лабораторного оборудования, указания к содержанию и последовательности выполнения работы и контрольные вопросы, дополнительные задания.

Самостоятельные наблюдения и опыты в домашних условиях являются дополнением к вышеперечисленным видам ШФЭ, которые выполняются учениками на уроках в классе.

Особенности самостоятельных наблюдений:

- а) позволяют расширить связи между теорией и практикой;
- б) развивают интерес к физике;
- в) зарождают творческую мысль и развивают способности изобретательности;
- г) приобщают учеников к самостоятельной экспериментальной работе;
- д) дополняют демонстрационный эксперимент и фронтальные лабораторные работы;
- е) приучают учащихся к самостоятельному экспериментированию.

При выполнении самостоятельных опытов необходимо придерживаться следующих дидактических требований, а именно:

1. Домашние опыты по средствам выполнения должны быть доступными и возможными в выполнении и иметь обобщающий характер.

2. Задания должны предусматривать индивидуальный подход при выполнении и соответствовать принципу последовательности, а также вызывать интерес учеников.

3. Не должны копировать опыты учителя, фронтальные лабораторные работы и работы физического практикума, а дополнять и развивать их.

4. Должны предусматривать знакомство учащихся с новыми методами экспериментирования в физике.

5. Оборудование для выполнения домашних опытов должно быть простым и доступным для использования.

Усиление экспериментальной самостоятельной работы учащихся при обучении физики предусмотрено использованием экспериментальных задач, которые подразделяются на те, в которых:

1. без выполнения эксперимента невозможно получить ответ на поставленное задание;

2. эксперимент необходим для выявления проблемной ситуации и формулирования вопроса;

3. эксперимент иллюстрирует физическое явление;

4. решение предусматривает проверку полученных результатов за счет эксперимента.

Физика является наукой, в которой эксперимент является методом и средством обучения, поэтому немаловажно при обучении физики само оборудование и оснащение современного кабинета физики, которое всегда необходимо рассматривать в тесной взаимосвязи с содержанием, организационными формами и методами обучения физики и дидактическими требованиями.

К учебному оборудованию выдвигают следующие требования:

- соответствие современному научному и техническому уровню;
- простота в конструкции и надежность в эксплуатации;
- соответствие требованиям техники безопасности и гигиены труда.

Отмеченные требования присущи для приборов всех видов ШФЭ.

Требования, предъявляемые к демонстрационным приборам:

- четкость наблюдения со всех мест классного кабинета;
- большие размеры оборудования; наличие шкал у измерительных приборов,
- стрелки, указатели должны быть хорошо видными;

Требования к оборудованию для фронтальных занятий предусматривают, что эти приборы предназначены для самостоятельных индивидуальных опытов и наблюдений учащимися, а, следовательно, должны быть небольших размеров, крепкими, простыми в использовании и в достаточном количестве. Класс точности таких приборов составляет 2,5.

Лабораторные работы по физике проводятся с целью ознакомления учащихся с основными физическими явлениями и законами. Они позволяют глубоко изучить методы измерения физических величин и получить практические навыки обращения с приборами.

В ходе учебного процесса лабораторные работы могут проводиться либо до, либо после изучения рассматриваемой в работе темы. При выполнении работы до подачи соответствующего материала, учащиеся сами устанавливают закономерности протекания процессов и явлений, а в их деятельности есть исследовательские элементы. В этом случае при подготовке следует уделить внимание усвоению физических фактов, лежащих в основе рассматриваемой темы. Для закрепления изученного материала работы проводятся после его теоретического изучения и деятельность учащихся в большей мере репродуктивна. Теоретической подготовкой к выполнению здесь является рассмотрение ряда изученных вопросов, и решение задач из соответствующего раздела курса физики.

Вне зависимости от целевого назначения лабораторной работы для успешного ее выполнения учащиеся должны быть предварительно ознакомлены с правилами эксплуатации приборов, способами снятия с них показаний. При этом необходимо обратить внимание на возможные ошибки при измерениях. Именно в этой связи основной целью некоторых работ курса является приобретение навыков работы с лабораторным оборудованием, необходимым в дальнейшем для проверки закономерностей протекания физических процессов или установления зависимостей между физическими величинами.

Перед проведением лабораторной работы необходимо изучить материал, лежащий в основе работы, уяснить цели и место конкретной работы в процессе изложения учебного материала, осмыслить порядок и особенности ее выполнения, критически проанализировать существующие учебные и методические пособия. Для каждой работы подбирается комплект

лабораторного оборудования из перечня типового оборудования школьного кабинета физики или несложных подручных средств и материалов.

После выполнения работы разрабатывается методика ее проведения в школьных условиях. Конспект урока разрабатывается по стандартной схеме, включающей структуру урока с описание деятельности учителя и учащихся с указанием времени на отдельные элементы урока, а именно:

- актуализацию опорных знаний;
- ознакомление учащихся с экспериментальной установкой, правилами работы с ней, методикой проведения измерений и обработки экспериментальных данных;
- непосредственное выполнение работы;
- обобщение и осмысление результатов эксперимента, оценку их правильности;
- выполнение дополнительного задания творческого характера.

При этом следует учесть возможность оснащения каждого из учащихся комплектом лабораторного оборудования. Если это невозможно, необходимо предложить и обосновать варианты совместной деятельности учащихся в рамках группы, на которую рассчитан комплект оборудования (или элементы деятельности одних учащихся группы в то время, когда другие заняты непосредственно выполнением эксперимента).

Особое внимание отводится оценке достоверности полученных результатов. Следует оценить полученные погрешности и обосновать причины:

- расхождения в результатах, полученных различными способами, если таковые имеются,
- отличия значений вычисленных величин от табличных,
- отклонения от соблюдения изученных закономерностей или фундаментальных законов природы.

Эти моменты следует отразить в выводе. Кроме того, вывод обязательно должен содержать тот новый элемент знаний, который получен в работе.

Завершается конспект разработкой критериев оценивания в соответствии с ориентировочной схемой, приведенной в приложении.



## РАЗДЕЛ 1. 10 КЛАСС

### Лабораторная работа № 1

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ ТЕЛА ПРИ РАВНОУСКОРЕННОМ ДВИЖЕНИИ

**Цель:** измерить ускорение шарика, скатывающегося вдоль наклонного желоба.

**Оборудование и материалы:** шарик, желоб, штатив с муфтой и лапкой, линейка (измерительная лента), секундомер (часы с секундной стрелкой), металлический цилиндр.

#### Краткие теоретические сведения

Равноускоренным называется движение, при котором тело за любые равные промежутки времени изменяет свою скорость на одну и ту же величину.

Быстроту изменения скорости характеризует ускорение. При прямолинейном равноускоренном движении модуль ускорения

$$a = \frac{v - v_0}{t}, \quad (1)$$

где  $t$  – промежуток времени, в течение которого скорость тела меняется от  $v_0$  до  $v$ . В таком случае модуль перемещение

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (2)$$

При отсутствии начальной скорости ( $v_0 = 0$ )

$$s = \frac{at^2}{2}, \quad (3)$$

откуда

$$a = \frac{2s}{t^2}. \quad (4)$$

#### Порядок выполнения работы

1. Закрепите один из концов желоба при помощи штатива с муфтой и лапкой на некоторой высоте над поверхностью стола так, чтобы желоб составлял небольшой угол с горизонтом. У другого конца поместите металлический цилиндр (рис. 1.1).

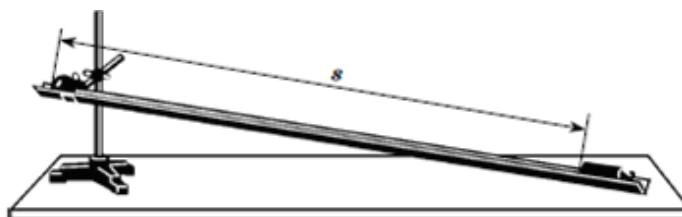


Рис. 1.1

2. Расположите шарик у верхнего конца желоба. В момент запуска секундомера отпустите шарик и определите время  $t$  его движения до удара о цилиндр.

3. Измерьте перемещение  $s$  шарика.

4. Рассчитайте ускорение  $a$  шарика по формуле (4). Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

$N$ опыта	$t, c$	$s, m$	$a, m/c^2$	$a_{cp}, m/c^2$	$\varepsilon$	$\varepsilon_{cp}$	$\Delta a_{cp}, m/c^2$

5. Повторите п.п. 2-4 дважды. Найдите среднее арифметическое значение ускорения  $a_{cp}$ .

6. Рассчитайте относительную погрешность измерения по формуле  $\varepsilon = 2 \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta s}{s}$ , где  $\Delta t$  – абсолютная погрешность измерения времени,  $\Delta s$  – абсолютная погрешность измерения перемещения (Приложение 3). Найдите ее среднее значение.

7. Рассчитайте среднюю абсолютную погрешность измерения  $\Delta a_{cp} = \varepsilon \cdot a_{cp}$ .

8. Запишите результат в стандартном виде  $a = a_{cp} \pm \Delta a_{cp}$ .

9. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы

1. Зависит ли ускорение от угла наклона желоба?
2. По данным работы рассчитайте скорость шарика в конце пути. Постройте графики зависимости от времени скорости, ускорения и перемещения шарика.

### Дополнительное задание

Не меняя угла наклона, переместите металлический цилиндр примерно на середину желоба. Определите ускорение шарика. Сделайте выводы.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА ПО ОКРУЖНОСТИ

**Цель:** определить период, частоту и ускорение при равномерном движении тела по окружности.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой и лапкой, шарик, подвешенный на нити, линейка (измерительная лента), секундомер (часы с секундной стрелкой).

### Краткие теоретические сведения

Равномерное движение по окружности является частным случаем периодического движения, при котором движение точно или приблизительно повторяется через одинаковые интервалы времени. Период обращения тела по окружности есть промежуток времени, за который тело совершает один полный оборот. Зная время  $t$  нескольких оборотов  $N$  можно найти период обращения тела

$$T = \frac{t}{N}. \quad (1)$$

Частота обращения  $\nu$  – величина, обратная периоду, которая определяет число оборотов тела в единицу времени

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (2)$$

Равномерное движение по окружности – движение с ускорением, называемым центростремительным

$$a = \frac{v^2}{R}, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость движения тела.

Если известны радиус окружности  $R$ , по которой движется тело, и период  $T$  его обращения, то центростремительное ускорение

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}. \quad (4)$$

С учетом формулы (1), получим

$$a = \frac{4\pi^2 N^2 R}{t^2}. \quad (5)$$

### Порядок выполнения работы

1. При помощи штатива с муфтой и лапкой закрепите шарик с нитью так, чтобы он мог совершать вращательное движение в горизонтальной плоскости вдоль окружности радиусом  $R = 10-15$  см.

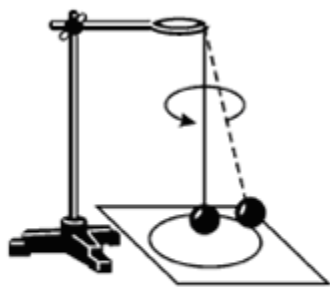


Рис. 2.1

2. На листе бумаги начертите окружность выбранного вами радиуса  $R$ .

3. Приведите шарик во вращение вдоль нарисованной окружности (рис. 2.1).

4. В некоторый момент времени, принятый за начало отсчета времени, включите секундомер и зафиксируйте время  $t$ , за которое совершается  $N$  оборотов шарика. Отметим, что количество оборотов должно быть не менее 20. Результаты измерений занесите в таблицу.

5. Рассчитайте значения периода, частоты и центростремительного ускорения по формулам (1), (2) и (5). Результаты вычислений занесите в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

$N$	$t, c$	$T, c$	$\nu, Гц$	$R, м$	$a, м/с^2$	$a_{cp}, м/с^2$	$\varepsilon$	$\varepsilon_{cp}$	$\Delta a_{cp}, м/с^2$

6. Повторите п.п. 3-5 дважды при таком же количестве  $N$  оборотов шарика. Найдите среднее арифметическое значение ускорения  $a_{cp}$ .

7. Рассчитайте относительную погрешность измерений по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R} + 2 \frac{\Delta t}{t}.$$

Найдите ее среднее значение.

8. Рассчитайте среднюю абсолютную погрешность  $\Delta a_{cp} = \varepsilon \cdot a_{cp}$ .

9. Запишите результат в стандартном виде  $a = a_{cp} \pm \Delta a_{cp}$ .

10. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы

1. Какова взаимная ориентация векторов скорости и ускорения при движении по окружности? Меняется ли их направление в пространстве с течением времени?

2. Как соотносятся периоды обращения, частоты и центростремительные ускорения для концов минутной и секундной стрелок при равенстве их длин?

### Дополнительное задание

Выясните, зависят ли период, частота оборотов шарика и его ускорение от длины нити.

## ИЗМЕРЕНИЕ СИЛ

**Цель:** изготовить прибор для измерения сил, научиться его применять и оценивать полученные результаты.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой и лапкой, резиновый шнур или пружина, набор грузов по 1 Н, линейка.

### Краткие теоретические сведения

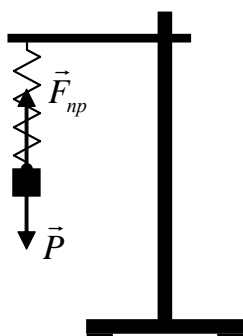


Рис. 3.1

На тело, прикрепленное к пружине, действуют сила тяжести  $F_T$  и сила упругости  $F_{упр}$ . Согласно первому закону Ньютона, тело находится в состоянии покоя, если сумма всех действующих на него сил равна нулю, т.е.

$$\vec{F}_{упр} + \vec{F}_T = 0. \quad (1)$$

Для деформированной пружины условие равновесия (рис. 3.1)

$$\vec{F}_{упр} + \vec{P} = 0. \quad (2)$$

*Динамометр* — прибор для измерения сил.

Любое измерение осуществляется с погрешностью, которая складывается из погрешности измерительного прибора  $\Delta_{нр}$  и погрешности отсчета  $\Delta_{отсч}$ . Погрешность измерительного прибора (если не указано иное) считается равной половине цены деления шкалы (Приложение 3). Такое же значение берется и для погрешности отсчета

$$\Delta = \Delta_{нр} + \Delta_{отсч}.$$

Абсолютная погрешность показывает диапазон, в котором находится допустимое значение измеряемой величины  $P$ : если абсолютная погрешность  $\Delta P$ , то диапазон измеряемой величины лежит в пределах от  $P - \Delta P$  до  $P + \Delta P$ .

Относительная погрешность измерения

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100\% \quad (3)$$

выражается отношением абсолютной погрешности  $\Delta P$  к измеренному значению величины  $P$ .

### Порядок выполнения работы

1. Закрепите пружину или резиновый шнур на штативе при помощи лапки с муфтой. Рядом закрепите линейку с заклеенной бумажной полоской шкалой. Зафиксируйте положение нижнего конца пружины (указателя шнура). Поставьте против него нулевую отметку на бумаге (рис. 3.2).



Рис. 3.2



Рис. 3.3

2. Подвесьте к пружине (шнуру) грузик в 1 Н. Против нижнего конца пружины (указателя шнура) поставьте отметку 1 Н на бумаге (рис. 3.3).

3. Повторите действия п.2 с грузами в 2 Н, 3 Н, 4 Н.

4. Разбейте промежутки в 1 Н на десять делений. Определите цену деления полученного динамометра.

5. Подвесьте к пружине (шнуру) по очереди несколько тел. Определите вес каждого из них. Результаты измерений занесите в таблицу 3.1.

6. Определите абсолютную погрешность динамометром  $\Delta P$  (приложения 2, 3).

7. Рассчитайте относительные погрешности измерений по формуле (1).

8. Запишите результаты в стандартном виде  $P = P \pm \Delta P$ .

Таблица 3.1

<i>N</i> <i>опыта</i>	<i>P, Н</i>	$\Delta P, Н$	$\varepsilon, \%$

9. Проанализируйте полученные результаты. Сделайте выводы о наиболее точно проведенном измерении (измерении с наименьшей относительной погрешностью).

### Контрольные вопросы

1. Будет ли зависеть точность измерения от веса тела?
2. Какие приборы для измерения сил применяются в быту и технике?
3. На основании измерений сил динамометром можно определить массу подвешенного тела. Какие другие способы измерения масс вы знаете?

### Дополнительное задание

Как измерить вес тела, больший, чем предел измерений динамометра?

## ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ УПРУГОГО ТЕЛА

**Цель:** научиться определять коэффициент жесткости разных тел.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой и лапкой, пружина, резиновый шнур, набор грузов по 1 Н, линейка.

### Краткие теоретические сведения

Деформацией тела называется изменение формы и размеров тела под действием внешней силы. Различают упругие и неупругие деформации.

При деформации тела возникает сила упругости, направленная в сторону, противоположную перемещению частиц при деформации. Для упругих деформаций согласно закону Гука, сила упругости пропорциональна удлинению тела. Модуль силы упругости

$$F_{\text{упр}} = k|x|, \quad (1)$$

где  $k$  - коэффициент жесткости упруго деформированного тела,  $|x|$  - модуль его удлинения.

На тело, прикрепленное к пружине, действуют сила тяжести  $F_T$  и сила упругости  $F_{\text{упр}}$ . Тело находится в состоянии покоя, если сумма всех действующих на него сил равна нулю, т.е.

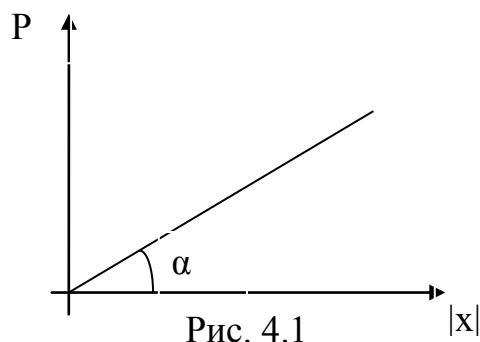
$$\vec{F}_{\text{упр}} + \vec{F}_T = 0,$$

или в скалярном виде

$$F_{\text{упр}} = F_T. \quad (2)$$

Поскольку в рассматриваемом случае сила тяжести равна весу тела, из выражений (1) и (2) получим:

$$k = \frac{P}{|x|}. \quad (3)$$



Анализируя график зависимости  $P(|x|)$  (рис. 4.1) можно сделать вывод, что коэффициент жесткости равен тангенсу угла наклона зависимости удлинения пружины от веса подвешенного тела

$$\operatorname{tg} \alpha = k \quad (4)$$

### Порядок выполнения работы

1. Закрепите пружину на штативе при помощи лапки с муфтой. Рядом закрепите линейку с миллиметровыми делениями. Зафиксируйте положение  $l_1$

нижнего конца пружины (рис. 4.2). Результат измерений запишите в таблицу 4.1.

2. Подвесьте к пружине грузик в 1 Н. Зафиксируйте положение  $l_2$  нижнего конца пружины (рис. 4.3). Результат измерений и вес груза  $P$  запишите в таблицу.
3. Определите модуль удлинения пружины  $|x| = l_2 - l_1$ . Результат вычислений занесите в таблицу 4.1.
4. Повторите п.п. 2-3 с грузом в 2 Н и 3 Н.

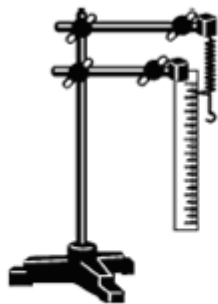


Рис. 4.2

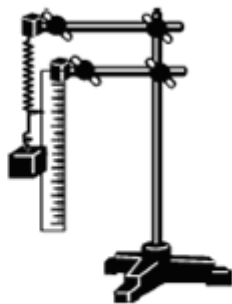


Рис. 4.3

Таблица 4.1

$N$ опыта	$l_1, м$	$l_2, м$	$ x , м$	$P, Н$

5. Постройте график зависимости веса грузов от удлинения пружины. По углу наклона определите коэффициент  $k_{пр}$  жесткости.

6. Вместо пружины закрепите за середину резиновый шнур с указателем на конце. Аналогично нагружайте шнур, результаты измерений и вычислений заносите в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

$N$ опыта	$l_1, м$	$l_2$	$ x , м$	$P, Н$

7. Постройте график зависимости веса грузов от удлинения резинового шнура. По углу наклона определите его коэффициент жесткости  $k_{ш}$ .

8. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы

1. От чего зависит коэффициент жесткости шнура? Пружины?
2. Будут ли деформации, наблюдаемые в ходе лабораторной работы, упругими? Как это можно подтвердить на основании полученных графиков?

### Дополнительное задание

Сложите резиновый шнур вдвое – тем самым вы удвоите площадь его поперечного сечения. Выясните, зависит ли коэффициент жесткости от площади поперечного сечения шнура.



## ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

**Цель:** научиться определять коэффициент трения скольжения разными способами.

**Оборудование и материалы:** трибометр, деревянный брусок в виде прямоугольного параллелограмма, набор грузов по 1 Н, динамометр, линейка.

### Краткие теоретические сведения

*Сила* – векторная величина, характеризующая действие одного тела на другое.

Для механических явлений присущи силы гравитационного и электромагнитного взаимодействий, а именно силы тяжести, силы упругости и силы трения.

*Сила трения* – это сила, возникающая при перемещении одного тела относительно другого при их соприкосновении, или частей одного и того же тела. Сила трения всегда направлена по касательной к трущимся поверхностям так, что противодействует относительному смещению этих поверхностей. Различают сухое и вязкое трения.

Виды сухого трения: трение покоя; трение качения; трение скольжения. Для любого вида трения выполняется закон Амонтона - Кулона

$$F_{mp} = \mu N, \quad (1)$$

где  $N$  – сила реакции опоры;

$\mu$  – коэффициент трения, который зависит от природы трущихся поверхностей.

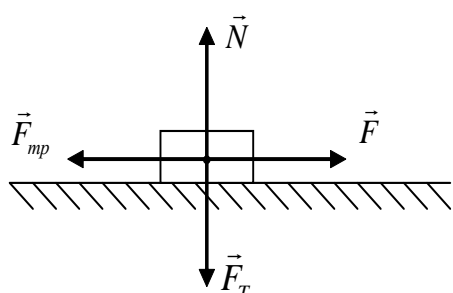


Рис. 5.1

**Метод 1.** При прямолинейном равномерном движении тела вдоль горизонтальной поверхности (рис. 5.1) векторная сумма сил, действующих на тело, равна нулю

$$\vec{F} + \vec{F}_T + \vec{F}_{mp} + \vec{N} = 0. \quad (2)$$

Спроецировав уравнение (2) на вертикальную и горизонтальную координатные оси и выразив проекции сил через их модули, получим:

$$F_T = N, \quad F_{mp} = F. \quad (3)$$

Поскольку в рассматриваемом случае сила тяжести равна весу тела, а сила трения определяется по закону Амонтона – Кулона, то из уравнений (1), (3) будем иметь

$$F = \mu P, \quad (4)$$

и коэффициент трения скольжения равен

$$\mu = \frac{F}{P}. \quad (5)$$

Анализируя график зависимости  $P(F)$  (рис. 5.2), можем сделать вывод, что коэффициент трения скольжения равен тангенсу угла наклона зависимости веса тела от прикладываемой силы.

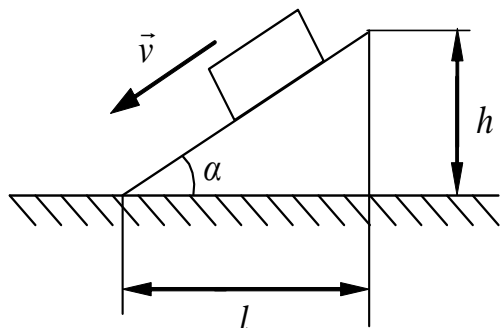


Рис. 5.3

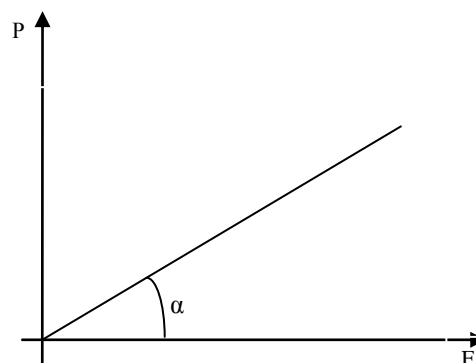


Рис. 5.2

**Метод 2.** Расчеты показывают, что коэффициент трения скольжения можно найти как тангенс угла наклона плоскости, с которой начинает соскальзывать первоначально покоящееся тело (рис. 5.3)

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l}. \quad (6)$$

### Порядок выполнения работы

1. При помощи динамометра определите вес бруска. Запишите его вес в таблицу 5.1.
2. Расположите брусок на горизонтальном трибометре и равномерно тяните его при помощи динамометра. Измерьте силу тяги  $F$ . Результат измерения занесите в таблицу 5.1.
3. Нагрузите брусок грузом в 1 Н. Равномерно тяните брусок по трибометру. Измерьте силу тяги  $F$ . Результат измерения и вес груза  $P_{\text{гр}}$  занесите в таблицу 5.1. Рассчитайте силу реакции опоры как сумму веса бруска и груза.

Таблица 5.1

$N$ опыта	$P_{\text{бр}}, \text{H}$	$P_{\text{гр}}, \text{H}$	$N, \text{H}$	$F, \text{H}$

4. Повторите п. 2 с грузом в 2 Н и 3 Н.
5. Постройте график зависимости силы трения от силы реакции опоры. По углу наклона определите коэффициент  $\mu_{\text{гр}}$  трения скольжения.
6. Положите на трибометр брусок с грузом в 3 Н. Постепенно приподнимайте правый конец трибометра до тех пор, пока груз от небольшого толчка не начнет равномерно соскальзывать вниз.
7. Измерьте высоту  $h$  и основание  $l$  наклонной плоскости.
8. По формуле (6) рассчитайте коэффициент  $\mu$  трения скольжения.

9. Сравните его с полученным графическим способом и табличным значением. Сделайте выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что является причиной возникновения силы трения скольжения? Всегда ли она препятствует движению?
2. Зависят ли сила трения и коэффициент трения скольжения от скорости перемещения соприкасающихся поверхностей?
3. Зависит ли коэффициент трения скольжения от качества обработки поверхности?

### **Дополнительное задание**

Выясните, зависит ли коэффициент трения скольжения от массы грузов и площади соприкасающихся поверхностей.

## ИЗУЧЕНИЕ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕСКОЛЬКИХ СИЛ

**Цель:** опытным путем проверить соотношение между моментами сил, действующих на плечи рычага при его равновесии.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой, равноплечий рычаг с сержками, набор грузов весом в 1 Н, линейка.

### Краткие теоретические сведения

Моментом силы называется произведение модуля силы  $F$  на ее плечо  $l$  (кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы)

$$M = Fl. \quad (1)$$

Моменты сил, вызывающие вращение по часовой стрелке (правовращающие) считаются положительными, а вызывающие вращение против часовой (левовращающие) – отрицательными. Тело, имеющее закрепленную ось вращения, находится в равновесии, когда равна нулю алгебраическая сумма моментов  $M_i$  всех приложенных к нему сил относительно данной оси

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n = 0.$$

Если к рычагу приложены две силы, одна из которых вызывает его поворот вправо, а другая – влево, то правило моментов можно записать в виде

$$F_1 l_1 = F_2 l_2$$

или

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}. \quad (2)$$

### Порядок выполнения работы

1. Насадите равноплечий рычаг на ось. Зажмите ось в муфте штатива. Уравновесьте рычаг при помощи передвижных гаек, расположенных на его концах.

2. К левому плечу рычага на небольшом расстоянии от оси вращения подвесьте несколько грузов. Определите силу  $F_1$ , действующую на рычаг со стороны грузов, и занесите ее в таблицу 6.1.

3. К правому плечу рычага вблизи оси вращения подвесьте один груз. Перемещая его вправо, добейтесь равновесия рычага. Если равновесие не устанавливается, сдвиньте грузы на левом плече ближе к оси вращения.

4. Измерьте плечи сил  $l_1$  и  $l_2$  (рис. 6.1). Результаты измерений занесите в таблицу 6.1.

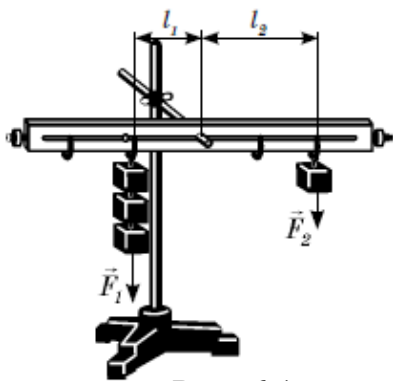


Рис. 6.1

5. Рассчитайте по формуле (1) моменты сил, вращающих рычаг вправо  $M_1$  и влево  $M_2$ . Сравните полученные результаты.

6. Вычислите соотношение сил  $\frac{F_1}{F_2}$  и плеч  $\frac{l_2}{l_1}$ . Сравните.

7. Повторите пп. 2-6 при другом взаимном расположении и количестве грузов.

8. Выполните тот же эксперимент, заменив груз на правом плече динамометром. В этом случае в таблицу 6.1 занесите значение силы  $F_2$ , фиксируемое динамометром.

Таблица 6.1

$N$ опыта	$F_1, H$	$F_2, H$	$l_1, м$	$l_2, м$	$M_1, H \cdot м$	$M_2, H \cdot м$	$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$
		1						
		1						

9. Сделайте выводы о выполнении условия равновесия рычага.

### Контрольные вопросы

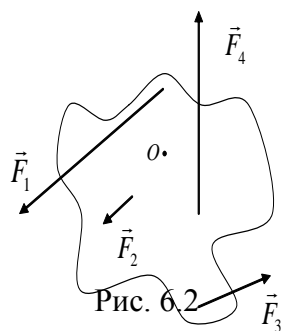


Рис. 6.2

1. Постройте плечи сил, изображенных на рисунке 6.2. Плечо какой из сил будет максимальной?
2. Какие виды равновесия вы знаете? Приведите примеры.
3. Можно ли уравновесить рычаг, прикладывая силы к одному плечу?

4. На рычаге уравновешены два шара одинакового диаметра. Что произойдет, если один шар опустить в воду, а другой – в спирт?

### Дополнительное задание

К левому плечу рычага на расстоянии 10 см и 15 см от оси вращения подвешены грузы в 2 Н и 1 Н соответственно. Что покажет динамометр, прикрепленный к правому плечу на расстоянии 20 см от оси вращения? Расчеты проверьте экспериментально.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО УДАРА ДВУХ ТЕЛ

**Цель:** экспериментально проверить закон сохранения импульса.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой и лапкой, два небольших шарика одинакового размера и разной массы на бифилярном подвесе, линейка с миллиметровыми делениями, весы с разновесами.

### Краткие теоретические сведения

Если в момент встречи двух тел их скорости в точке соприкосновения различны и притом не лежат в общей касательной плоскости, то происходит явление, называемое ударом.

Удар называется центральным, если центры тяжести обоих соударяющихся тел в момент удара лежат на общей нормали к поверхностям ударяющихся тел в точке их соприкосновения. Удар называется прямым, если относительная скорость соударяющихся тел направлена по этой нормали.

В случае столкновения двух тел закон сохранения импульса запишется в виде

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2, \quad (1)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  - скорости тел до, а  $u_1$  и  $u_2$  - после столкновения. Если второе тело до столкновения покоится, то формула (1) переписывается в виде

$$m_1 \vec{v}_1 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2. \quad (2)$$

Будем исследовать удар двух шаров, подвешенных на бифилярных подвесах (рис. 7.1).

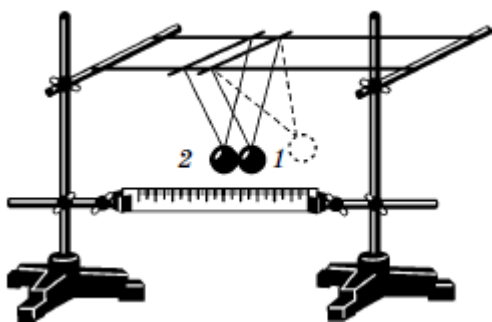


Рис. 7.1

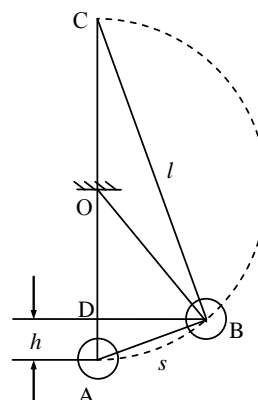


Рис. 7.2

Отведем шар 1 на угол  $\alpha$  от положения равновесия и отпустим. Скорости шаров до и после взаимодействия можно рассчитать, пользуясь законом сохранения энергии

$$mgh = \frac{mv^2}{2}, \quad (3)$$

откуда

$$v = \sqrt{2gh}. \quad (4)$$

Катет АВ прямоугольного треугольника ABC (рис. 7.2) есть средняя пропорциональная величина между гипотенузой AC и проекцией AD катета АВ на гипотенузу:

$$s^2 = 2lh. \quad (5)$$

Значит, модули скоростей

$$v_1 = s_0 \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad u_1 = s_1 \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad u_2 = s_2 \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad (6)$$

где  $s_0, s_1$  - максимальные отклонения первого шара до и после столкновения,  $s_2$  - максимальное отклонение второго шара после удара. При малых  $\alpha$  отклонения  $s_0, s_1$  и  $s_2$  можно заменить соответствующими величинами, отсчитанными по горизонтальной шкале.

### Порядок выполнения работы

#### Метод 1.

1. При помощи штатива укрепите шары на бифилярных подвесах так, чтобы центры шаров были на одной горизонтали с точкой их касания.

2. Отклоните шар большей массы на небольшой угол ( $5^\circ - 10^\circ$ ). Измерьте отклонение  $s_0$  по горизонтальной шкале. Результат занесите в таблицу 7.1.

3. Отпустите шар. Измерьте по горизонтальной шкале максимальные отклонения  $s_1$  и  $s_2$  шаров после взаимодействия. Результаты измерений занесите в таблицу 7.1. Поскольку скорости шаров в рассматриваемом случае имеют одинаковое направление, из выражения (2) с учетом (6), получим

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{s_2}{s_0 - s_1}. \quad (7)$$

4. Рассчитайте отношение масс по формуле (7). Результат вычислений занесите в таблицу 7.1.

5. Повторите п.п. 2-5 пять раз. Рассчитайте среднее значение  $\left(\frac{m_1}{m_2}\right)_{cp}$  и

отклонения от среднего по формуле  $\Delta\left(\frac{m_1}{m_2}\right) = \left| \frac{m_1}{m_2} - \left(\frac{m_1}{m_2}\right)_{cp} \right|$ .

6. Усредните полученные значения. Результаты вычислений занесите в таблицу 7.1.

7. Запишите результат в стандартном виде  $\frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{m_1}{m_2}\right)_{cp} \pm \Delta\left(\frac{m_1}{m_2}\right)_{cp}$ .

Таблица 7.1

$N$ опыта	$s_0, \text{ м}$	$s_1, \text{ м}$	$s_2, \text{ м}$	$\frac{m_1}{m_2}$	$\left(\frac{m_1}{m_2}\right)_{\text{ср}}$	$\Delta\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$	$\Delta\left(\frac{m_1}{m_2}\right)_{\text{ср}}$

**Метод 2.**

1. С помощью весов определите массы шаров и найдите их отношение  $\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$ .

2. Оцените относительную погрешность измерений по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta m_2}{m_2}.$$

Найдите абсолютную погрешность

$$\Delta\left(\frac{m_1}{m_2}\right) = \varepsilon \cdot \left(\frac{m_1}{m_2}\right).$$

3. Запишите результат в стандартном виде

$$\left(\frac{m_1}{m_2}\right) = \left(\frac{m_1}{m_2}\right) \pm \Delta\left(\frac{m_1}{m_2}\right).$$

4. Графически сравните интервалы допустимых значений для результатов, полученных разными методами. Сделайте выводы.

**Контрольные вопросы**

1. Что называется абсолютно упругим ударом? Абсолютно неупругим?
2. Что изменится в эксперименте, если шары будут равной массы?
3. Можно ли использовать *метод 1* для неупругого удара шаров?
4. Почему при малых углах  $\alpha$  можно заменить величины отклонений соответствующими величинами, отсчитанными по горизонтальной шкале?

**Дополнительное задание**

Получите расчетную формулу в случае  $m_2 > m_1$ . Проведите расчеты. Подтвердите их экспериментально.



## ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО УДАРА ДВУХ ТЕЛ

**Цель:** экспериментально проверить закон сохранения импульса.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой и лапкой, наклонная плоскость, две одинаковых шашки, линейка, транспортир.

## Краткие теоретические сведения

Если в момент встречи двух тел их скорости в точке соприкосновения различны и при этом не лежат в общей касательной плоскости, то происходит явление, называемое ударом.

Удар называется центральным, если центры тяжести обоих соударяющихся тел в момент удара лежат на общей нормали к поверхностям ударяющихся тел в точке их соприкосновения. Удар называется прямым, если относительная скорость соударяющихся тел направлена по этой нормали.

В случае столкновения двух тел закон сохранения импульса запишется в виде

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2, \quad (1)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  - скорости тел до, а  $u_1$  и  $u_2$  - после столкновения. Если второе тело до столкновения покоится, то формула (1) перепишется в виде

$$m_1 \vec{v}_1 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2. \quad (2)$$

При центральном ударе двух тел одинаковой массы первое тело после взаимодействия остановится, а скорость второго тела

$$u_2 = v_1. \quad (3)$$

**Метод исследования центрального удара.** Будем исследовать удар двух шашек, одна из которых скатывается с наклонной плоскости, а другая покоится на горизонтальной поверхности (рис. 7\*.1).

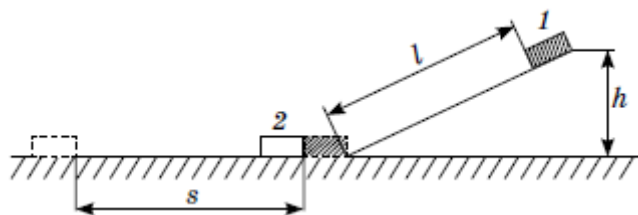


Рис. 7\*.1

Скорость первой шашки в конце наклонной плоскости

$$v_1 = \sqrt{2g(h - \mu l)},$$

где  $h$  и  $l$  - высота и длина наклонной плоскости,  $\mu$  - коэффициент трения скольжения.

При абсолютно упругом ударе скатившись, первая шашка остановится, передав свою скорость второй шашке, до взаимодействия покоившейся на

горизонтальной поверхности. Скорость второй шашки можно определить, зная пройденный ею путь  $S$  до остановки

$$u_2 = \sqrt{2\mu g S}. \quad (5)$$

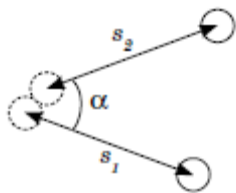


Рис. 7\*.2

**Метод исследования нецентрального удара.** В случае нецентрального удара в движении по горизонтальной плоскости будут участвовать обе шашки, причем их траектории составят угол  $\alpha$ . Скорости шашек после взаимодействия

$$u_1 = \sqrt{2\mu g S_1}, \quad u_2 = \sqrt{2\mu g S_2}, \quad (6)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – пути первой и второй шашек до остановки (рис. 7\*.2).

Тогда на основании (1) используя теорему косинусов

$$v_1^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_1 u_2 \cos(180 - \alpha). \quad (6)$$

Величину  $\mu$  коэффициента трения можно определить по тангенсу угла  $\varphi$  наклона плоскости, с которой начинает соскальзывать шашка (рис. 7\*.3)

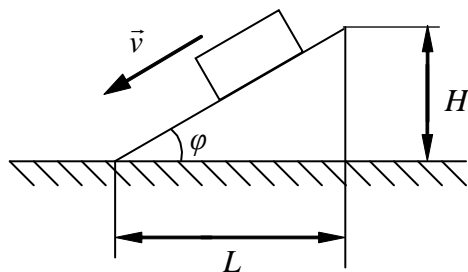


Рис. 7\*.3

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi = \frac{H}{L}, \quad (8)$$

где  $H$  и  $L$  – высота и основание наклонной плоскости.

### Порядок выполнения работы

1. Застелите наклонную плоскость и стол листами бумаги – это обеспечит равенство коэффициентов трения скольжения шашки по обеим поверхностям.
2. Поднимайте постепенно правый край наклонной плоскости, пока шашка от небольшого толчка не начнет равномерно соскальзывать вниз.
3. Измерьте высоту  $h$  и основание  $l$  наклонной плоскости.
4. По формуле (8) рассчитайте коэффициент трения скольжения  $\mu$ .
5. Выберите произвольно угол наклона плоскости. Начертите на наклонной плоскости линию, вдоль которой будет соскальзывать шашка. Обведите ее положение на горизонтальной плоскости после соскальзывания. Начертите положение второй шашки - при центральном ударе центры шашек и точка их касания должны быть на одной прямой.
6. Измерьте высоту  $h$  и длину  $l$  наклонной плоскости.
7. Рассчитайте скорость  $v_1$  первой шашки по формуле (4).
8. Расположите вторую шашку в отмеченном месте. Пустите первую шашку вдоль начерченной линии. Обведите положение второй шашки после остановки. Измерьте ее путь  $S$ .
9. Рассчитайте скорость  $u_2$  первой шашки по формуле (5).
10. Проверьте выполнение соотношения (3).

11.Отметьте положение первой шашки после соскальзывания. Изобразите положение второй шашки для нецентрального удара – центры шашек и точка касания не должны лежать на одной прямой.

12.Расположите вторую шашку в отмеченном месте. Пустите первую шашку вдоль начерченной линии. Обведите положение шашек после остановки. Измерьте их пути  $S_1$  и  $S_2$  до остановки и угол  $\alpha$  между направлениями их траекторий.

13.Рассчитайте скорости  $u_1$  и  $u_2$  шашек по формулам (6).

14.Проверьте выполнение соотношения (7).

15.Сделайте вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Получите расчетные формулы (4) и (5).
2. Можно ли судить о выполнении закона сохранения импульса в случае нецентрального удара по положениям шашек после взаимодействия? Ответ поясните.

### **Дополнительное задание**

Получите расчетную формулу в случае шашек разной массы. Проведите эксперимент. Одну из шашек можно заменить системой двух, скрепленных друг над другом.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАЯТНИКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ЕГО КОЛЕБАНИЙ

**Цель:** сконструировать простейшую колебательную систему – математический маятник; опытным путем проверить закономерности его колебаний.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой и лапкой, два небольших шарика одинакового размера и разной массы, прочная нерастяжимая нить, линейка (измерительная лента).

### Краткие теоретические сведения

Математическим маятником называется тело, подвешенное на нерастяжимой, невесомой нити, причем масса нити много меньше массы тела, а длина нити много больше линейных размеров тела. При отклонении маятника на небольшой угол от вертикали возникает отличная от нуля равнодействующая сил тяжести и упругости, вызывающая его движение к положению равновесия. В результате маятник совершает колебательное движение по гармоническому закону. Период его колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (1)$$

Период колебаний маятника также можно определить, зная время  $t$ , за которое совершается  $N$  полных колебаний

$$T = \frac{t}{N}. \quad (2)$$

### Порядок выполнения работы

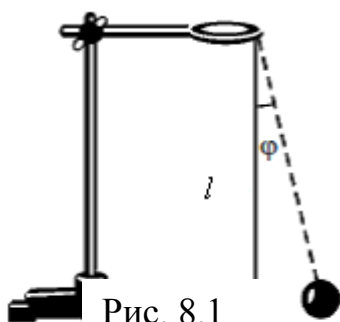


Рис. 8.1

1. Изготовьте математический маятник. Для этого при помощи штатива с муфтой и лапкой закрепите один из шариков на нити на небольшой высоте (1-2 см) над поверхностью пола (рис. 8.1). Измерьте длину  $l$  маятника от точки подвеса до центра шарика. Длина маятника должна быть не менее 1 м.

2. Отклоните маятник от вертикали на угол  $\varphi$  не более  $5^\circ$  и отпустите. Зафиксируйте время  $t$ , за которое совершается  $N$  полных колебаний маятника. Число  $N$  колебаний не должно быть меньше 30. Результаты измерений занесите в таблицу 8.1.

3. По формуле (2) рассчитайте период колебаний маятника. Результаты вычислений занесите в таблицу 8.1.

4. Замените шарик маятника, оставив длину нити прежней. Повторите п.п. 2-3. Сделайте выводы о зависимости периода колебаний математического маятника от массы шарика.

5. Повторите п.п. 2-3 при другом значении амплитуды колебаний. Сделайте выводы о зависимости периода колебаний математического маятника от амплитуды его колебаний.

6. Измените длину нити в четыре раза. Повторите п.п. 2-3. Сделайте выводы о зависимости периода колебаний математического маятника от длины нити.

7. По формуле (1) с учетом длины маятника из первого опыта рассчитайте период колебаний математического маятника.

8. Вычислите абсолютную погрешность измерений по формуле  $\Delta T = \frac{\pi \cdot \Delta l}{\sqrt{gl}}$ .

9. Графически проверьте (Приложение 2), попадает ли период, рассчитанный по результатам первого опыта, в интервал допустимых значений величины  $T$ , полученный в п. 7.

Таблица 8.1

$N$ опыта	$l, м$	шарик	$\varphi$	$N$	$t, с$	$T, с$
		1				
		2				

10. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы

1. Какие колебания называются полными?
2. Одинаковы ли будут периоды колебаний одинаковых маятников, находящихся на полюсе и экваторе? Почему?
3. Можно ли считать математическим маятник, состоящий из легкого шарика диаметром 10 см, подвешенного на нити длиной 25 см? Ответ поясните.
4. Два маятника с шариками равной массы, но имеющими различные диаметры, совершают колебания. Будет ли скорость затухания колебаний одинаковой?
5. Каким образом можно смоделировать увеличение силы земного тяготения? Предложите план эксперимента, выясняющего зависимость периода колебаний математического маятника от ускорения свободного падения.

### Дополнительное задание

По результатам первого опыта вычислите на основании формулы (1) ускорение свободного падения. Рассчитайте относительную и абсолютную погрешности измерения. Определите ускорение свободного падения для своей географической широты  $\varphi$

$$g_{\varphi} = 9.78049(1 + 0.0052884 \sin^2 \varphi - 0.0000059 \sin^2 2\varphi).$$

Попадает ли  $g_{\varphi}$  в интервал допустимых значений для вычисленного Вами  $g$ ?

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАЯТНИКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ЕГО КОЛЕБАНИЙ\*

**Цель:** сконструировать пружинный маятник; опытным путем проверить закономерности его колебаний.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой и лапкой, пружина, набор грузов по 0.1 кг, линейка с миллиметровыми делениями.

### Краткие теоретические сведения

Пружинный маятник состоит из пружины с прикрепленным к ней грузом. При дополнительном растяжении пружины возникает отличная от нуля равнодействующая сил тяжести и упругости, вызывающая его колебательное движение. Период его колебаний

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (1)$$

Период колебаний маятника также можно определить, зная время  $t$ , за которое совершается  $N$  полных колебаний

$$T = \frac{t}{N}. \quad (2)$$

### Порядок выполнения работы

1. Изготовьте пружинный маятник. Для этого закрепите пружину на штативе при помощи муфты и лапки (рис. 8\*.1). Рядом укрепите линейку.

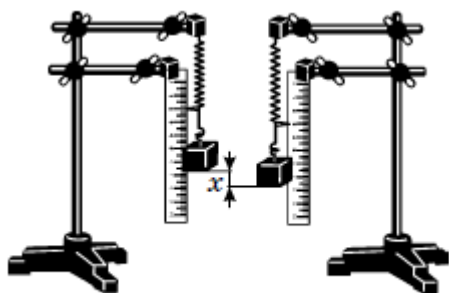


Рис. 8\*.1

2. Подвесьте к пружине груз 0.1 кг. Сместите груз от положения равновесия на  $x = 1$  см и отпустите. Зафиксируйте время  $t$ , за которое совершается  $N = 10-20$  полных колебаний. Результаты измерений занесите в таблицу 8\*.1.

3. По формуле (2) рассчитайте период колебаний маятника. Результаты вычислений занесите в таблицу 8\*.1.

4. Повторите п.п. 2-3 при другом количестве колебаний. Сделайте выводы о зависимости периода колебаний от их числа.

5. Повторите п.п. 2-3 при другом значении амплитуды колебаний. Сделайте выводы о зависимости периода колебаний маятника от амплитуды его колебаний.

6. Прикрепите к пружине еще 3 груза. Повторите п.п. 2-3. Сделайте выводы о зависимости периода колебаний маятника от массы подвешенного тела.

Таблица 8\*.1

$N$ опыта	$x$ , м	$m$ , кг	$N$	$t$ , с	$T$ , с

7. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы

1. По данным любого из опытов постройте график колебаний.
2. Как изменится период колебаний, если пружину заменить другой с большим диаметром витка?
3. Какими будут колебания при проведении эксперимента в воде? Почему?

### Дополнительное задание

С предоставленным вам оборудованием предложите план эксперимента, выясняющего зависимость периода колебаний пружинного маятника от жесткости пружины.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОГО ИЗ ИЗОПРОЦЕССОВ

**Цель:** экспериментально проверить закон Гей-Люссака.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой и лапкой, запаянная с одного конца стеклянная трубка, высокий сосуд с горячей водой, стакан с водой комнатной температуры, линейка с миллиметровыми делениями, термометр, пластилин.

### Краткие теоретические сведения

Изобарным называется процесс, протекающий при постоянном давлении. Для изобарного процесса, протекающего при фиксированном значении массы газа, выполняется закон Гей-Люссака:

$$\frac{V}{T} = \text{const} . \quad (1)$$

Для двух состояний газа уравнение (1) перепишется в виде

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} . \quad (2)$$

**Метод выполнения работы.** Если опустить прогретую стеклянную трубку открытым концом в сосуд с холодной водой, то по мере уменьшения температуры высота столба воды в трубке будет увеличиваться, сохраняя постоянство давления  $p$  воздуха в ней. Объем воздушного столба в трубке можно найти как произведение его высоты  $l$  на площадь  $S$  внутреннего сечения трубки

$$V = S \cdot l .$$

Закон Гей-Люссака для рассматриваемой ситуации на основании (2) запишется в виде

$$\frac{S \cdot L}{T_1} = \frac{S \cdot (L - h)}{T_2} , \quad (3)$$

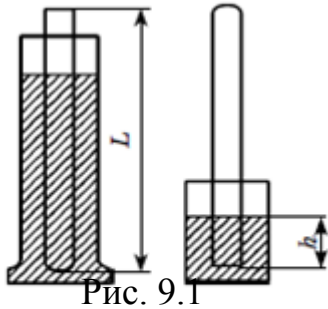
где  $L$  – длина трубки,  $h$  – высота столба воды в ней.

Таким образом, выполнение закона Гей-Люссака можно проверить по выполнению равенства

$$\frac{L}{L - h} = \frac{T_1}{T_2} . \quad (4)$$

## Порядок выполнения работы

1. Измерьте длину трубки  $L$ . Результат занесите в таблицу 9.1.



2. Опустите стеклянную трубку запаянным концом в сосуд с горячей водой на несколько минут (рис. 9.1). Измерьте температуру воды в сосуде  $T_1$ .

3. Когда трубка прогреется, залепите открытый конец трубки пластилином и сразу опустите этим концом в стакан с водой комнатной температуры  $T_2$ . Под водой снимите пластилин.

4. После прекращения подъема воды в трубке перемещайте ее по вертикали до тех пор, пока уровни воды в трубке и стакане не сравняются. Измерьте высоту столба воды в трубке  $h$  (рис. 9.2). Результаты измерений занесите в таблицу 9.1.

Таблица 9.1

$L, \text{ м}$	$T_1, \text{ К}$	$h, \text{ м}$	$T_2, \text{ К}$

5. Рассчитайте отдельно правую и левую части выражения (4). Сравните полученные результаты. Сделайте выводы о выполнимости закона Гей-Люссака и о возможных причинах отступления от него.

## Контрольные вопросы

1. Каковы условия применимости закона Гей-Люссака? Совпадают ли эти условия с условиями применимости других газовых законов?
2. Почему в координатах  $V(T)$  график изобарного процесса изображается вблизи начала координат штрихованной линией, выходящей из начала координат?
3. Почему нагретая медицинская банка «присасывается» к телу?

## Дополнительное задание

По данным эксперимента постройте график зависимости  $V(T)$ . Как изменится его вид, если эксперименты проводить на высоте 5 км над уровнем моря?

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОГО ИЗ ИЗОПРОЦЕССОВ

**Цель:** экспериментально проверить закон Бойля-Мариотта.

**Оборудование и материалы:** штатив с муфтой и лапкой, запаянная с одного конца стеклянная трубка, высокий сосуд с водой, линейка, барометр.

### Краткие теоретические сведения

Изотермическим называется процесс, протекающий при постоянной температуре. Для изотермического процесса, протекающего при постоянной массе газа, выполняется закон Бойля-Мариотта:

$$pV = \text{const} . \quad (1)$$

Для двух состояний газа уравнение (1) переписывается в виде

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 . \quad (2)$$

**Метод выполнения работы.** Если опустить стеклянную трубку открытым концом в сосуд с водой, то по мере погружения высота столба воды в трубке будет увеличиваться, так же, как и давление  $p$  воздуха в ней

$$p = p_{\text{атм}} + \rho gh , \quad (3)$$

где  $h$  - разность уровней воды в сосуде и трубке.

Объем воздушного столба в трубке можно найти как произведение его высоты  $L$  на площадь  $S$  внутреннего сечения трубки

$$V = S \cdot L .$$

Согласно закону Бойля-Мариотта

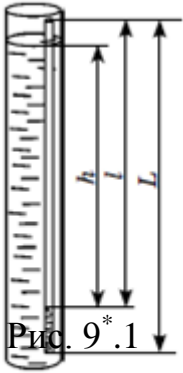
$$S \cdot L \cdot p_{\text{атм}} = S \cdot l_1 \cdot (p_{\text{атм}} + \rho gh_1) = S \cdot l_2 \cdot (p_{\text{атм}} + \rho gh_2) = \dots , \quad (4)$$

где  $l_1, l_2, \dots$  – высоты столба воздуха в трубке,  $h_1, h_2, \dots$  – разности уровней воды в сосуде и трубке. Разделив выражение (4) на  $S$ , получим

$$L \cdot p_{\text{атм}} = l_1 \cdot (p_{\text{атм}} + \rho gh_1) = l_2 \cdot (p_{\text{атм}} + \rho gh_2) = \dots = A .$$

Т.е. проверка закона Бойля-Мариотта заключается в нахождении константы  $A$ .

## Порядок выполнения работы



1. Измерьте атмосферное давление  $p_{атм}$  и длину трубки  $l$ . Результаты измерений занесите в таблицу 9\*.1.
2. Опустите стеклянную трубку открытым концом в сосуд с водой (рис. 9\*.1). Измерьте разность уровней воды в трубке и сосуде  $h$  и высоту воздушного столба в трубке  $l$ . Результаты измерений занесите в таблицу 9\*.1.
3. Рассчитайте значение константы  $A$ . Результат вычислений занесите в таблицу 9\*.1.

Таблица

9\*.1

$N$ опыта	$p_{атм}, Па$	$L, м$	$h, м$	$l, м$	$A, Па \cdot м$	$\Delta A, Па \cdot м$

4. Повторите п.п. 2-3 для двух других высот воздушного столба. Результаты вычислений и измерений занесите в таблицу 9\*.1.
5. Рассчитайте абсолютную погрешность измерений по формуле
 
$$\Delta A = l \cdot \Delta p_{атм} + p_{атм} \cdot \Delta l + \rho g (l \cdot \Delta h + h \cdot \Delta l).$$
6. Графически сравните интервалы допустимых значений для полученных величин  $A$ . Сделайте выводы относительно выполнимости закона Бойля-Мариотта.

## Контрольные вопросы

1. Каковы условия применимости закона Бойля-мариотта? Совпадают ли эти условия с условиями применимости других газовых законов?
2. Как изображаются для разных температур изотермические процессы в координатах  $pV$ ,  $pT$ ,  $VT$ , если масса газа остается постоянной?

## Дополнительное задание

Какие дополнительные величины необходимо измерить, чтобы построить графики зависимостей  $p(V)$ ,  $p(T)$ ,  $V(T)$ . Постройте эти графики.

## ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

**Цель:** научиться определять относительную влажность воздуха разными способами.

**Оборудование и материалы:** гигрометр, термометр, психрометр.

### Краткие теоретические сведения

В атмосферном воздухе всегда находится некоторое количество водяных паров. Относительной влажностью воздуха называется величина, равная отношению давления водяного пара  $p$ , содержащегося в воздухе при данной температуре к давлению насыщенных паров  $p_0$  при этой же температуре

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Точкой росы называют температуру, при которой пар становится насыщенным.

Интенсивность испарения жидкости зависит от следующих факторов:

- 1) рода жидкости;
- 2) температуры жидкости;
- 3) площади поверхности жидкости;
- 4) скорости потоков воздуха, окружающего жидкость.

### Порядок выполнения работы

#### **Метод 1.**

1. Определите температуру воздуха  $t$ .
2. Поместите термометр в гигрометр. Налейте спирт в сосуд гигрометра.
3. Продувайте воздух через спирт в гигрометре до появления росы на зеркальце. Прекратите продувать.
4. Зафиксируйте температуру в момент исчезновения росы на зеркальце – точку росы  $t_p$ .
5. Найдите по таблице значения давления насыщенного пара для комнатной температуры  $p_0$  и давление  $p$  ненасыщенного пара для комнатной температуры, которое равно давлению насыщенного пара, соответствующей точке росы  $t_p$ .
6. По формуле (1) рассчитайте относительную влажность  $\varphi$  воздуха.

#### **Метод 2.**

1. Определите температуру сухого термометра  $t_c$ .
2. Определите температуру влажного термометра  $t_{вл}$ .

3. По психрометрической таблице определите относительную влажность  $\varphi$  воздуха.

4. Сравните результаты, полученные разными методами. Сделайте выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. От каких факторов зависит интенсивность испарения жидкости?
2. Почему летним утром на листьях выпадает роса?
3. Как меняется температура жидкости при испарении? Почему?
4. Когда температура влажного термометра перестает меняться?
5. Могут ли совпадать показания сухого и влажного термометров?
6. Почему зачастую в холодильнике бывают влажные стенки?

### **Дополнительное задание**

Предложите план эксперимента, позволяющего определить влажность воздуха в домашних условиях.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ

**Цель:** наглядно убедиться в электризации тел, пронаблюдать электростатическое взаимодействие тел.

**Оборудование:** маятник электрический на изолирующем штативе – 2 шт., палочка из органического стекла, палочка из эбонита, кусочки меха и шелка, пластинка из органического стекла размеров 20 x 30.

### Краткие теоретические сведения

Явление *электризации* тел можно наблюдать, если натертую о шерсть или бумагу стеклянную палочку поднести к мелким листочкам бумаги, которые будут притягиваться к палочке. Тела, которые после натирания притягивают к себе другие тела, называют *наэлектризованными*, либо говорят, что им сообщен *электрический заряд*.

*Электрический заряд* – это физическая величина, характеризующая способность частиц или тел вступать в электромагнитное взаимодействие.

В электризации всегда участвует два тела и оба они электризуются.

Во время электризации тело принимает либо отдает некоторое количество частиц, имеющих электрический заряд. Отрицательно заряженной частицей является электрон, а частицей, имеющей положительный заряд, – протон (эта частица входит в состав атомного ядра). Таким образом, во время электризации тело принимает или отдает некоторое количество электронов.

Тела состоят из молекул и атомов, каждый атом состоит из положительно заряженного ядра и движущихся вокруг него отрицательно заряженных электронов (электронных облаков), вращающихся вокруг него. Ядра атомов, в свою очередь, состоят из положительно заряженных протонов, заряд которых равен по абсолютному значению заряду электрона, и нейтральных частиц – нейтронов. Положительный заряд ядра атома равен в точности общему отрицательному заряду всех его электронов, то есть сам атом является нейтральным. Во время взаимодействия двух разнородных тел электроны, входящие в состав атома одного тела, могут переходить (под влиянием внешних воздействий) к атомам другого тела вследствие того, что энергия связи их с ядром в атомах различных химических элементов может быть неодинаковой. В результате одно тело теряет некоторое количество электронов и заряжается положительно, а другое тело приобретает эти электроны – заряжается отрицательно (электризуется). Электризация тел может осуществляться путем соприкосновения (трения) либо вследствие электростатической индукции.

Существуют два вида электрических зарядов: положительные (например, на стекле, натертом шелком) и отрицательные (например, на эбоните, натертым о мех).

### Порядок выполнения работы

Результаты наблюдений и измерений заносите в таблицу 11.1.

1. Потрите эбонитовую палочку мехом и поднести к гильзе электрического маятника, избегая прикосновения гильзы к заряженной палочке (табл. 11.1).

2. Выполните те самые действия со стеклянной палочкой.

3. Натрите стеклянную палочку шелком, и поднести ее к гильзе электрического маятника, а затем коснитесь ее (табл. 11.1).

4. Выполните те самые действия со вторым маятником. Приблизьте маятники друг к другу (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Взаимодействующие тела	Наблюдение
Без соприкосновения	
эбонитовая палочка + гильза маятника	
стеклянная палочка + гильза маятника	
При соприкосновении	
эбонитовая палочка + гильза маятника	
стеклянная палочка + гильза маятника	
гильза маятника (стеклянная палочка) + гильза маятника (стеклянная палочка)	
гильза маятника (эбонитовая палочка) + гильза маятника (стеклянная палочка)	

5. Наэлектризуйте один маятник с помощью стеклянной палочки, потертой о шелк, а другой – эбонитовой палочкой, потертой о мех. Приблизьте маятники друг к другу (табл. 11.1).

6. По результатам наблюдений сделайте вывод.

7. Расположите маятники на расстоянии 6 см друг от друга. Наэлектризуйте их с помощью стеклянной палочки.



8. Внесите между маятниками пластинку из органического стекла. Сделайте вывод.

9. Расположите маятники на расстоянии 6 см друг от друга. Наэлектризуйте один из маятников стеклянной палочкой, а другой – эбонитовой.

10. Внесите между маятниками пластинку из органического стекла. Сделайте вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Как получить на двух одинаковых шариках заряды равные по величине и знаку?
2. Будет ли взаимодействовать заряженное тело с незаряженным? Обоснуйте.
3. Как при помощи эбонитовой палочки получить отрицательно заряженное тело? Положительно заряженное?

### **Дополнительное задание**

С оборудованием, используемым в работе, предложите план эксперимента, позволяющего выявить зависимость силы взаимодействия заряженных тел от их зарядов и расстояния между ними.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА

**Цель:** закрепить умения составлять электрические цепи, измерять силу тока, напряжение, регулировать силу тока в цепи с помощью реостата, научиться измерять ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

**Оборудование:** исследуемый источник постоянного тока, амперметр, вольтметр, реостат, ключ, соединительные провода.

### Краткие теоретические сведения

ЭДС источника тока  $\xi$  можно измерить, присоединив к клеммам источника тока вольтметр. При этом его показания будут  $U_1$ . если внутренне сопротивление источника тока  $r$ , то по закону Ома для замкнутой цепи

$$\xi = U_1 + I_1 r \quad (1),$$

где  $I_1$  - сила тока в цепи.

Силу тока можно найти, зная сопротивление вольтметра  $r_v$  согласно его показаниям  $U_1$ :

$$I_1 = \frac{U_1}{r_v} \quad (2).$$

Подставив формулу (2) в формулу (1), получим

$$\xi = U_1 \left(1 + \frac{r}{r_v}\right) \quad (3).$$

Если  $r \ll r_v$ , то  $\xi \approx U_1$ . Именно это теоретическое положение и положено в основу измерения  $\xi$  вольтметром.

Для того чтобы измерить внутренне сопротивление источника тока  $r$ , необходимо составить электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных источника тока, ключа, амперметра, реостата, и параллельно подсоединенного к источнику тока вольтметра (рис. 12.1).

Тогда для некоторого положения ползунка реостата с показаниями амперметра  $I_2$  и вольтметра  $U_2$  в соответствии с законом Ома для замкнутой цепи получим:

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \quad (4)$$

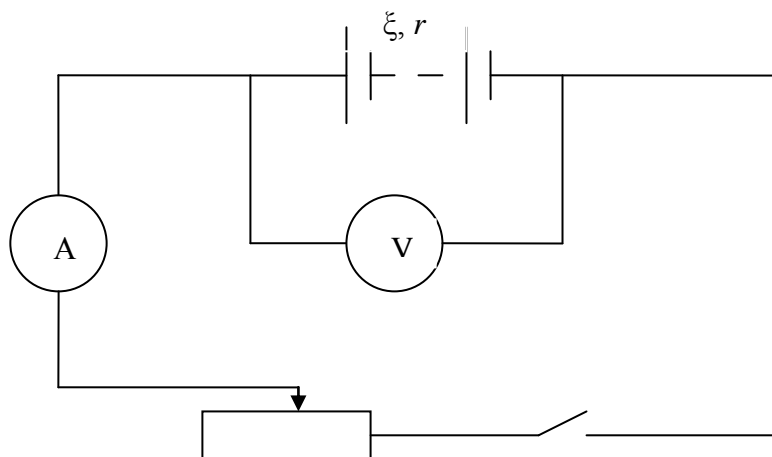


Рис. 12.1

### Порядок выполнения работы

Результаты измерений и вычислений заносите в таблицу 12.1

1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 12.1).
2. Замкните с помощью ключа цепь и реостатом отрегулируйте силу тока в цепи так, чтобы стрелка амперметра установилась против целого деления в последней трети шкалы.
3. Запишите значения силы тока  $I_1$  и напряжения  $U_1$  в таблицу 12.1.
4. Повторите измерения силы тока и напряжения при другом положении ползунка реостата (табл. 12.1).
5. Вычислите внутреннее сопротивление источника тока  $r$  по формуле (4) (табл. 12.1).
6. Разомкните цепь и измерьте ЭДС источника тока  $\xi$  вольтметром (табл. 12.1).

Таблица 12.1

$I_1, \text{A}$	$U_1, \text{B}$	$I_2, \text{A}$	$U_2, \text{B}$	$r, \text{Ом}$	$\xi, \text{B}$	$\varepsilon_\xi$	$\varepsilon_r$	$\Delta \xi, \text{B}$	$\Delta r, \text{Ом}$

7. Определите относительные погрешности измерения ЭДС и внутреннего сопротивления по формулам  $\varepsilon_\xi = \frac{\Delta U}{\xi}$ , а  $\varepsilon_r = 2 \frac{\Delta U}{U_2 - U_1} + 2 \frac{\Delta I}{I_2 - I_1}$  (см. прил. 3).

8. Рассчитайте абсолютные погрешности измерения  $\Delta \xi = \Delta U$ ,  $\Delta r = r \varepsilon_r$  (см. прил. 3).

9. Запишите результат в стандартном виде  $\xi = \xi \pm \Delta\xi, r = r \pm \Delta r$ .
10. Сделайте выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие силы называют сторонними?
2. Почему при замкнутой цепи напряжение на зажимах источника меньше ЭДС?
3. Что называется коротким замыканием? Чем оно опасно?
4. Чему равен КПД источника тока при равенстве внешнего сопротивления внутреннему?

### **Дополнительное задание**

Как, имея два резистора с разным сопротивлением, амперметр и источник тока, определить его ЭДС и внутреннее сопротивление. Получите расчетную формулу. Проверьте расчеты экспериментально.

Лабораторная работа № 13  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ДИОДОМ**

**Цель:** ознакомиться с различными диодами, научиться различать диоды по их маркировке и определять направление  $p$ - $n$  перехода.

**Оборудование:** источник постоянного тока, вольтметр, диоды, соединительные провода, справочные материалы.

**Краткие теоретические сведения**

Кроме *проводников* (вещества с большим количеством свободных заряженных частиц) и *диэлектриков* (вещества, с небольшим количеством свободных заряженных частиц), имеется группа веществ, проводимость которых занимает промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Эти вещества называли *полупроводниками*.

Проводимость чистых полупроводников осуществляется перемещением свободных электронов (*электронная проводимость*) и перемещением связанных электронов на вакантные места парноэлектронных связей (*дырочная проводимость*). Собственная проводимость полупроводников обычно невелика, поэтому для ее увеличения вводят примеси (*примесная проводимость*). Различают донорные примеси, которые образуют полупроводник  $n$ -типа, и акцепторные примеси – полупроводники  $p$ -типа.

Контакт двух полупроводников  $p$ - и  $n$ - типа называют  $p$ - $n$  переходом. В современных технологиях для выпрямления переменного электрического тока используют полупроводниковые диоды. Примеры их маркировки приведены в таблице 13.1.

*Таблица 13.1*

Элементы диодов	Расшифровка
1. Буква или цифра, которая соответствует полупроводниковому материалу:	
Г (1)	германий;
К (2)	кремний;
3	арсенид галлия;
2. Буква, которая указывает на класс диода:	
Д	выпрямляющие, универсальные импульсные диоды;
А	диоды сверхвысокой частоты;
Н	переключающиеся неуправляемые диоды;
У	переключающиеся управляемые диоды;
3. Трехзначное число, определяющее группу напряжения диода	
4. Буква, которая указывает на разновидность диода	

Для конкретной марки диода существуют максимальные значения параметров выпрямленного тока и обратного напряжения. Эти значения берутся из справочных таблиц для каждой марки диода. Для определения прямого направления  $p$ - $n$  перехода используют омметр или вольтметр и источник постоянного тока. Если к вольтметру последовательно подсоединить

диод, то при прямом  $p$ - $n$  переходе стрелка вольтметра будет отклоняться, а при обратном – нет. Таким образом можно определить прямое направление  $p$ - $n$  перехода, а значит, и положение полупроводника  $p$ -типа и  $n$ -типа.

### Порядок выполнения работы

Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 13.2.

1. Опишите маркировку предложенного учителем диода согласно таблице 13.1.
2. Подключите параллельно к источнику тока вольтметр. Начертите схему электрической цепи без диода.
3. С помощью вольтметра установите наличие тока в цепи без диода (табл. 13.2).
4. С помощью двух проводников присоедините диод к источнику тока. Начертите схему 1 электрической цепи с диодом.
5. По отклонению стрелки вольтметра установите наличие тока в цепи с диодом (табл. 13.2).
6. Смените полярность диода и начертите схему 2 электрической цепи с диодом.
7. Сделайте вывод о направлении включения диода в электрических цепях схем 1 и 2.

Таблица 13.2

	Цепь без диода	Цепь с диодом (схема 1)	Цепь с диодом (схема 2)
Отклонение стрелки вольтметра в цепи без диода			
Режим включения диода			

### Контрольные вопросы

1. Что такое полупроводники  $p$ -типа?  $n$ -типа?
2. Объясните механизм протекания электрического тока через  $p$ - $n$  переход.
3. Что такое ток насыщения?

### Дополнительное задание

Что будет показывать гальванометр в цепи, содержащей два диода, включенных навстречу друг другу? Ответ проверьте экспериментально.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА

**Цель:** научиться по поведению веществ, внесенных во внешнее магнитное поле, определять к какому виду магнетиков они относятся.

**Оборудование:** электромагнит, мелкие железные опилки, штатив, соединительные провода, ключ, источник постоянного тока, стержни: свинцовый, алюминиевый, стальной.

### Краткие теоретические сведения

Экспериментальные исследования показывают: магнитные свойства вещества обусловлены существованием магнитных полей всех электронов, входящих в атомы вещества.

По магнитным свойствам все вещества делятся на 3 группы:

1) *диамагнетики* – вещества с относительной магнитной проницаемостью меньше единицы. Если в межполюсном пространстве сильного электромагнита вдоль линий магнитной индукции подвесить стержень из диамагнетика, то при включении электромагнита этот стержень повернется и расположится перпендикулярно линиям магнитной индукции;

2) *парамагнетики* – вещества, у которых относительная магнитная проницаемость чуть больше единицы. Если в межполюсном пространстве сильного электромагнита перпендикулярно линиям магнитной индукции подвесить стержень из парамагнетика, то при включении электромагнита этот стержень повернется и расположится вдоль линий магнитной индукции;

3) *ферромагнетики* – вещества с относительной магнитной проницаемостью порядка  $10^2 - 10^5$ . Вещества, у которых магнитные свойства проявляют довольно сильно. При выключении внешнего магнитного поля ферромагнетик остается намагниченным, т.е. создает магнитное поле в окружающем пространстве. Поэтому, если после выключения внешнего магнитного поля к ферромагнетику поднести металлическую стружку (ферромагнетик желательно обернуть бумагой), то она прилипнет к нему, подобно постоянному магниту.

### Порядок выполнения работы

Результаты измерений и вычислений заносите в таблицу 14.1.

1. Присоедините электромагнит последовательно через ключ к источнику тока. Начертите схему цепи.

2. Привяжите исследуемый стержень к штативу. Подвесьте стержень так, чтобы он располагался между насадками электромагнита перпендикулярно линиям магнитной индукции.

3. Включите электромагнит. Проследите за поведением стержня (табл. 14.1).

Таблица 14.1

Вещество	Поведение во внешнем магнитном поле	Поведение после выключения внешнего магнитного поля	Вид магнетика

4. Оберните исследуемый стержень в бумагу и поднести к железным опилкам (табл. 14.1).

5. Выполните задания пп. 2-4 с остальными стержнями.

6. По результатам наблюдений сделайте вывод: к каким видам магнетиков относятся исследуемые стержни.

### Контрольные вопросы

1. На какие виды делятся вещества по их магнитным свойствам?
2. Объяснить причину магнитных свойств веществ.
3. Объясните диамагнитный эффект.
4. Какими способами можно размагнитить железо?

### Дополнительное задание

Как при помощи магнитной стрелки можно определить, намагничен или нет стальной стержень? Ответ проверьте экспериментально.



## ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

**Цель:** ознакомиться с явлением электромагнитной индукции, установить зависимость направления индукционного тока и его силы от направления и скорости изменения магнитного потока.

**Оборудование:** миллиамперметр, реостат, катушка с большим числом витков, два полосовых магнита, соединительные провода.

### Краткие теоретические сведения

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении индукционного тока в проводящем контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего площадь контура.

Сам закон электромагнитной индукции формулируется именно для ЭДС, а не для силы тока. ЭДС индукции в замкнутом контуре равна по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:

$$\mathcal{E}_i = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| \quad (1)$$

Согласно правилу Ленца определяют направление индукционного тока  $I_i$  в замкнутом контуре.

Алгоритм применения правила Ленца:

1) Установите направление линий магнитной индукции  $\vec{B}$  внешнего магнитного поля.

2) Выясните, увеличивается или уменьшается поток магнитной индукции этого поля через поверхность, ограниченную контуром ( $\Delta\Phi > 0$  или  $\Delta\Phi < 0$ ).

3) Установите направление линий магнитной индукции  $\vec{B}'$  магнитного поля индукционного тока  $I_i$ : если  $\Delta\Phi > 0$ , то  $\vec{B} \uparrow \downarrow \vec{B}'$ ,

если  $\Delta\Phi < 0$ , то  $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}'$ .

4) Зная направление линий магнитной индукции  $\vec{B}'$ , найдите направление индукционного тока  $I_i$  по правилу буравчика.

### Порядок выполнения работы

**Опыт 1.** Результаты измерений заносите в таблицу 15.1.

1. Подключите последовательно катушку с большим числом витков к миллиамперметру. Начертите схему электрической цепи.

2. Введите быстро полосовой магнит в катушку. Зафиксируйте отклонение стрелки и показания миллиамперметра (табл. 15.1).

3. Определите направление индукционного тока  $I_i$  в катушке по правилу Ленца (табл. 15.1).

4. Оставьте магнит в катушке на 1 минуту. Зафиксируйте данные миллиамперметра и определите направление индукционного тока  $I_i$  в катушке по правилу Ленца (табл. 15.1).

5. Быстро выведите магнит из катушки. Зафиксируйте отклонение стрелки и показания миллиамперметра. Определите направление индукционного тока  $I_i$  в катушке по правилу Ленца (табл. 15.1).

6. Повторите пп. 2-5, перемещая катушку относительно неподвижного магнита (табл. 15.1).

7. Сделайте вывод.

Таблица 15.1

Действия	Показания миллиамперметра	Наблюдаемое направление индукционного тока $I_i$ (направление отклонения стрелки миллиамперметра)	Установленное направление индукционного тока $I_i$ (правило Ленца)
Введение магнита в катушку			
Неподвижный магнит в неподвижной катушке			
Выведение магнита из катушки			
Движение катушки относительно неподвижного магнита			

**Опыт 2.** Результаты измерений заносите в таблицу 15.2.

1. Воспользуйтесь электрической цепью из опыта 1.

2. Быстро введите один магнит в катушку. Зафиксируйте отклонение стрелки и показания миллиамперметра. Определите направление индукционного тока  $I_i$  в катушке по правилу Ленца (табл. 15.2).

3. Быстро выведите магнит из катушки. Зафиксируйте отклонение стрелки и показания миллиамперметра. Определите направление индукционного тока  $I_i$  в катушке по правилу Ленца (табл. 15.2).

4. Быстро введите в катушку одновременно два магнита. Зафиксируйте отклонение стрелки и показания миллиамперметра. Определите направление индукционного тока  $I_i$  в катушке по правилу Ленца (табл. 15.2).

5. Быстро выведите оба магнита из катушки. Зафиксируйте отклонение стрелки и показания миллиамперметра. Определите направление индукционного тока  $I_i$  в катушке по правилу Ленца (табл. 15.2).

Таблица 15.2

Действия	Показания миллиамперметра	Наблюдаемое направление индукционного тока $I_i$ (направление отклонения стрелки миллиамперметра)	Установленное направление индукционного тока $I_i$ (правило Ленца)
Введение 1-го магнита в катушку			
Выведение 1-го магнита из катушки			
Введение 2-х магнитов в катушку			
Выведение 2-х магнитов из катушки			

6. Сделайте вывод.

**Опыт 3.** Результаты измерений заносите в таблицу 15.3.

1. Соедините последовательно катушку, миллиамперметр и реостат. Начертите схему электрической цепи.

2. Введите и выведите из катушки один полосовой магнит при  $R=0$ . Зафиксируйте данные миллиамперметра. Определите направление индукционного тока  $I_i$  в катушке по правилу Ленца (табл. 15.3).

3. Выполните п. 2, если реостат  $R = 6$  Ом вывести полностью (табл. 15.3).

4. Сделайте вывод.

Таблица 15.3

Действия	Показания миллиамперметра	Наблюдаемое направление индукционного тока $I_i$ (направление отклонения стрелки миллиамперметра)	Установленное направление индукционного тока $I_i$ (правило Ленца)
Введение 1-го магнита в катушку при $R=0$			
Выведение 1-го магнита из катушки при $R=0$			
Введение 2-х магнитов в катушку при $R=6$ Ом			
Выведение 2-х магнитов из катушки при $R=6$ Ом			

### Контрольные вопросы

1. Запишите на символическом языке закон электромагнитной индукции.
2. Сформулируйте правило Ленца.
3. Зависит ли ЭДС индукции и сила индукционного тока от геометрических размеров и вещества катушки?

## НАБЛЮДЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

**Цель:** пронаблюдать интерференционные картины в результате интерференции света на тонких пленках.

**Оборудование:** стеклянная пластина – 2 шт., проволочная рамка, мыльная вода, светофильтры, цветные карандаши.

### Краткие теоретические сведения

Явления интерференции и дифракции доказывают волновую природу света.

Явление *интерференции* света – это сложение двух и более когерентных волн, вследствие которого наблюдается устойчивая во времени картина усиления или ослабления результирующих световых колебаний в различных точках пространства. Для образования устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы источники волн были *когерентными*, т.е. имели одинаковую частоту и разность фаз их колебаний была постоянной.

Существует множество методов наблюдения интерференции света, самыми простыми из них – наблюдение интерференции света на воздушном клине и водяном клиньях.

### Порядок выполнения работы

1. Стеклянные пластины тщательно протрите, сложите вместе и крепко сожмите пальцами.

2. Рассмотрите пластины в отраженном свете на темном фоне. В местах касания пластинок наблюдаются интерференционная картина в виде цветных полос кольцеобразной формы. Зарисуйте интерференционную картину.

3. Измените силу надавливания пальцев на пластины. Зарисуйте полученную картину и сравните с предыдущей.

4. Сделайте вывод.

5. Расположите светофильтр между глазом и пластинками. Зарисуйте полученную картину.

6. Сделайте вывод.

7. Опустите проволочную рамку в мыльный раствор. Выньте рамку из раствора.

8. Стекая вниз под действием силы тяжести, пленка образует водяной клин с малым преломляющим углом. Пронаблюдайте за изменением формы и перемещением цветных полос. Зарисуйте полученную интерференционную картину.

9. Сделайте вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие источники называют когерентными?
2. Чем отличаются интерференционные картины в белом и монохроматическом свете?
3. В чем отличие интерференционных картин, наблюдаемых в отраженном и проходящем свете?
4. Почему интерференционная картина от бензиновой пленки на поверхности воды не имеет чистых цветов?

### **Дополнительное задание**

Объясните интерференционную картину, наблюдаемую на воздушной прослойке между плоской и сферической поверхностями.

## НАБЛЮДЕНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА

**Цель:** пронаблюдать дифракционные картины на узких щелях и малых отверстиях.

**Оборудование:** электрическая лампа с прямой нитью накала, источник постоянного тока, реостат, ключ, соединительные провода, дифракционные элементы в виде непрозрачной преграды с узкими щелями различной ширины и малыми отверстиями разных диаметров, лезвия, иголки, светофильтры, экран, цветные карандаши.

### Краткие теоретические сведения

Явление дифракции присуще любому волновому процессу. *Дифракция* – это огибание волнами краев препятствий. Явление дифракции можно объяснить с помощью принципа Гюйгенса: каждая точка волнового фронта становится источником вторичных волн.

Наблюдать дифракцию света очень сложно из-за того, что длина световых волн очень мала (очень маленький угол отклонения света от прямолинейного направления распространения). Поэтому для наблюдения отчетливой дифракционной картины используют очень препятствия, размеры которых не превышают сотых долей миллиметра.

### Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь из последовательно соединенных источника тока, ключа, реостата и лампочки. Начертите схему электрической цепи.
2. Замкните ключ. Установите лампочку так, чтобы нить накала располагалась вертикально к наблюдателю.
3. Экран с вертикальной щелью малой ширины установите плотно к глазу, так чтобы щель нить накала и глаз находились на одной прямой. Сквозь щель посмотрите на нить накала лампы и зарисуйте наблюдаемую дифракционную картину.
4. Постепенно удаляйте щель от глаза и пронаблюдайте за изменением дифракционной картины. Зарисуйте увиденное. Сделайте выводы.
5. Выполните задания пп. 2-4 для щели большей ширины. Сделайте выводы.
6. Выполните задания пп. 2-4 для экрана с круглыми отверстиями различных диаметров. Сделайте выводы.
7. Выберите наиболее четкие дифракционные картины на щели и на отверстиях. Выполните задания п.3 в монохроматическом свете, используя светофильтры. Результаты отразите в выводах.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое явление называют дифракцией?
2. Укажите различия в дисперсионном и дифракционном спектрах.
3. Как явление дифракции объяснить при помощи принципа Гюйгенса? Поясните.
4. Если, прищурив глаз, смотреть через ресницы на источник света, то картинка отказывается радужно окрашенной. Почему?

### **Дополнительное задание**

Как в домашних условиях пронаблюдать двумерный дифракционный спектр?

## НАБЛЮДЕНИЕ СПЛОШНОГО И ЛИНЕЙЧАТОГО СПЕКТРОВ ВЕЩЕСТВА

**Цель:** пронаблюдать сплошной и линейчатые спектры различных веществ с помощью призмы прямого зрения (или спектроскопа однострубногo).

**Оборудование:** источник белого света (лампа дневного света), стеклянная призма, призма прямого зрения (или спектроскоп однострубный), штатив, спектральные трубки с водородом, неоном, гелием, высоковольтный индуктор «Спектр -1», источник питания, электрическая лампочка на подставке 3-6 В, реостат на 6-10 Ом, соединительные провода, спиртовка, пробирки с водными растворами солей  $\text{NaCl}$  и  $\text{BaCl}_2$ , цветные карандаши.

### Краткие теоретические сведения

Атомы любого химического элемента дают спектр, не похожий на спектры всех других элементов, т.е. они излучают определенный набор длин волн. На этом и основан *спектральный анализ* – метод определения химического состава вещества по его спектру.

Для точного исследования спектров применяют приборы, позволяющие получить четкий спектр (разделяют волны различной длины и не допускающие перекрытия отдельных участков спектра). Чаще всего основной частью спектрального аппарата является призма или дифракционная решетка. Разложение белого света в спектр можно объяснить зависимостью показателя преломления вещества призмы от длины световой волны, т. е. каждой длине волны соответствует свой угол отклонения для данной призмы (рис. 18.1).

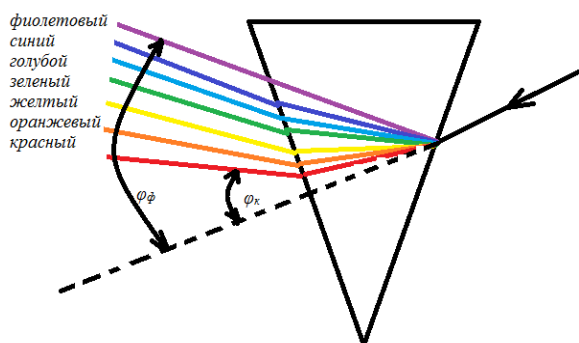


Рис. 18.1

Самым простым из спектральных аппаратов является спектроскоп прямого зрения (спектроскоп однострубный). Его основные части: призма, собирающая линза, коллиматорная щель.



## Порядок выполнения работы

### I. Наблюдение сплошного спектра

1. Поместите стеклянную призму с вертикально размещенным ребром преломляющего угла перед глазом.
2. Поворачивайтесь вместе с призмой вокруг вертикальной оси в сторону преломляющего угла до тех пор, пока в поле зрения не появится разложенный спектр света.
3. Выделите основные цвета спектра и порядок их расположения относительно основания призмы. Зарисуйте наблюдаемый спектр.
4. Повторите наблюдения через другой преломляющий угол призмы. Зарисуйте полученный спектр. Сделайте вывод.
5. Закрепите спектроскоп прямого зрения в лапке штатива. Коллиматорную щель установите вертикально.
6. Перед щелью установите на небольшом расстоянии электрическую лампочку, чтобы нить накала находилась напротив щели.
7. Подсоедините последовательно лампочку к источнику тока через ключ и реостат.
8. При помощи ползунка реостата добейтесь полного накала лампы. Зарисуйте наблюдаемый спектр.
9. Уменьшая степень накала нити лампы, наблюдайте за изменением спектра. Сделайте вывод.

### II. Наблюдение линейчатых спектров веществ

1. Установите трубку с гелием в держатель прибора для зажигания спектральных трубок «Спектр -1» и включите в сеть. Зарисуйте линейчатый спектр излучения гелия.
2. Пронаблюдайте за всеми линейчатыми спектрами имеющихся спектральных трубок. Зарисуйте спектры и сделайте вывод относительно наблюдаемых спектров.
3. Расположите перед щелью коллиматора спектроскопа пламя спиртовки и по очереди вносите в него клочки ваты, предварительно смоченные в растворах солей  $\text{NaCl}$  и  $\text{BaCl}_2$ . Зарисуйте спектры.
4. Сделайте соответствующий вывод.
5. Сформулируйте *общие выводы* относительно характера наблюдаемых спектров.

### Контрольные вопросы

1. Как связаны спектры поглощения и испускания одного и того же вещества?
2. Какой спектр получится от раскаленного гвоздя?
3. В чем будет различие спектров, полученных при помощи призм с разными преломляющими углами?

### Дополнительное задание

При свете какого источника – солнца, лампы накаливания, керосиновой лампы – быстрее утомляются глаза? Почему?

## ИЗУЧЕНИЕ ТРЕКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПО ФОТОГРАФИЯМ

**Цель:** научиться анализировать треки заряженных частиц, движущихся в магнитном поле.

**Оборудование:** фотографии треков заряженных частиц в камере Вильсона, лист прозрачной бумаги, линейка измерительная, треугольник, карандаш.

### Краткие теоретические сведения

Приборы, применяемые для регистрации радиоактивных излучений и частиц, делятся на две группы:

- 1) приборы, позволяющие регистрировать прохождение частицы через определенный участок пространства и в некоторых случаях определять ее характеристики;
- 2) приборы, позволяющие наблюдать (фотографировать) следы частиц в веществе.

Практически все методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений и частиц основаны на их способности производить ионизацию и возбуждение атомов среды.

Камера Вильсона относится ко второй группе регистрирующих приборов. Для выполнения точных измерений физических характеристик регистрируемых частиц камеру Вильсона помещают в постоянное магнитное поле, что приводит к искривлению треков частиц. Запишем второй закон Ньютона для данного движения частицы:

$$|q|\vartheta B = m \frac{v^2}{R}, \quad (1)$$

где  $q$  – заряд частицы,  $v$  – скорость частицы,  $m$  – масса частицы,  $B$  – индукция магнитного поля,  $R$  – радиус кривизны траектории частицы.

Получим из формулы (1) выражения для нахождения радиуса  $R$  кривизны траектории частицы

$$R = \frac{mv}{|q|B}. \quad (2)$$

Как видно из формулы (2), что, зная радиус  $R$  кривизны траектории, можно найти импульс частицы, а, следовательно, и ее кинетическую энергию

$$E_k = \frac{(BRq)^2}{2m}. \quad (3)$$

Формула (3) справедлива только для нерелятивистских частиц.

Существует несколько способов определения радиуса  $R$  кривизны траектории движения частицы.

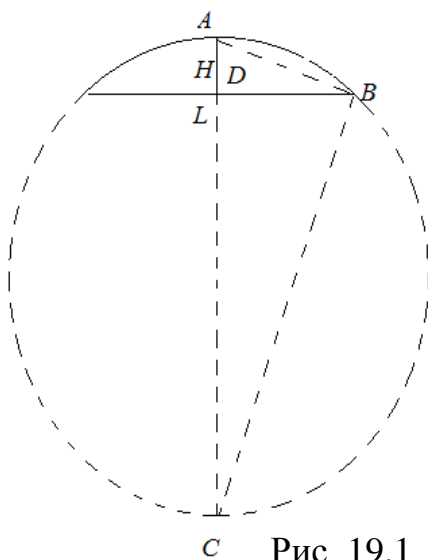


Рис. 19.1

1. *Способ шаблонов:* соотносят дугу известного радиуса с заданным отрезком траектории. Если дуги совпадают, то и радиусы кривизны дуг равны.

2. *Способ двух перпендикуляров к двум хордам* проводят серединные перпендикуляры к двум хордам; точка пересечения этих перпендикуляров будет центром данной окружности.

3. *Способ «стрелки» прогиба.* Проводят хорду и через ее середину восстанавливают перпендикуляр до пересечения с дугой (рис. 19.1).

Измерив «стрелку» прогиба  $H$  и длину хорды  $L$ , находим радиус  $R$  кривизны дуги по формуле

$$R = \frac{L^2}{8H} + \frac{H}{2} \quad (4)$$

Анализ фотографий треков частиц позволяет:

- 1) определить заряд и скорость частицы (по толщине трека);
- 2) вычислить энергию частицы для однородной среды (по длине трека);
- 3) идентифицировать частицы по фотографиям.

### Порядок выполнения работы

I. На фотографии (рис. 19.2) видны треки частиц, движущихся в магнитном поле с индукцией  $B = 2,2$  Тл. Вектор индукции магнитного поля перпендикулярен плоскости, в которой лежат траектории движущихся частиц, а также к плоскости фотографии. Нижний трек принадлежит протону с начальной энергией  $E = 1,6$  МэВ.

1. Докажите, что протон не является релятивистской частицей.
2. Определите направление движения частиц и направление силовых линий магнитного поля.
3. Определите отношения заряда к массе для частицы, которая описала верхний трек, если ее начальная скорость равна начальной скорости протона.
4. Определите какой частице принадлежит верхний трек. Вычислите ее начальную скорость.

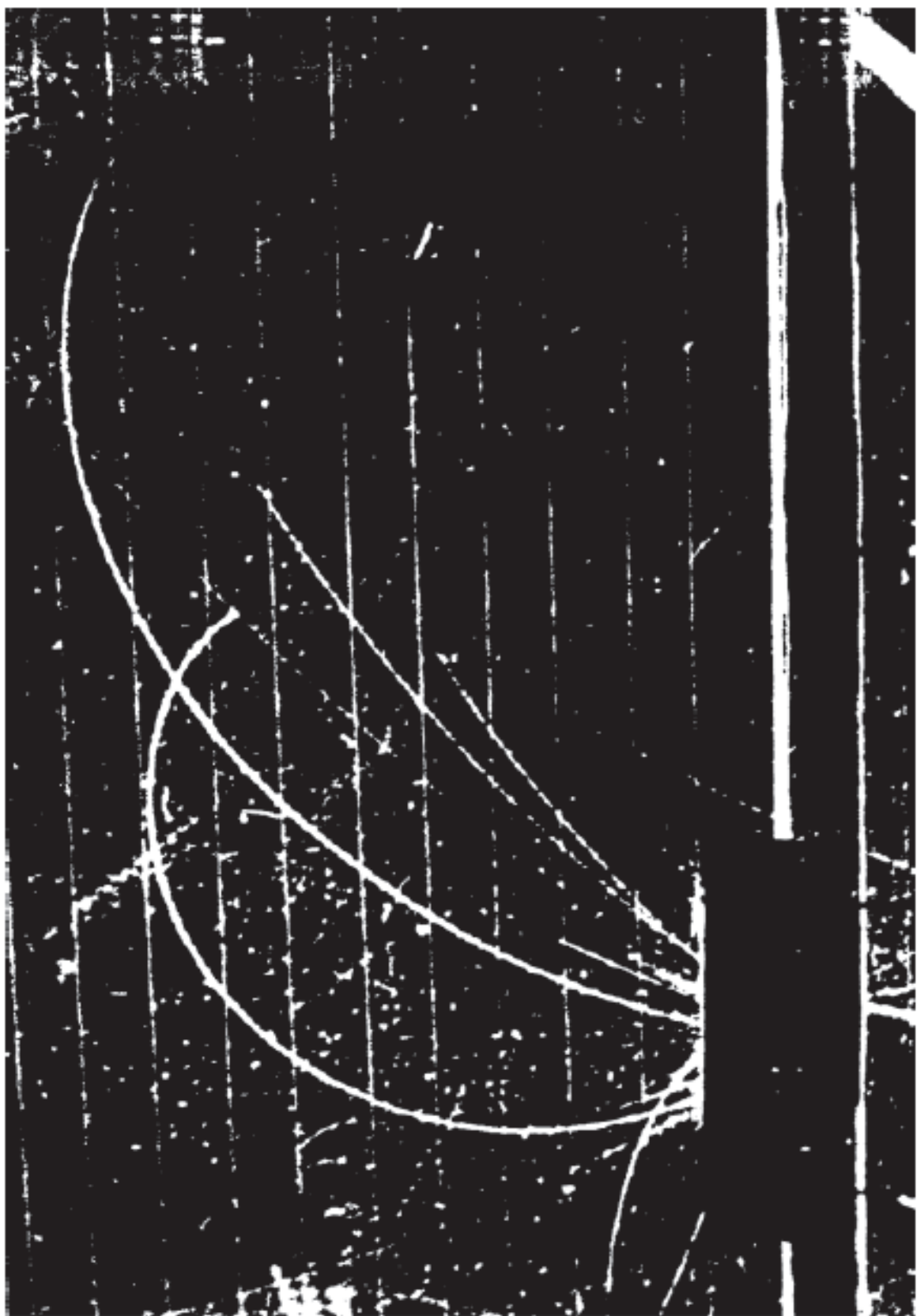


Рис. 19.2

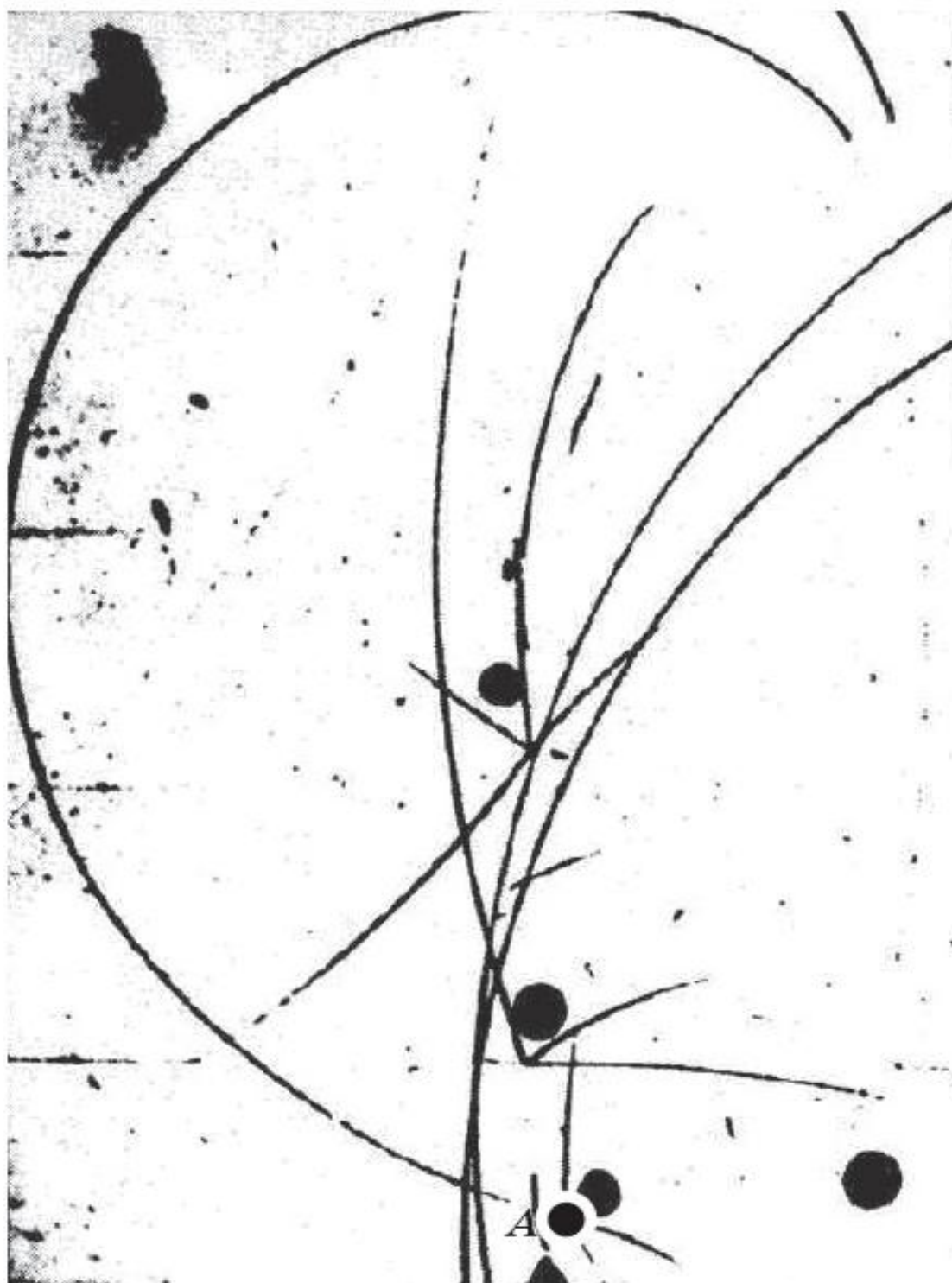


Рис. 19.2

II. На снимке (рис. 19.2) видны треки частиц, полученных при распаде ядер. Такие группы следов из-за их вида называют звёздами распада. Распады ядер газа, наполняющего камеру Вильсона, вызваны в данном случае действием быстрых нейтронов, движущихся снизу вверх. Камера помещена в магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости фотографии. Индукция поля  $B = 1,3$  Тл. Звезда распада в точке А позволяет видеть полный пробег одного протона с начальной кинетической энергией 1,8 МэВ (протон двигался влево вверх). Кроме того, звезда содержит ещё один протон и две альфа-частицы.

1. Определите направление силовых линий магнитного поля.
2. Выберите три точки на траектории протона (в начале, в середине и в конце). Измерьте радиус кривизны траектории протона для трех выбранных точек.
3. Определите кинетическую энергию протона в начальной и конечной точках траектории.
4. Сделайте вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Укажите причины, по которым толщина трека увеличивается к концу пробега.
2. С помощью формулы (3) можно рассчитать кинетическую энергию релятивистской частицы. Запишите формулу для расчета импульса и кинетической энергии для релятивистской частицы.

### **Дополнительное задание**

Определите, ядро какого элемента распалось в точке А, если известно, что здесь произошла реакция с захватом одного нейтрона, а при распаде, кроме двух протонов и двух альфа-частиц, образовались ещё три нейтрона.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Ориентировочная схема для разработки критериев оценивания фронтальных лабораторных работ

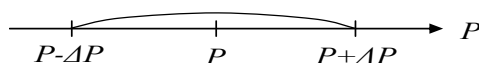
- a. Подготовка к выполнению работы -до 1 балла
- b. Выполнение экспериментальной части - 4-6 баллов
- c. Обработка и оформление результатов работы (расчеты, вывод, контрольные вопросы) – 4-6 баллов
- d. Дополнительное задание - до 2 баллов

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

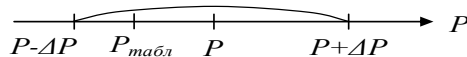
Любое измерение осуществляется с погрешностью  $\Delta$ , которая складывается из инструментальной погрешности  $\Delta_{np}$  и погрешности отсчета  $\Delta_{отсч}$ . Инструментальная погрешность обусловлена погрешностью применяемых средств измерений, погрешность отсчета связана с несовершенством органов чувств оператора. Инструментальная погрешность (если не указано иное) считается равной половине цены деления шкалы. Такое же значение берется и для погрешности отсчета

$$\Delta = \Delta_{np} + \Delta_{отсч}.$$

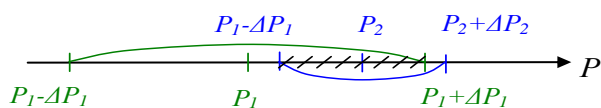
Абсолютная погрешность показывает диапазон, в котором находится допустимое значение измеряемой величины  $P$ : при абсолютной погрешности  $\Delta P$  диапазон измеряемой величины лежит в пределах от  $P - \Delta P$  до  $P + \Delta P$ .



Если известно табличное значение для измеряемой величины, то при корректно проведенном эксперименте оно должно попадать в экспериментальный интервал допустимых значений



При измерениях, осуществляющихся разными методами, достоверное значение измеряемой величины лежит в области перекрывания интервалов допустимых значений измеряемой величины, полученных каждым из методов. Так для двух методов измерения физической величины  $P$  ( $P_1$  и  $P_2$  – значения измеряемой величины, полученные первым и вторым методами,  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  – абсолютные погрешности каждого из методов соответственно)



Относительная погрешность указывает на точность измерения и выражается отношением абсолютной погрешности  $\Delta P$  к измеренному значению величины  $P$ . Она может быть выражена в долях от единицы или в процентах

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{P}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100\%.$$



### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Измеряемая величина	Средство измерения	Пределы измерения	Цена деления	Допустимая инструментальная погрешность
длина	линейки: -ученическая	до 50 см	1 мм	$\pm 1$ мм
	-чертежная	до 50 см	1 мм	$\pm 0,2$ мм
	-инструментальная (стальная)	до 50 см	1 мм	$\pm 0,1$ мм
	демонстрационный метр лента измерительная штангенциркуль микрометр	100 см  150 см 150 мм 25 мм	1 см  0,5 см 0,1 мм 0,01 мм	$\pm 0,5$ см  $\pm 0,5$ см $\pm 0,05$ мм $\pm 0,005$ мм
время	секундомер	0 – 30 мин	0,2 с	$\pm 1$ с за 30 мин
объем	измерительный цилиндр (мензурка)	До 250 мл	1 мл	$\pm 1$ мл
масса	весы учебные	200 г		$\pm 0,01$ г
сила	динамометр школьный	4 Н	0,1 Н	$\pm 0,05$ Н
давление	барометр-анероид	720 -780 мм рт.ст.	1 мм рт.ст.	$\pm 3$ мм рт. ст.
сила тока	амперметр школьный	2 А	0,1 А	$\pm 0,05$ А
напряжение	вольтметр школьный	6 В	0,2 В	$\pm 0,15$ В

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Гайдучок Г.М.** Фронтальний експеримент з фізики в 7-11 класах середньої школи [Посібн. для вчителя] / Г.М. Гайдучок, В.Г. Нижник. – К., Рад. шк., 1989.
2. **ГОСТ 16.263-70.** Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
3. **Деденко Л.Г.** Математическая обработка и оформление результатов эксперимента / Л.Г. Деденко, В.В. Керженцев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977.
4. **Демонстрационный** эксперимент по физике в средней школе. - Ч.1 / под ред. А.А. Покровского. - М.: Просвещение, 1978.
5. **Демонстрационный** эксперимент по физике в средней школе. - Ч.2 / под ред. А.А. Покровского. - М.: Просвещение, 1978.
6. **Кабардин О.Ф.** Физика: Справочные материалы. Учеб. пособие для учащихся. - Изд. 3-е, перераб. - М.: Просвещение, 1919. - 361 с.
7. **Марголис А.А.** и др. Практикум по школьному физическому эксперименту : учеб. пособие для пединститутов. - М.: Просвещение, 1968.
8. **Методика** преподавания физики в 8-10 классах средней школы \ под ред. В.П. Орехова, А.В. Усовой, - М.: Просвещение, 1980.
9. **Програми** для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. Астрономія: 7-12 класи. - К.: Перун, 2005.
10. **Сборник** вопросов и задач по физике для VIII-X классов средней школы / под ред. П.А. Знаменского. – М., «Учпедгиз», 1961.
11. **Тульчинский М.Е.** Сборник качественных задач по физике. Для средней школы. [Пособие для учителей] / М.Е. Тульчинский. – М., «Просвещение», 1965.
12. **Фетисов В.А.** Лабораторные работы по физике. Для учащихся 8-10 классов / В.А. Фетисов. – М., «Учпедгиз», 1961.
13. **Фронтальные** лабораторные занятия по физике в средней школе. [Пособие для учителей] / под ред. А.А. Покровского. – М., «Просвещение», 1974.

## ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ

1. **Бугаев А.В.** Методика преподавания физики в средней школе. Теоретические основы. / А.В. Бугаев. - М.: Просвещение, 1981.
2. **Буров В.А.** Демонстрационные опыты по физике в VI - VII кл. средней школы / под ред. А. А. Покровского. - М.: Просвещение, 1970.
3. **Гайдучок Г.М.** Фронтальний експеримент з фізики в 7-11 класах середньої школи [Посібн. для вчителя] / Г.М. Гайдучок, В.Г. Нижник-К., Рад. шк., 1989.
4. **Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. - Ч.1** / под ред. А.А. Покровского. - М.: Просвещение, 1978.
5. **Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. - Ч.2** / под ред. А.А. Покровского. - М.: Просвещение, 1978.
6. **Лабораторные работы. Физика. 11 класс** / Составители: Н.А. Гладушина, А.Н. Куландина. - Луганск: Учебная книга. - 2003.
7. **Миргородський Б.Ю.** Шкільний фізичний експеримент. - К.: Рад. шк., 1972.
8. **Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б.** Физика: учебник для 10 кл. сред. шк. - М.: Просвещение, 1992.
9. **Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б.** Физика: учебник для 11 кл. общеобр. учреждений. 4-е изд. - М.: Просвещение, АО «Моск. учебник», 1997.
10. **Програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. Астрономія: 7-12 класи.** - К.: Перун, 2005.
11. **Учебное оборудование для кабинетов физики общеобразовательных учреждений** / Ю.И. Дик, Ю.С. Песецкий, Г.Г. Никифоров и др.; под ред. Г.Г. Никифорова. - М.: Дрофа, 2005.
12. **Учебное оборудование по физике в средней школе: пособие для учителей** / Под ред. А.А. Покровского. - М.: Просвещение, 1973.
13. **Фетисов В.А.** Лабораторные работы по физике [Для учащихся 8-10 классов]. / В.А. Фетисов. - М., «Учпедгиз», 1961.
14. **Фронтальные лабораторные занятия по физике в средней школе. Пособие для учителей.** Под ред. А.А. Покровского. Изд. 2-е, перераб. М., «Просвещение», 1974.

## **АННОТАЦИЯ**

В пособии представлены рекомендации по методическому обеспечению работ практикума по ШФЭ, включающие лабораторные работы по физике 10 и 11 классов (академический уровень) и приложения. Каждая работа содержит краткие теоретические сведения, детальное описание последовательности выполнения, снабженное расчетными формулами и методами оценки правильности полученных результатов.

Предназначено для студентов специальности «Физика» ВУЗов, а также будет полезным для преподавателей физики лицеев, гимназий, учителей общеобразовательных школ.

## **АНОТАЦІЯ**

Посібник представляє собою рекомендації методичного характеру з організації та проведення робіт практикуму з ШФЕ, що включають лабораторні роботи з фізики для 10 і 11 класів (академічний рівень) і додатки. Кожна робота містить короткі теоретичні відомості, детальний опис послідовності виконання дослідів, який містить розрахункові формули і методи оцінки правильності отриманих результатів.

Рекомендовано для студентів спеціальності «Фізика» ВНЗ, а також буде корисним для викладачів фізики ліцеїв, гімназій, вчителів загальноосвітніх шкіл.

## **ANNOTATION**

In a manual presented recommendation on the methodical providing of works of practical work on SHFE, including laboratory works on physics 10 and 11 classes (academic level) and appendixes. Every work contains short-story theoretical information, detailed description of sequence of implementation, supplied calculation formulas and methods of estimation of rightness of the got results.

It is intended for the students of speciality of «Physicist» of Institutes of higher, and also will profit for the teachers of physics of lyceums, gymnasia, teachers of general schools.

Навчально-методичне видання

**КРАСНЯКОВА Тетяна Вадимівна**  
**ЧОРНОБАЙ Катерина Григоріївна**  
**ЖИХАРЄВ Ігор Васильович**

## **ФРОНТАЛЬНІ ЛАБОРАТОРНІ РАБОТИ**

**Методичний посібник до практики зі шкільного фізичного експерименту для студентів V курсу спеціальності 7.040203 «Фізика»**

(російською мовою)

Посібник представляє собою рекомендації методичного характеру з організації та проведення робіт практикуму з ШФЕ, що включають лабораторні роботи з фізики для 10 і 11 класів (академічний рівень) і додатки. Кожна робота містить короткі теоретичні відомості, детальний опис послідовності виконання дослідів, який містить розрахункові формули і методи оцінки правильності отриманих результатів.

Рекомендовано для студентів спеціальності «Фізика» ВНЗ, а також буде корисним для викладачів фізики ліцеїв, гімназій, вчителів загальноосвітніх шкіл.

Компьютерный макет – К. Г. Чернобай  
Корректор – І. М. Крохмаль  
Дизайн обложки – К. А. Свиридова

---

Здано до склад. 16.04.2012 р. Підп. до друку 19.02.2012 р.  
Формат 80X64 1/16. Папір офсет. Гарнітура Times New Roman.  
Друк ризо графічний. Умов. друк. арк. \_\_\_\_\_. Наклад 100 прим. Зам. № \_\_\_\_.

---

### ***Видавець***

**Видавництво Державного закладу**  
**«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»**  
вул. Оборонна, 2, м. Луганськ, 91011. Т/ф: (0642) 58-03-20  
e-mail: [alma-mater@list.ru](mailto:alma-mater@list.ru)  
*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3459 від 09.04.2009 р.*

### ***Виготовлювач***

**ТОВ «Поліграфічний центр «Максим»**  
вул. Челюскінців, 16-а, м. Луганськ, 91011. Т/ф: 34-40-21  
*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3036 від 17.12.2007 р.*