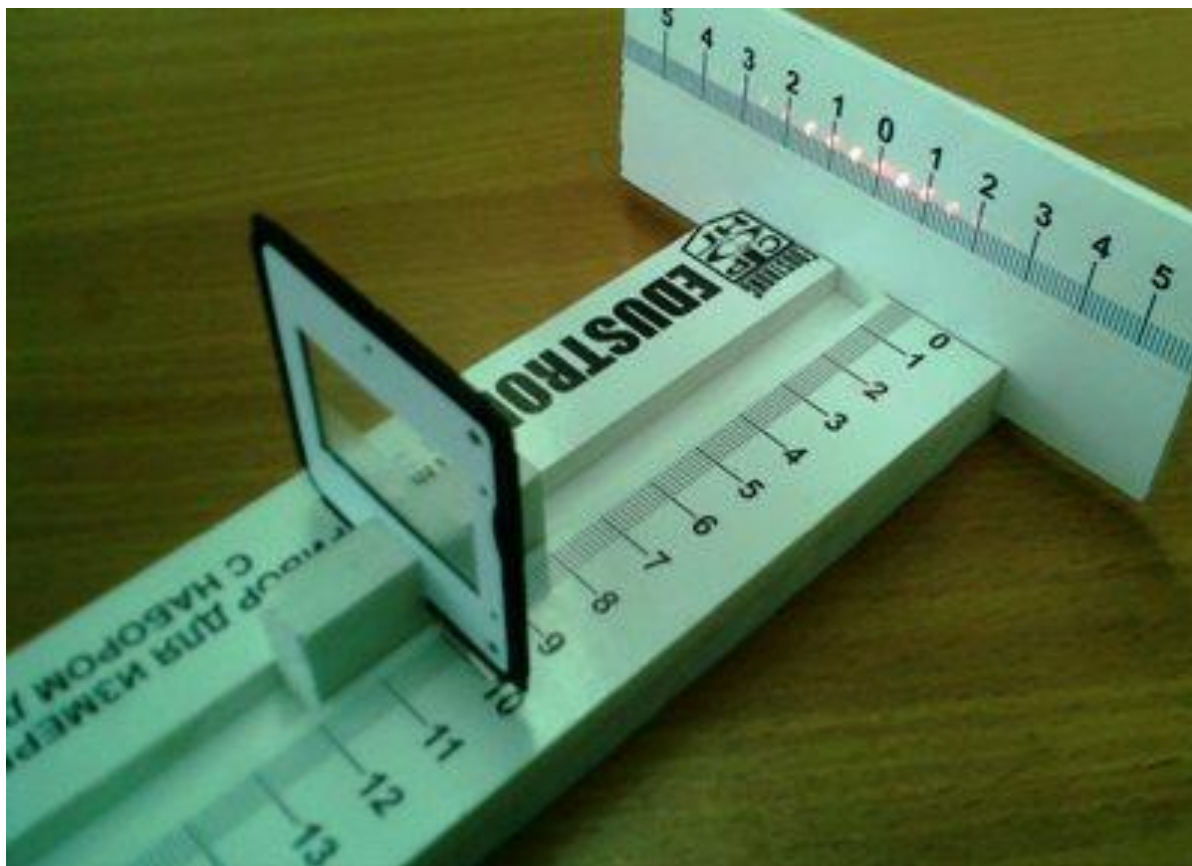




ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ В ПРОФИЛЬНЫХ КЛАССАХ

ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ В ПРОФИЛЬНЫХ КЛАССАХ

Методическое пособие

Автор-составитель: Попова И.А.,
учитель физики

ББК

Автор-составитель И.А. Попова, учитель физики, «Почетный работник общего образования Российской Федерации».

Краткая аннотация

В пособии описаны руководства к выполнению лабораторных работ физических практикумов для обучающихся 10-11 классов профильного уровня. Тематика и содержание работ согласованы с Примерной программой по физике для 10-11 классов общеобразовательных учреждений (профильный уровень): О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов, - М., «Просвещение», 2007 г. и учебниками: О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, Э.Е. Эвенчик, С.Я. Шамаш, А.А. Пинский, С.И. Кабардина, Ю.И. Дик, Г.Г. Никифоров, Н.И. Шефер Физика. 10 класс, Физика. 11 клас», М.: - Просвещение, 2007 г.,

Подбор лабораторных работ рассчитан на использование нового ИКТ - оборудования и адаптирована к экспериментам и лабораторным работам из лаборатории L – микро, завязанной на работе с компьютерным измерительным блоком.

В сборник включены лучшие исследовательские работы обучающихся, представленные на конкурсах, опубликованные, имеющие большое количество положительных отзывов.

Содержание

Введение	3
I Подготовка к практикуму в X (XI) классе	
I.1.1 Оборудование практикума	5
I.1.2 Подготовка учащихся	6
I.1.3 Методика проведения занятий	9
I.1.4 Правила выполнения работ лабораторного практикума	11
I.1.5 Структура деятельности учителя и ученика	12
II Правила выполнения и оформления лабораторной работы	14
Подготовка к работе	14
Выполнение работы	15
Случайные и систематические погрешности	17
Абсолютные и относительные погрешности	17
Погрешности средств измерений	18
Класс точности электроизмерительных приборов	19
Погрешность отсчета	19
Полная абсолютная погрешность прямых измерений	20
Запись окончательного результата прямого измерения	20
Погрешности косвенных измерений	21
III Лабораторные работы в X классе	23
III.1. Проверка соотношения перемещений при равноускоренном движении	23
III.2. Изучение движения тела, брошенного горизонтально	26
III.3. Вращение жидкости	30
III.4. Исследование влияния площади трущихся поверхностей на силу трения	35
III.5. Изучение устройства и действия подвижного блока	38
III.6. Исследование изобарного процесса	42
III.7. Определение относительной влажности воздуха	46
III.8. Определение коэффициента поверхностного натяжения	

жидкости	53
III.9. Исследование электрического поля конденсатора	56
III.10. Расширение предела измерений вольтметра	61
III.11. Расширение предела измерений амперметра	63
III.12. Измерение ЭДС внутреннего сопротивления источника тока	66
III.13. Исследование зависимости мощности, потребляемой лампой накаливания, от напряжения на ее зажимах	69
III.14. Исследование электрических свойств полупроводников	74
III.15. Изучение эффекта Зеебека	78
III.16. Изучение явления электромагнитной индукции	83
IV Лабораторные работы в XI классе	90
III.1. Устройство и работа трансформатора	90
III.2. Сборка и настройка простейшего радиоприемника	94
III.3. Определение показателя преломления вещества	98
III.4. Определение показателя преломления вещества и оптической силы системы двух линз	102
III.5. Наблюдение интерференции, дифракции и поляризации света	107
III.6. Определение длины световой волны	114
III.7. Исследование явления фотоэффекта	118
III.8. Градуирование спектроскопа и измерение длин световых волн спектральных линий газов	124
III.9. Изучение треков заряженных частиц по фотографиям	128
III.10. Исследование естественной радиоактивности продуктов питания	135
III.11. Астрономическое наблюдение солнечных пятен, поверхности Луны, двойных звезд, туманностей	138
V Литература	145
Приложение	148

Введение

Физика – наука экспериментальная. Все виды эксперимента – демонстрационный, фронтальный и домашний – имеют несомненную дидактическую и воспитывающую значимость. Особенно велика роль лабораторного практикума в старших классах, т.к. именно на этих занятиях учащиеся обобщают и систематизируют изученный материал, самостоятельно выполняя лабораторный эксперимент. По ныне действующим программам¹ для средней общеобразовательной школы (профильный уровень) на лабораторный практикум отводится по 20 ч учебного времени в 10-м и 11-м классах, указан примерный перечень работ, которые по усмотрению учителя могут быть выполнены как одно- или двухчасовые. Причем сказано, что «при отборе работ для физического практикума в каждом классе следует обеспечить охват основных вопросов разных тем программы». Выполнение работ практикума по существующим на сегодняшний день описаниям предполагает использование нового ИКТ - оборудования и адаптирована к экспериментам и лабораторным работам из лаборатории «L – микро», завязанной на работе с компьютерным измерительным блоком.

В практикум включены работы, которые позволят, с одной стороны, повторить, углубить и обобщить основные вопросы пройденного курса, а с другой стороны – дадут возможность вести практические занятия на новой, более высокой экспериментальной базе, чем та база, на которой строятся фронтальные работы.

Задачи практикума

- Обучить методам и приемам применения теоретических сведений, приобретаемых на уроках, к реализации некоторых конкретных физических заданий;

1. Саенко П.Г. и др. Программы общеобразовательных учреждений. Физика. 10-11 классы. / П.Г. Саенко, В.С. Даниюшенков, О.В. Коршунова, Н.В. Шаронова, Е.П. Левитан, О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, - М., «Просвещение», 2007 г.; Сборник нормативных документов. Физика. Федеральный компонент государственного стандарта. Примерные программы по физике./ сост. Э.Д. Днепров, А.Г. Аркадьев. 2-е изд., – «Дрофа», 2008 г., 107 с.

- Обучить методам и технике проведения самостоятельных физических исследований. Приобретение практических навыков.
- Экспериментальное изучение и проверка основных физических законов.
- Обучить практическому анализу получаемых экспериментальных результатов: оценка порядков изучаемых величин, их точности и достоверности.
- Обучить технике применения измерительных приборов и лабораторного оборудования в процессе выполнения самостоятельных исследований.
- Обучение приемам и методам обработки и оформление экспериментальных результатов: ведение записей в тетрадях, представление результатов в виде таблиц, графиков.
- Повторить и углубить пройденный материал.

Цель методического пособия:

разработать дидактическую модель физического практикума в 10 – 11 - х классах для профильного уровня, адаптированной к экспериментам и лабораторным работам из лаборатории «L – микро».

VI Подготовка к практикуму в X (XI) классе

I. 1 Оборудование практикума

Проведение лабораторных работ физического практикума, очевидно, требует соответствующего учебного оборудования более сложного, чем для фронтальных занятий. Это оборудование должно полностью удовлетворять методической задаче практикума, находить максимальное применение в процессе обучения и в то же время быть доступным школе по своей стоимости.

Для практикума во многих случаях используются приборы, необходимые и для демонстрационных опытов или являются общим лабораторным оборудованием физического кабинета.

В настоящее время все больше школ получают новое оборудование - лабораторию «L-микро», завязанную на компьютерном измерительном блоке. Компьютер универсален, он - гораздо лучшая "контролирующая машина", чем те, что разрабатывались ранее. При работе с ним можно использовать все полезные наработки программированного обучения, им можно заменить телевизор и кинопроектор, таблицы, плакаты, кодограммы, калькуляторы и многое другое.

Подготовка оборудования

Размещая оборудование практикума в кассе, необходимо внимательно просмотреть каждую работу с точки зрения выбора наиболее подходящих условий для ее выполнения.

В некоторых работах оборудование выходит за пределы площади стола и занимает часть прохода между столами. Эти работы надо разместить так, чтобы учащиеся других звеньев не могли мешать выполнению эксперимента. Установленное для практикума оборудование сохраняется на все время занятий, после того как все приборы размещены, необходимо проверить действие каждой уста-

новки, каждого прибора. Как правило, все приборы в практикуме должны быть подготовлены. В подготовительной работе существенную помощь преподавателю может оказать лаборант.

Следует учесть, что среди работ практикума можно использовать лишь одну работу, рассчитанную на компьютерный измерительный блок. Например, в физическом практикуме 1, охватывающем «Механику» и «Молекулярную физику», из 8 предложенных работ одна – «Вращение жидкости», рассчитана на работу с компьютером, а остальные - на работы из лабораторных комплектов, включающих в себя датчики времени.

После размещения работ практикума составляется расписание сроков выполнения работ в практикуме. С этой целью работы нумеруются с первого по последнюю, а группа учащихся делится по звеньям из двух- трех человек; звенья сохраняются на все время занятий. Учитель разъясняет учащимся последовательность перехода от одной работы к другой.

I. 2 Подготовка учащихся

Практикум проводится после того, как учащиеся накопили достаточные знания изучаемого материала и смогут разобраться в более сложных приборах, установках и опытах. Могут понять целесообразность применения того или иного измерительного прибора для данного опыта, разобраться в методе измерения, во вносимых поправках и расчетах погрешностей.

Перед занятиями практикума учащимся необходимо иметь краткую письменную инструкцию, по которой можно было бы заранее подготовиться к предстоящей работе. В инструкцию, как правило, включается содержание и метод работы, описание конструкции приборов, порядок выполнения работы, порядок записи результатов опыта и вычисления. Инструкция, как правило, должна содержать следующие элементы:

— Краткие сведения из теории изучаемого вопроса («Введение»);

- Краткое описание приборов, если они неизвестны учащимся («Оборудование»);
- Метод выполнения работы («Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы»);
- Порядок записи результатов измерений и вычислений («Выполнение работы»);
- Дополнительные вопросы или экспериментальные упражнения («Контрольные вопросы», «Дополнительное задание»).

Объем инструкции будет в основном зависеть от того, насколько удачно раскрывалось содержание той или иной лабораторной работы на классных занятиях, и от самого характера работы. При составлении инструкций следует учитывать, что некоторые работы в механике и из других разделов по своему содержанию выходят за пределы двухчасового урока. Они требуют особого внимания при подготовке или некоторого сокращения материала.

Весьма важно обратить внимание на то, чтобы инструкции были хорошо оформлены (отпечатаны, имели четкие и ясные чертежи) и вшиты в прочные папки с указанием на этих папках номера и название работы.

Папки для описания разных работ, входящих в один и тот же практикум, полезно взять разноцветные.

В таком виде инструкции удобно выдавать учащимся и обменивать; они хорошо сохраняются, несмотря на то, что много раз переходят из рук в руки: или пользуются при подготовке дома и на занятиях в классе.

Последним этапом подготовки учащихся является двухчасовая **вводная беседа**, которая должна проводится непосредственно перед началом практических занятий.

Содержанием такой беседы должны явиться следующие вопросы:

- Задачи практикума;
- Содержание практикума;
- Организация работы;
- Приемы измерения, анализ погрешностей, приближенные вычисления;
- Составление отчетов о проделанных работах.

Информация об организации работы сводится к тому, что преподаватель

- сообщает о делении учащихся одного данного класса на звенья,
- оглашает заранее составленное расписание занятий и вывешивает его на видимом месте;
- согласно расписанию выдает учащимся инструкции к очередным работам;
- указывает дальнейший порядок обмена инструкциями между звеньями;
- напоминает о необходимости соблюдения техники безопасности² при выполнении лабораторных работ и заполнении журнала ТБ.

Во вступительной беседе надо сказать и о том, как составляется учащимся **письменный отчет**.

Содержание отчета в основном должны составить

1. схематический чертеж установки, с которой проводится эксперимент,
2. порядок выполнения работы,
3. результаты наблюдений и измерений,
4. обработка результатов (вычисление погрешностей или построение графика).

Лучше всего к вопросу об отчете вернуться еще раз, после того как учитель проверит первые отчеты, и будет располагать конкретным материалом. Как правило, отчет о проделанной работе составляется сейчас же по окончании эксперимента и отдается преподавателю для проверки. Только в исключительных случаях эта работа может быть перенесено на дом.

В связи с этим было бы весьма полезно таким образом, чтобы практикум по физике проводился на двух последних уроках. Тогда учащиеся в случае необходимости могли бы задержаться на некоторое время в физическом кабинете для окончания работы.

Для отчетов практических знаний по физике полезно рекомендовать учащимся вести отдельную тетрадь.

² См. «Приложение»

I. 3 Методика проведения занятий

Постепенная подготовка учащихся к практикуму в течение года на обычных классных занятиях, а также надлежащая подготовка необходимого оборудования, описанного ранее, в достаточной степени определяют собой методику проведения занятий в практикуме.

В отличие от фронтальных лабораторных работ, которые проводятся в большинстве случаев на новом материале программы и выполняются по непосредственным указаниям преподавателя, на занятиях в практикуме учащимся предоставляется максимальная самостоятельность, так как здесь они встречаются с проработанными ранее вопросами. Руководствуясь письменными инструкциями к работам, основное содержание которых берется из пройденного материала программы, и имея набор необходимых приборов, принадлежностей, материалов, учащиеся собирают из отдельных деталей установки; они проводят эксперимент и связанные с ним необходимые наблюдения и измерения; пользуясь справочниками, обрабатывают результаты измерений и составляют отчеты.

Роль преподавателя на этих занятиях значительно отличается от той, какую он выполняет на обычном уроке, когда излагается новый материал с демонстрацией опытов, решаются для примера задачи, ведется опрос учащихся и т.п. Эта роль сводится главным образом к всестороннему наблюдению за ходом работы каждого звена.

Попутно с наблюдением преподаватель во время проведения практикума дает отдельным учащимся указания по обращению с приборами, заботясь о том, чтобы прививались правильные практические навыки. В случае необходимости он корректирует ход работы в том или ином звене, дает указания, помогающие вовремя закончить экспериментальную часть и получить надлежащие результаты, а также советы по поводу обработки полученных результатов, составления отчета и т.п.

Наблюдения за ходом выполнения работы позволяют преподавателю установить, кто из учащихся подготовился лучше (владеет теорией, ясно представляет ход работы, знает назначение отдельных приборов) и кто подготовился недос-

таточно. У первых работа спорится; они чувствуют себя увереннее, обращаются к преподавателю сравнительно редко. У вторых замечается неуверенность, отставание; они со всякой мелочью обращаются к преподавателю или к более сильным товарищам: этим учащимся требуется помощь. Кроме того, преподаватель легко может видеть, кто из учащихся выполняет работу тщательно и аккуратно, стремясь добиться лучших результатов, и кто ведет ее поспешно, без должного прилежания, а иногда без понимания основной сути дела, формально. Все это дает преподавателю богатый материал, необходимый для дальнейшего улучшения организации занятий в практикуме и для правильной оценки успеваемости каждого учащегося по лабораторным работам.

Оценка знаний учащихся по практикуму относится к числу существенных сторон методики ведения занятий. Эта оценка складывается из результатов проверки ученических отчетов и из результатов наблюдения преподавателя, так как в оценку должно входить не только качество отчета, но и качество всей практической работы, проведенной учеником на лабораторных занятиях. Последнее обстоятельство важно подчеркнуть потому, что отчет далеко не всегда отражает работу учащихся в лаборатории, а иногда может ввести в заблуждение: отчет оказывается хорошим, а выполнение работы оставляет желать лучшего.

Отчеты должны проверяться преподавателем после каждого занятия. В них просматриваются полученные результаты, чертежи установок, графики процессов, различные схемы, проверяется правильность исходных теоретических положений, определяющих практическую задачу. При этом учитель вносит в тетрадь свои исправления или замечания, а затем ставит общую оценку, принимая во внимание всю практическую работу в целом. Такая общая оценка знаний отучает учащихся от формального отношения к делу, от погони только за хорошим отчетом независимо от серьезной предварительной практической работы. Она заставляет знать физическую суть задачи, уделять внимание правильному и рациональному обращению с приборами, воспитывает бережливость и аккуратность.

Правильная методика ведения занятий приучает учащихся относиться к практикуму с полной ответственностью и серьезно готовиться к нему. В тех весьма редких случаях, когда учитель затрудняется выставить оценку по практикуму,

он может вызвать ученика на следующем уроке и опросом детально выяснить его теоретические и практические знания по проделанной работе. После такого опроса оценка выставляется в тетрадь и в классный журнал.

I. 4 Правила выполнения работ лабораторного практикума

1. Урок начинается не со звонка, а при входе в лабораторию.
2. Все сумки остаются в кабинете.
3. Группы размещаются за теми столами, где находятся нужные работы.
4. Запрещается переносить приборы и оборудование с одних столов на другие.
5. Работы выполняются строго по графику. Если группа не успела закончить работу за отведенное ей время, она обязана освободить место другой группе.
6. Закончив эксперименты, группа приводит в порядок стол с оборудованием и сдает оборудование лаборанту, после чего приступает к оформлению отчета и устной защите.
7. Запрещается бесцельное хождение по лаборатории.
8. Вход и выход во время урока свободный.
9. Инструкцию нужно сдать по окончании занятия независимо от того, защищена работа или нет.
10. При нарушении правил техники безопасности учащийся отстраняется от выполнения работ физического практикума с последующей сдачей теории за весь курс.
11. Оценки в классный журнал выставляются после окончания физического практикума.

I. 5 Структура деятельности учителя и ученика

Главная цель, которая ставится в настоящее время в образовании: изменение технологии работы учителя и ученика.

Задача учителя максимально раскрывать перед ребенком спектр физических знаний, для формирования естественнонаучной картины мира, мобилизовать его на путь самоопределения, развития личности на протяжении всей жизни.

В своей учебно-методической деятельности выбираю следующие направления:

- не передавать знания, а организовывать процессы деятельности, в котором эти сведения и операции создавать и пользоваться;
- развивать логику познания учащихся;
- развивать умение импровизации и анализа новых нестандартных ситуаций, строить собственные уникальные действия в конкретных ситуациях;
- развивать понимание разных ситуаций (учебных, исторических, в обществе и мире, в школе и классе).

В общении с детьми выбираю позицию сотрудничества, демократичный стиль общения. Считаю его наиболее продуктивным, т.к. он основывается на уважении личности партнеров по общению, возможности свободного высказывания своих позиций и мнений.

Ученик же на различных этапах работы должен показать свои знания и умения при самостоятельном выполнении работ практикума.

В случае неудовлетворительного результата или пропуска по уважительной причине дается возможность на повторное выполнение работы. Если учащийся показывает удовлетворительный или хороший результат, итоговая оценка повышается на один балл.

На протяжении всего учебного процесса ставлю перед собой помимо обучающих, следующие задачи:

- помочь детям жить, в постоянно меняющемся, не стабильном мире, адаптироваться в этих условиях;
- научить детей жить совместно с другими людьми;
- научить работе с информацией;
- научить учиться;
- помочь быть счастливым.

VII Правила выполнения и оформления лабораторной работы

III.1. Подготовка к работе

При подготовке к работе рекомендуется придерживаться следующего плана.

1. Прочитайте название работы и выясните смысл всех непонятных слов.
2. Прочитайте описание работы от начала до конца, не задерживаясь на выводе формул. Задача первого прочтения состоит в том, чтобы выяснить, какой физический закон или явление изучается в данной работе и каким методом проводится исследование.
3. Прочитайте описание работы от начала до конца, не задерживаясь на выводе формул. Задача первого прочтения состоит в том, чтобы выяснить, какой физический закон или явление изучается в данной работе и каким методом проводится исследование.
4. Прочитайте по учебнику материал, относящийся к данной работе. Разберите вывод формул по методическому пособию. Найдите ответы на контрольные вопросы, приведенные в конце описания работы.
5. Разберите по методическому пособию принцип устройства и работы приборов, которые предполагается использовать в работе.
6. Выясните, какие физические величины и с какой точностью будут непосредственно измеряться и каковы их размерности.
7. Начертите в лабораторном журнале принципиальную схему эксперимента и таблицы, в которые будут заноситься результаты измерений.
8. Продумайте, какой окончательный результат должен быть получен в данной лабораторной работе.

III.2. Выполнение работы

При выполнении работы вначале следует ознакомиться с приборами. Нужно установить их соответствие описанию, выполнить рекомендованную в описании прибора последовательность действий по подготовке прибора к работе, убедиться в том, что при изменении положений органов управления возникают ожидаемые изменения параметров, определить цену деления шкалы прибора и его систематическую погрешность, выяснить, как изменить множитель шкалы (если это возможно), попробовать сделать пробный отсчет. Далее следует провести предварительный опыт с тем, чтобы пронаблюдать качественно изучаемое явление, оценить, в каких пределах находятся измеряемые величины. После проведенной подготовки можно приступать к измерениям. Следует помнить, что всякое измерение, если только это возможно сделать, должно выполняться больше, чем один раз.

Введение (измерения и погрешности измерений)

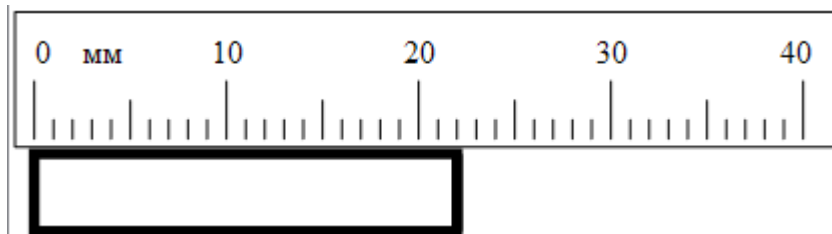
Измерение - это нахождение числового значения физической величины опытным путем с помощью средств измерений (линейки, вольтметра, часы и т.д.).

Измерения могут быть **прямыми** и **косвенными**.

Прямое измерение - это нахождение числового значения физической величины непосредственно средствами измерений. Например, длину - линейкой, атмосферное давление - барометром.

Косвенное измерение - это нахождение числового значения физической величины по формуле, связывающей искомую величину с другими величинами, определяемыми прямыми измерениями. Например, сопротивление проводника определяют по формуле $R=U/I$, где U и I измеряются электроизмерительными приборами.

Пример измерения.



Измерим длину бруска линейкой (цена деления 1 мм). Можно лишь утверждать, что длина бруска составляет величину между 22 и 23 мм. Ширина интервала “неизвестности составляет 1 мм, то есть равна цене деления. Замена линейки более чувствительным прибором, например штангенциркулем снизит этот интервал, что приведет к повышению точности измерения. В нашем примере точность измерения не превышает 1 мм.

Поэтому измерения, никогда не могут быть выполнены абсолютно точно. **Результат любого измерения приближенный.** Неопределенность в измерении характеризуется погрешностью - отклонением измеренного значения физической величины от ее истинного значения.

Перечислим некоторые из причин, приводящих к появлению погрешностей.

1. Ограниченная точность изготовления средств измерения.
2. Влияние на измерение внешних условий (изменение температуры, колебание напряжения ...).
3. Действия экспериментатора (запаздывание с включением секундомера, различное положение глаза...).
4. Приближенный характер законов, используемых для нахождения измеряемых величин.

Перечисленные причины появления погрешностей неустранимы, хотя и могут быть сведены к минимуму. Для установления достоверности выводов, полученных в результате научных исследований, существуют методы оценки данных погрешностей.

III.3. Случайные и систематические погрешности

Погрешности, возникаемые при измерениях делятся на систематические и случайные.

Систематические погрешности - это погрешности, соответствующие отклонению измеренного значения от истинного значения физической величины всегда в одну сторону (повышения или занижения). При повторных измерениях погрешность остается прежней.

Причины возникновения систематических погрешностей:

- 1) несоответствие средств измерения эталону;
- 2) неправильная установка измерительных приборов (наклон, неуравновешенность);
- 3) несовпадение начальных показателей приборов с нулем и игнорирование поправок, которые в связи с этим возникают;
- 4) несоответствие измеряемого объекта с предположением о его свойствах (наличие пустот и т.д.).

Случайные погрешности - это погрешности, которые непредсказуемым образом меняют свое численное значение. Такие погрешности вызываются большим числом неконтролируемых причин, влияющих на процесс измерения (неровности на поверхности объекта, дуновение ветра, скачки напряжения и т.д.). Влияние случайных погрешностей может быть уменьшено при многократном повторении опыта.

III.4. Абсолютные и относительные погрешности

Для количественной оценки качества измерений вводят понятия абсолютной и относительной погрешностей измерений.

Как уже говорилось, любое измерение дает лишь приближенное значение физической величины, однако можно указать интервал, который содержит ее истинное значение:

$$A_{np} - \Delta A < A_{ист} < A_{np} + \Delta A$$

Величина ΔA называется **абсолютной погрешностью измерения** величины A . Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины. Абсолютная погрешность равна модулю максимально возможного отклонения значения физической величины от измеренного значения. A_{np} - значение физической величины, полученное экспериментально, если измерение проводилось многократно, то среднее арифметическое этих измерений.

Но для оценки качества измерения необходимо определить относительную погрешность ε .

$$\varepsilon = \Delta A / A_{np} \text{ или } \varepsilon = (\Delta A / A_{np}) \cdot 100\%.$$

Если при измерении получена относительная погрешность более 10%, то говорят, что произведена лишь оценка измеряемой величины. В лабораториях физического практикума рекомендуется проводить измерения с относительной погрешностью до 10%. В научных лабораториях некоторые точные измерения (например определение длины световой волны), выполняются с точностью миллионных долей процента.

III.5. Погрешности средств измерений

Эти погрешности называют еще инструментальными или приборными. Они обусловлены конструкцией измерительного прибора, точностью его изготовления и градуировки. Обычно довольствуются о допустимых инструментальных погрешностях, сообщаемых заводом изготовителем в паспорте к данному прибору. Эти допустимые погрешности регламентируются ГОСТами. Это относится и к эталонам. Обычно абсолютную инструментальную погрешность обозначают Δ и A^3 .

Если сведений о допустимой погрешности не имеется (например у линейки), то в качестве этой погрешности можно принять половину цены деления.

³ См. Приложение II

При взвешивании абсолютная инструментальная погрешность складывается из инструментальных погрешностей весов и гирь⁴.

III.6. Класс точности электроизмерительных приборов⁵

Стрелочные электроизмерительные приборы по допустимым значениям погрешностям делятся на классы точности, которые обозначены на шкалах приборов числами 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Класс точности g_{np} прибора показывает, сколько процентов составляет абсолютная погрешность от всей шкалы прибора.

$$g_{np} = (\Delta_u A / A_{\max}) \cdot 100\%.$$

Например абсолютная инструментальная погрешность прибора класса 2,5 составляет 2,5% от его шкалы.

Если известен класс точности прибора и его шкала, то можно определить абсолютную инструментальную погрешность измерения

$$\Delta_u A = (g_{np} \cdot A_{\max}) / 100.$$

Для повышения точности измерения стрелочным электроизмерительным прибором надо выбирать прибор с такой шкалой, чтобы в процессе измерения располагались во второй половине шкалы прибора.

III.7. Погрешность отсчета

Погрешность отсчета получается от недостаточно точного отсчитывания показаний средств измерений.

В большинстве случаев абсолютную погрешность отсчета принимают равной половине цены деления. Исключения составляют измерения стрелочными часами (стрелки передвигаются рывками).

Абсолютную погрешность отсчета принято обозначать Δ_o или A

⁴ См Приложение IV

⁵ См. Приложение III

III.8. Полная абсолютная погрешность прямых измерений

При выполнении прямых измерений физической величины A нужно оценивать следующие погрешности: $\Delta_{\text{и}}A$, $\Delta_{\text{о}}A$ и $\Delta_{\text{с}}A$ (случайную). Конечно, иные источники ошибок, связанные с неправильной установкой приборов, несовмещение начального положения стрелки прибора с 0 и пр. должны быть исключены.

Полная абсолютная погрешность прямого измерения должна включать в себя все три вида погрешностей.

Если случайная погрешность мала по сравнению с наименьшим значением, которое может быть измерено данным средством измерения (по сравнению с ценой деления), то ее можно пренебречь и тогда для определения значения физической величины достаточно одного измерения. В противном случае теория вероятностей рекомендует находить результат измерения как среднее арифметическое значение результатов всей серии многократных измерений, погрешность результата вычислять методом математической статистики. Знание этих методов выходит за пределы школьной программы.

III.9. Запись окончательного результата прямого измерения

Окончательный результат измерения физической величины A следует записывать в такой форме;

$$A = A_{np} \pm \Delta A, \quad \varepsilon = (\Delta A / A_{np}) \cdot 100\%.$$

A_{np} - значение физической величины, полученное экспериментально, если измерение проводилось многократно, то среднее арифметическое этих измерений.
 ΔA - полная абсолютная погрешность прямого измерения.

Абсолютную погрешность обычно выражают одной значащей цифрой.

Пример: $L = (7,9 \pm 0,1) \text{ мм}, \varepsilon = 13\%$.

III.10. Погрешности косвенных измерений

При обработке результатов косвенных измерений физической величины, связанной функционально с физическими величинами А, В и С, которые измеряются прямым способом, сначала определяют относительную погрешность косвенного измерения $\varepsilon = \Delta X / X_{np}$, пользуясь формулами, приведенными в таблице (без доказательств).

Абсолютную погрешность определяется по формуле

$$\Delta X = X_{np} \cdot \varepsilon,$$

где ε выражается десятичной дробью, а не в процентах.

Окончательный результат записывается так же, как и в случае прямых измерений.

Таблица 1

Вид функции	Формула
$X = A + B + C$	$\varepsilon = \frac{\Delta A + \Delta B + \Delta C}{A + B + C}$
$X = A - B$	$\varepsilon = \frac{\Delta A + \Delta B}{A - B}$
$X = A \cdot B \cdot C$	$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C}$
$X = A^n$	$\varepsilon = n \cdot \frac{\Delta A}{A}$
$X = A/B$	$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$
$X = \sqrt[n]{A}$	$\varepsilon = \frac{\Delta A}{nA}$

Пример: Вычислим погрешность измерения коэффициента трения с помощью динамометра. Опыт заключается в том, что брусок равномерно тянут по горизонтальной поверхности и измеряют прикладываемую силу: она равна силе трения скольжения.

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N} \quad N = mg$$

С помощью динамометра взвесим брусок с грузами: 1,8 Н.

$$F_{\text{тр}} = 0,6 \text{ Н}, \mu = 0,33.$$

Инструментальная погрешность динамометра (находим по таблице) составляет $\Delta_u = 0,05 \text{ Н}$, Погрешность отсчета (половина цены деления)

$$\Delta_o = 0,05 \text{ Н}.$$

Абсолютная погрешность измерения веса и силы трения 0,1 Н.

Относительная погрешность измерения (в таблице 5-я строчка)

$$\varepsilon = \frac{0,1}{1,8} + \frac{0,1}{0,6} = 0,22,$$

следовательно абсолютная погрешность косвенного измерения μ составляет

$$0,22 \cdot 0,33 = 0,074$$

Ответ: $\mu = 0,33 \pm 0,074$ $\varepsilon = 22\%$

VIII

Лабораторные работы в X классе

III.1. Проверка соотношения перемещений при равноускоренном движении

Цель работы: состоит в проверке одного из главных признаков равноускоренного движения: перемещения, совершаемые телом за чередующиеся один за другим равные промежутки времени, соотносятся как последовательность нечётных чисел.

Оборудование:

1. прибор для изучения прямолинейного движения
2. штатив с муфтой и перекладиной

Введение

Из приведенного признака следует, что если за первый интервал времени тело совершило перемещение S_1 , за следующий такой же интервал времени - S_2 , а потом S_3 и т.д., то справедливо отношение $S_1 : S_2 : S_3 \dots = 1 : 3 : 5 \dots$.

Справедливо и обратное. Если отношения перемещений, совершённых телом на соседних участках траектории при движении по прямой из состояния покоя с постоянным ускорением, относятся как ряд нечётных чисел, то промежутки времени, за которые эти перемещения произошли, должны быть равны. Например, если перемещение S_{AB} (см. рисунок) совершено за время t_1 , а перемещение S_{BC} - за время t_2 и $S_{AB} : S_{BC} = 1 : 3$, то $t_1 = t_2$.

Это последнее утверждение и проверяется в работе. С помощью штатива направляющую рейку прибора для изучения прямолинейного движения закрепляют наклонно. Верхний её край должен находиться на высоте 18-20 см от поверхности стола. Под нижний край подкладывают пластиковый коврик. Удерживая каретку в крайнем верхнем положении так, чтобы её выступающий край с магнитом был обращен к датчикам, устанавливают первый датчик. Он должен находиться вблизи магнита каретки и запускать секундомер, как только она придёт в

движение (точка А на рисунке). Второй датчик размещают на удалении 9 см от первого (точка В).

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Укажите, какие физические величины подлежат прямому измерению для исследования зависимости силы трения от площади трущихся поверхностей.
2. Запишите границы абсолютных погрешностей измеряемых величин: Δt (времени), ΔS (перемещения).

Опыт проводят в такой последовательности.

1. Проводят десять пусков каретки. Всякий раз записывают показания секундомера. Вычисляют среднее значение времени движения на первом участке – t_{1cp} .
2. Первый датчик перемещают в точку С, удаленную на 27 см от точки В. Второй датчик оставляют на прежнем месте.
3. Проводят ещё десять пусков каретки из того же верхнего положения на направляющей рейке, записывая показания секундомера. Вычисляют среднее значение времени движения на втором участке – t_{2cp} .
4. Записывают показания в таблицу, составленную самостоятельно.
5. Сравнивают полученные значения времени движения на первом и втором участках и, обратив внимание на то, что перемещения, совершённые на этих участках относятся как **1:3**, делают вывод о справедливости проверяемого утверждения.

Контрольные вопросы

1. Зависимость от времени координаты точки, движущейся вдоль оси x , имеет вид: $x = 2 - 10t - 3t^2$. Опишите характер движения. Каковы начальная скорость и ускорение? Запишите уравнение для проекции скорости.
2. Какие из приведенных зависимостей описывают равномерное движение?
1) $x = 4t + 2$; 2) $x = 3t^2$; 3) $x = 8t$; 4) $v = 4 - t$; 5) $v = 6$.
3. Тело, двигаясь равноускоренно, за третью секунду проходит расстояние 2,5 м. Определить перемещение тела за пятую секунду.

4. Автобус отъезжает от остановки с ускорением 2 м/с^2 . Какой путь он пройдет за 5 с ?

5. На рисунке 1 изображены графики проекций скоростей двух тел.

Определите: а) вид движения тел; б) ускорения движения тел; в) через сколько секунд после начала движения скорости тел будут одинаковыми. Запишите зависимости координат тел от времени.

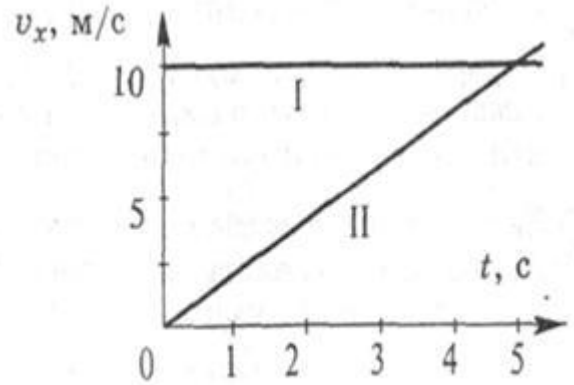


Рис. 1

III.2. Изучение движения тела, брошенного горизонтально

Цель работы: исследование зависимости дальности полёта тела, брошенного горизонтально, от высоты, с которой оно начало движение.

Оборудование:

1. штатив с муфтой
2. шарик стальной
3. копировальная бумага
4. направляющая рейка
5. линейка
6. скотч.

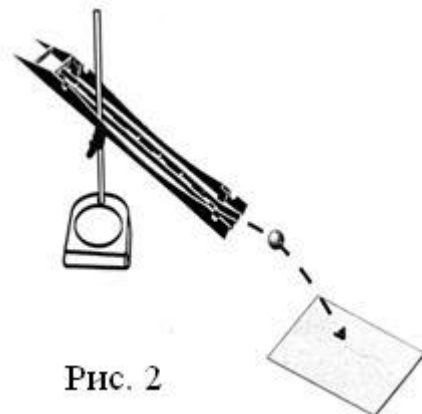


Рис. 2

Введение

Если тело бросить с некоторой высоты горизонтально, то его движение можно рассматривать, как движение по инерции по горизонтали и равноускоренное движение по вертикали.

По горизонтали тело движется по инерции в соответствии с первым законом Ньютона, поскольку кроме силы сопротивления со стороны воздуха, которую не учитывают, в этом направлении на него никакие другие силы не действуют. Силой сопротивления воздуха можно пренебречь, так как за короткое время полёта тела, брошенного с небольшой высоты, действие этой силы заметного влияния на движение не окажет.

По вертикали на тело действует сила тяжести, которая сообщает ему ускорение g (ускорение свободного падения).

Рассматривая перемещение тела в таких условиях как результат двух независимых движений по горизонтали и вертикали, можно установить зависимость дальности полёта тела от высоты, с которой его бросают. Если учесть, что скорость тела V в момент броска направлена горизонтально, и вертикальная составляющая начальной скорости отсутствует, то время падения можно найти, используя основное уравнение равноускоренного движения:

$$H = \frac{g \cdot t^2}{2}, \text{ откуда } t = \sqrt{\frac{2H}{g}}.$$

За это же время тело успеет пролететь по горизонтали, двигаясь равномерно, расстояние $S = Vt$. Подставив в эту формулу уже найденное время полета, и получают искомую зависимость дальности полёта от высоты и скорости:

$$S = V \cdot \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (1).$$

Из полученной формулы видно, что дальность броска пропорциональна корню квадратному от высоты, с которой бросают. Например, при увеличении высоты в четыре раза, дальность полёта возрастёт вдвое; при увеличении высоты в девять раз, дальность возрастёт в три раза и т.д.

Этот вывод можно подтвердить более строго. Пусть при броске с высоты H_1 дальность составит S_1 , при броске с той же скоростью с высоты $H_2 = 4H_1$ дальность составит S_2 .

По формуле (1):

$$S_1 = V \cdot \sqrt{\frac{2H_1}{g}}, \text{ и } S_2 = V \cdot \sqrt{\frac{2H_2}{g}}$$

Поделив второе равенство на первое:

$$\frac{S_2}{S_1} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} = \sqrt{\frac{4H_1}{H_1}} = 2 \text{ или } S_2 = 2S_1 \quad (2),$$

Эту зависимость, полученную теоретическим путем из уравнений равномерного и равноускоренного движения, в работе проверяют экспериментально.

В работе исследуется движение шарика, который скатывается от упора с желоба перевёрнутой направляющей рейки. Направляющая рейка закрепляется на штативе, конструкция позволяет давать шарiku горизонтальное направление скорости на некоторой высоте над столом. Это обеспечивает горизонтальное направление скорости шарика в момент начала его свободного полёта.

Проводят две серии опытов, в которых высоты отрыва шарика отличаются в четыре раза, и измеряют расстояния S_1 и S_2 , на которые удаляется шарик от направляющей рейки по горизонтали до точки касания со столом. Для уменьшения влияния на результат побочных факторов определяют среднее значение расстояний $S_{1\text{ср}}$ и $S_{2\text{ср}}$. Сравнивая средние расстояния, полученные в каждой серии опытов, делают вывод о том, насколько справедливо равенство (2).

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Укажите, какие физические величины подлежат прямому измерению для исследования зависимости силы трения от площади трущихся поверхностей.
2. Запишите границы абсолютных погрешностей измеряемых величин: ΔH (высоты точки отрыва шарика), ΔS (расстояния от точки отрыва шарика до отметки, оставленной на плёнке шариком при падении).

Выполнение работы:

1. Укрепите направляющую рейку в перевёрнутом положении на стержне штатива так, чтобы муфта препятствовала её опусканию вниз со штатива. Точку отрыва шарика от желоба направляющей рейки расположить на высоте около **9 см** от поверхности стола. В месте предполагаемого падения шарика на стол, разместите копировальную бумагу.

2. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 2

<i>№ опыта</i>	<i>H, см</i>	<i>S, см</i>	<i>S_{1cp}, см</i>	<i>H_2, см</i>	<i>S_2, см</i>	<i>S_{2cp}, см</i>

3. Произведите пробный пуск шарика от начала желоба направляющей рейки. Определите место падения шарика на стол. Шарик должен попасть в среднюю часть плёнки. При необходимости скорректируйте положение плёнки. Приклейте плёнку к столу кусочком скотча.

4. С помощью линейки измерьте высоту точки отрыва шарика от желоба над столом – H_1 . С помощью линейки, установленной вертикально, отметьте на поверхности стола точку (например, кусочком скотча), над которой располагается точка отрыва шарика от направляющей рейки.

5. Пустите шарик от начала желоба направляющей рейки и измерьте на поверхности стола расстояние S_1 от точки отрыва шарика от направляющей рейки, до отметки, оставленной на плёнке шариком при падении.

6. Повторите пуск шарика **5 - 6** раз. Чтобы скорость, с которой шарик слетает с направляющей рейки, была одинаковой во всех опытах, его пускают из одной и той же точки от начала желоба направляющей рейки.

7. Вычислите среднее значение расстояния S_{1cp} .

8. Увеличьте высоту отрыва шарика от направляющей рейки в четыре раза»

Добейтесь выполнения условия: $H_2 = 4H_1$.

9. Повторите серию пусков шарика от начала желоба направляющей рейки. Для каждого пуска измерьте расстояние S_2 и вычислите среднее значение.

10. Проверьте, насколько выполняется равенство $S_{2cp} = 2 \cdot S_{1cp}$. Укажите возможную причину расхождения результатов. Сделайте вывод о зависимости дальности полёта горизонтально брошенного тела от высоты броска, с которой тело начало двигаться.

Контрольные вопросы

1. За какое время камень, начавший свое падение без начальной скорости, пройдет путь 80 м?
2. Тело брошено вертикально вверх со скоростью v_0 . На какой высоте скорость тела уменьшится по модулю в три раза?
3. Под каким углом к горизонту брошено тело, если проекция вектора начальной скорости на ось ОХ равна 10 м/с, а на ось ОУ — 17 м/с? Какова начальная скорость тела?
4. Тело падает вертикально вниз с высоты 20 м без начальной скорости. Определить: а) путь, пройденный телом за последнюю секунду падения; б) среднюю скорость на всем пути; в) среднюю скорость на второй половине пути.

III.3. Вращение жидкости

Цель опыта: Иллюстрация закономерностей вращательного движения на примере вращающегося сосуда с жидкостью.

Этот опыт лучше проводить, сопоставляя поведение вращающейся жидкости с поведением шара нити или груза на подвесе, вращающихся вместе с рамой и отклоняющихся от вертикали тем больше, чем дальше от оси вращения они находятся. Это демонстрирует универсальность законов физики и помогает учащимся понять, что искривление поверхности жидкости вызвано теми же причинами, что и отклонение маятника.

Оборудование:

1. основание
2. узел привода с рамой и датчиком частоты вращения
3. блок управления
4. кювета
5. кабель измерительный
6. секундомер демонстрационный,
7. компьютерный измерительный блок

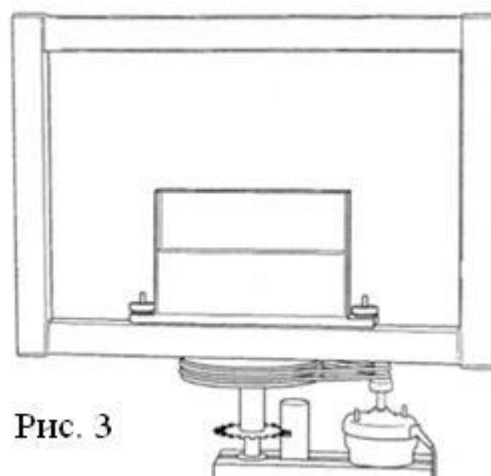


Рис. 3

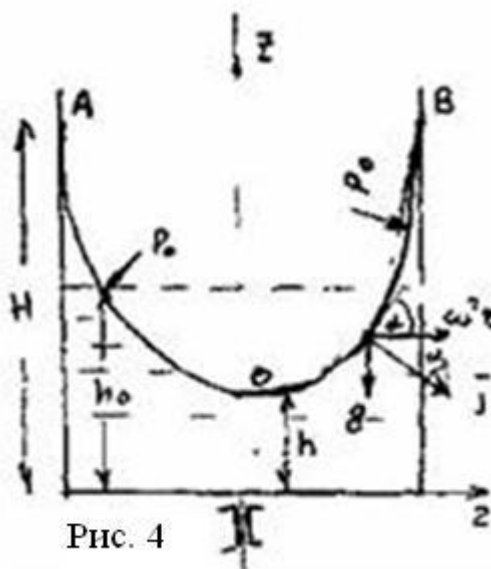


Рис. 4

Введение

Свободная поверхность жидкости, залитой в цилиндрический сосуд и находящейся под действием сил тяжести примет форму горизонтальной плоскости на некотором уровне h_0 относительно дна сосуда. После того как мы приведём сосуд во вращение вокруг его вертикальной оси с некоторой постоянной угловой скоростью со $\omega = \text{const}$, начальный уровень свободной поверхности жидкости изменится: в центре сосуда он понизится, а по краям сосуда повысится. При этом форма свободной поверхности примет явно вид криволинейной поверхности вращения. Это явление объясняется тем, что при вращении сосуда вокруг своей

оси жидкость в нём будет испытывать ускорение переносного движения $\omega^2 \mathbf{r}$, направленное в сторону стенок сосуда. Поскольку равнодействующая двух сил: силы тяжести и центробежной силы должна быть направлена по нормали к свободной поверхности жидкости в каждой точке поверхности, то эта равнодействующая будет иметь, как было сказано выше, две составляющие соответственно силу тяжести, направленную вертикально вниз и центробежную, направленную в горизонтальной плоскости.

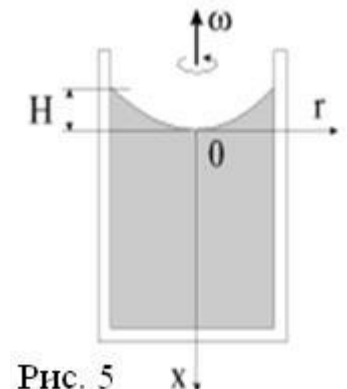
$$\vec{j} = \vec{g} + \overline{\omega^2 r} \quad (1)$$

В каждой точке свободной поверхности жидкости АОВ вектор углового ускорения $\omega^2 \mathbf{r}$ будет направлен под некоторым углом α по отношению к касательной плоскости, проходящей через данную точку свободной поверхности.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dz}{dr} = \frac{\omega^2 r}{g}, \quad (2)$$

Отсюда:

$$\begin{aligned} dz &= \frac{\omega^2 r}{g} dr, \\ z &= \frac{\omega^2 r^2}{2g} + C \end{aligned} \quad (3)$$



Пусть теперь цилиндрический сосуд с жидкостью равномерно вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси симметрии. Повседневный опыт показывает, что поверхность жидкости искривится так, как показано на рисунке. Не представляет труда определить форму поверхностей равного давления. Поскольку наряду с силой тяжести в радиальном направлении действует и центробежная сила инерции

$$F_{\text{и}} = \rho \omega^2 r, \quad (4)$$

являющейся также потенциальной, то потенциальная функция U имеет вид:

$$U(x, r) = -\rho g x - \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 + \text{const} \quad (5)$$

где $\mathbf{r}$ - цилиндрическая координата. Тогда распределение давлений получается равным

$$p(x, r) = p_0 + \rho g x + \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2. \quad (6)$$

Легко видеть, что поверхности равного давления являются параболоидами вращения. В частности, поверхность жидкости, для которой $p(x,r)=p_0$, описывается уравнением

$$x = -\frac{1}{2} \frac{\omega^2}{g} r^2. \quad (7)$$

Если радиус сосуда равен R , то разность уровней на периферии и в центре составляет величину

$$H = \frac{\omega^2 R^2}{2g} = \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

где v - скорость вращающихся частиц, прилегающих к стенке сосуда. Замечание. Если сосуд вращать с угловым ускорением, то появится дополнительная составляющая сил инерции, перпендикулярная радиусу и равная

$$F'_И = \rho r \frac{d\omega}{dt}. \quad (9)$$

Эта сила не будет потенциальной, поскольку ее работа, например, вдоль окружности радиуса r_0 , отлична от нуля и равна

$$A_И = F'_И \cdot 2\pi r_0 = 2\pi r_0^2 \rho \frac{d\omega}{dt}. \quad (10)$$

В силу этого равновесие жидкости невозможно: последняя будет вращаться относительно цилиндра, причем распределение скоростей и давлений можно получить, рассматривая уравнения гидродинамики, в которых должны быть, учтены силы вязкости.

Подготовка эксперимента

Установите на демонстрационный стол основание и зажмите в нем узел привода с рамой и датчиком частоты вращения. Подключите кабель питания электродвигателя к блоку управления, а шнур питания блока управления - в сеть 220 В 50 Гц. Соедините выходной разъем датчика частоты вращения с разъемом 1 демонстрационного секундомера или компьютерного измерительного блока с помощью измерительного кабеля. Проверьте, чтобы в зоне вращения рамы не осталось никаких посторонних предметов.

Установите кювету на нижнем или верхнем профиле рамы. Кювета может быть установлена симметрично относительно оси вращения или сдвинута таким образом, чтобы ось вращения проходила через боковую стенку. На одной из сте-

нок кюветы имеется изображение параболы. Кривую именно этого вида образует поверхность вращающейся жидкости, если рассечь (или ограничить) ее плоскостью, проходящей через ось вращения. Парабола нанесена для случая симметричного расположения кюветы, поэтому такое расположение кюветы рекомендуется в качестве основного при проведении данного опыта.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Укажите, какие физические величины подлежат прямому измерению для исследования закономерностей вращательного движения.
2. Запишите границы абсолютных погрешностей измеряемых величин: $\Delta \nu$ (частоты вращения), Δt (времени), Δh (уровни).

Выполнение эксперимента

Включите электронный секундомер и установите на нем режим измерения частоты. Если для измерений используется компьютер, то подключите к нему компьютерный измерительный блок, запустите программу, и выберите в разделе «Датчики» пункт меню «Датчик частоты вращения», в котором, в свою очередь, войдите в сценарий «Вращение с постоянной или медленно изменяющейся скоростью». При выполнении измерений следуйте инструкциям к применяемому прибору.

Наполните кювету подкрашенной водой. В качестве жидкости для наполнения удобно использовать ярко окрашенную газированную воду. Для того, чтобы профиль поверхности полностью совпал с параболой на стенке кюветы, в нее необходимо налить 150 мл жидкости.

Убедитесь, что ручка плавной регулировки частоты вращения находится в крайнем левом положении (минимальная скорость). Включите блок управления, нажмите кнопку запуска вращения и плавно повышайте угловую скорость, наблюдая за изменением распределения жидкости по объему кюветы и формой ее поверхности.

Контрольные вопросы

1. Какую форму имеет поверхность жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде?

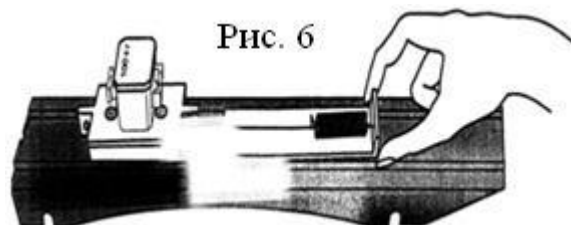
2. Выведите уравнение зависимости $Y(x)$ линии поверхности жидкости при вращении.

III.4. Исследование влияния площади трущихся поверхностей на силу трения

Цель: Исследовать зависимость силы трения от площади трущихся поверхностей.

Оборудование:

1. направляющая рейка;
2. каретка;
3. подставка;
4. набор грузов;
5. динамометр.



Введение

Великий итальянский художник, скульптор и ученый Леонардо да Винчи проводил странные опыты, чем удивлял своих учеников: он таскал по полу то плотно свитую веревку, то ту же веревку во всю длину. Его интересовал ответ на вопрос: зависит ли сила трения скольжения от величины площади соприкасающихся в движении тел? Механики того времени были глубоко убеждены, что чем больше площадь касания, тем больше сила трения. Они рассуждали примерно так: чем больше таких точек, тем больше сила трения. Совершенно очевидно, что на большей поверхности будет больше таких точек касания, поэтому сила трения должна зависеть от площади трущихся тел.

Леонардо да Винчи усомнился и стал проводить опыты. И получил потрясающий вывод: сила трения скольжения не зависит от площади соприкасающихся тел. Попутно Леонардо да Винчи исследовал зависимость силы трения от материала, из которого изготовлены тела, от величины нагрузки на эти тела, от скорости скольжения и от степени гладкости или шероховатости их поверхностей. Он получил следующие результаты:

1) от площади не зависит; 2) от материала не зависит; 3) от величины нагрузки зависит (пропорциональна ей); 4) от скорости скольжения не зависит; 5) зависит от шероховатости поверхностей.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Укажите, какие физические величины подлежат прямому измерению для ис-

следования зависимости силы трения от площади трущихся поверхностей.

2. Запишите границы абсолютных погрешностей измеряемых величин: ΔS (площади поверхности), ΔP (веса каретки с грузом), $\Delta F_{тр}$ (силы трения).

Выполнение работы:

1. Повторите основные сведения о силе трения, силе упругости и весе тела.
2. Для записи результатов измерений подготовьте таблицу:

Таблица 3

<i>№ опыта</i>	<i>Площадь поверхности, м</i>	<i>Вес каретки с грузом, Н</i>	<i>Сила трения, Н</i>

3. Подвесьте каретку к динамометру и определите её вес.
4. Измерьте длину нижней части каретки линейкой
5. Измерьте ширину нижней части каретки
6. Вычислите площадь поверхности каретки и запишите результат в таблицу
7. Положите перед собой направляющую рейку так, чтобы она располагалась на поверхности стола горизонтально, как показано на рисунке.
8. На направляющую рейку положите каретку и прикрепите к ней динамометр. Придерживая одной рукой направляющую рейку, в другую руку возьмите динамометр и потяните за него так, чтобы он и каретка стали бы равномерно перемещаться вдоль рейки. Величина силы, которую при этом покажет динамометр, будет равна величине силы трения между поверхностями рейки и каретки. При измерении силы трения таким способом трудно добиться строго равномерного движения каретки и динамометра. Поэтому перед каждым измерением желательно проводить несколько пробных попыток. За показание динамометра следует брать среднее значение из двух крайних положений указателя.
9. Занесите в таблицу результаты измерений, полученные в первом опыте.
10. Измерьте длину и ширину полозьев подставки.
11. Вычислите площадь полозьев подставки и занесите получившийся результат в таблицу.
12. На направляющую рейку положите каретку на подставке и прикрепите к ней динамометр. Придерживая одной рукой направляющую рейку, в другую руку возьмите динамометр и потяните за него так, чтобы он и каретка стали бы равно-

мерно перемещаться вдоль рейки. Величина силы, которую при этом покажет динамометр, будет равна величине силы трения между поверхностями рейки и подставки. Занесите в таблицу результаты измерений.

13. Измерьте вес одного груза.
14. Вычислите и занесите в таблицу общий вес каретки с грузом.
15. Установите груз на верхней поверхности каретки, повторите опыт измерения силы трения скольжения тележки и тележки на подставке.
16. Занесите в таблицу измеренное значение силы трения в обоих случаях.
17. Подвесьте к динамометру два груза и определите их общий вес.
18. Оба груза установите на каретке и определите силу трения для каретки с двумя грузами на подставке и без.
19. Сравните силы трения каретки по направляющей рейке и силы трения скольжения каретки на подставке.
20. Сделайте вывод о том, как зависит сила трения от площади поверхности тела.

Контрольные вопросы

1. Что произойдет, если взять две идеально чистые поверхности?
2. Перечислите способы уменьшения силы трения.
3. Вы знаете, что чтобы забить гвоздь в древесину, необходимо приложить немало усилий, но чтобы вытащить его нужно не меньше. Это можно сделать с помощью клещей. Что так крепко держит гвозди в доске? Ведь поверхность гвоздя гладкая, и если он прямой, то ему нечем зацепиться за дерево! Чем можно это объяснить?
4. Жидкости являются смазкой при трении, и допустим, деревянное изделие с вбитыми гвоздями долго находилось под дождем или в сыром месте. Если начать вытаскивать гвозди из сырой древесины, то нужно приложить еще больше усилий, чем при вытаскивании из сухой, почему так? Ведь вода, кажется должна быть смазкой.

III.5. Изучение устройства и действия подвижного блока

Цель: изучить устройство и действие подвижного блока

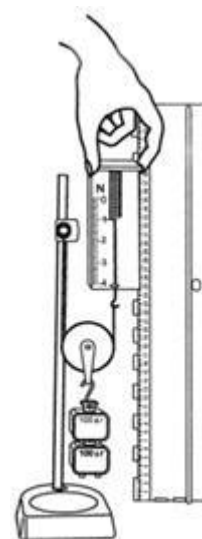


Рис. 7

Оборудование:

1. штатив с муфтой «динамометр»;
2. подвижный блок;
3. набор грузов;
4. нить с петлями на концах;
5. направляющая рейка;
6. крючок.

Введение

Блок — простое механическое устройство, позволяющее регулировать силу, ось которого закреплена при подъеме грузов, не поднимается и не опускается. Представляет собой колесо с жёлобом по окружности, вращающееся вокруг своей оси. Жёлоб предназначен для каната, цепи, ремня и т. п. Ось блока помещается в обоймах, прикреплённых на балке или стене, такой блок называется неподвижным; если же к этим обоймам прикрепляется груз, и блок вместе с ними может двигаться, то такой блок называется подвижным.

Неподвижный блок употребляется для подъёма небольших грузов или для изменения направления силы.

Условие равновесия блока: $F = fmg$,

Где F — прилагаемое внешнее усилие, m — масса груза, g — ускорение силы тяжести, f — коэффициент сопротивления в блоке. При отсутствии трения для подъема нужна сила, равная весу груза.

Подвижный блок имеет свободную ось и предназначен для изменения величины прилагаемых усилий. Если концы веревки, обхватывающей блок, составляют с горизонтом равные между собой углы, то действующая на груз сила относится к его весу, как радиус блока к хорде дуги, обхваченной канатом; отсюда, если веревки параллельны (то есть когда дуга, обхватываемая веревкой, равна полуокружности), то для подъёма груза потребуется сила вдвое меньше, чем вес груза, то есть:

$$F = \frac{1}{2} fmg$$

При этом груз пройдёт расстояние, вдвое меньшее пройденного точкой приложения силы F , соответственно, выигрыш в силе подвижного блока равен 2.

Фактически любой блок представляет собой рычаг, в случае неподвижного блока — равноплечий, в случае подвижного — с соотношением плеч 1 к 2. Как и для всякого другого рычага, для блока справедливо правило: Во сколько раз выигрываем в усилии, во столько же раз проигрываем в расстоянии. Иными словами, совершаемая при перемещении груза на какое-либо расстояние без использования блока работа равна работе, затрачиваемой при перемещении груза на то же самое расстояние с применением блока при условии отсутствия трения. В реальном блоке всегда присутствуют некоторые потери.

Также используется система, состоящая из комбинации нескольких подвижных и неподвижных блоков. Такая система называется полиспаст. Простейшая такая система изображена на рисунке и даёт выигрыш в силе в 2 раза.

В отличие от шкива, блок вращается на оси свободно и обеспечивает исключительно изменение направления движения ремня или каната, не передавая усилия с оси на ремень или с ремня на ось.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Укажите, какие физические величины подлежат прямому измерению для исследования устройства и действия подвижного блока.
2. Запишите границы абсолютных погрешностей измеряемых величин: ΔF и ΔS .

Выполнение работы:

1. Закрепите муфту на стержне штатива на высоте около 40 см от его основания. Вплотную к основанию штатива установите вертикально направляющую рейку так, чтобы её сторона со шкалой была бы обращена в сторону штатива.

2. Для записи результатов измерений подготовьте таблицу:

Таблица 4

<i>№ опыта</i>	<i>F_1, Н</i>	<i>Направление силы</i>	<i>S_1, см</i>	<i>F_2, Н</i>	<i>Направление силы</i>	<i>S_2, см</i>

3. Удерживая динамометр рукой вертикально, подвесьте к нему один груз. Определите величину силы F_1 , которая приложена к динамометру со стороны груза, и её направление.

4. Подвесьте груз с помощью крючка к подвижному блоку. Подвижный блок с грузом с помощью нити и динамометра подвесьте к штативу. Для этого нить заводят под ролик блока, петлю на одном конце нити вешают на муфту шта-

тива, петлю на другом конце соединяют с крючком динамометра. Придерживая динамометр рукой, вновь определите величину и направление силы F_2 , которая приложена к динамометру во второй части опыта.

5. Заметьте положение груза и динамометра относительно шкалы.

6. Плавнo переместите динамометр на несколько сантиметров вверх или вниз и измерьте по шкале путь, который пройдет при этом груз – S_1 и путь, пройденный динамометром, – S_2 .

7. Полученные данные о величине и направлении сил и путях груза и динамометра занесите в первую строчку таблицы.

8. Проведите второй опыт, выполнив все действия с двумя грузами, третий опыт с тремя грузами и четвертый с четырьмя.

9. После того, как таблица будет полностью заполнена, сравните для каждого опыта величины сил F_1 и F_2 , которые прилагались к динамометру до применения подвижного блока и с его применением. Сделайте вывод о том, позволяет ли получить подвижный блок выигрыш в силе.

10. Сравните для каждого опыта пути, проходимые грузами и динамометром, и сделайте вывод о том, даёт ли подвижный блок выигрыш в расстоянии.

11. Обратите внимание на то, во сколько раз в каждом опыте получали выигрыш в силе и проигрыш в расстоянии.

12. Сравните для каждого опыта направления сил, которые прикладывались к динамометру до применения подвижного блока и с его применением, и сделайте вывод о том, изменяет ли подвижный блок направление действия силы.

Контрольные вопросы

1. Как называются приспособления, служащие для преобразования силы?
2. Какие простые механизмы используются в повседневной жизни?
3. Какие простые механизмы применяли в Египте для строительства пирамид?
4. Как называется кратчайшее расстояние между точкой опоры и прямой, вдоль которой действует на рычаг сила?
5. Запишите в виде формулы условие равновесия рычага.
6. Кем было установлено это правило?
7. Для каких целей применяется неподвижный блок?

8. Дает ли выигрыш в работе неподвижный блок?
9. Для каких целей применяется подвижный блок?
10. Дает ли выигрыш в работе подвижный блок?
11. Дает ли выигрыш в работе какой-либо из механизмов?
12. Поднимет ли стоящий на земле человек весом в 600 Н при помощи неподвижного блока груз, масса которого 72 кг?

III.6. Исследование изобарного процесса

Цель: исследовать связь между изменением объема и температуры определенного количества газа при его изобарном охлаждении.

Оборудование

1. Набор «Газовые законы»;
2. термометр;
3. внешний стакан калориметра;
4. сосуд с теплой водой;
5. сосуд с холодной водой.

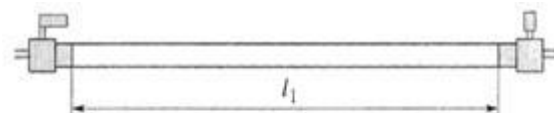


Рис. 8

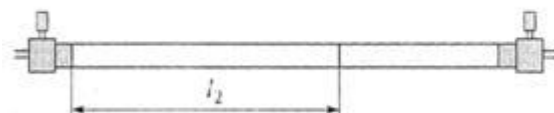


Рис. 9

Введение

Из уравнения Менделеева—Клапейрона следует, что если изменять температуру газа так, чтобы давление и масса газа не менялись, то имеет место равенство:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \quad (1)$$

Где V_1, V_2 - объемы, занимаемые данной массой газа соответственно до и после охлаждения; T_1, T_2 — его температуры, выраженные в кельвинах.

Это равенство проверяют в ходе выполнения работы.

Описание экспериментальной установки

Исследуемым газом является воздух, находящийся внутри прозрачной трубки из набора «Газовые законы». Она представляет собой длинный эластичный шланг с кранами на концах. Чтобы воздух нагреть, трубку укладывают плотно виток к витку в стакан калориметра, закрыв перед этим один из кранов. Укладку начинают с того конца, на котором находится закрытый кран, и проводят так, чтобы конец с открытым краном оказался сверху. Затем в стакан наливают теплую воду. Уровень воды должен быть выше открытого крана не более чем на 5—10 мм.

Воздух в трубке при нагревании станет расширяться, и из крана начнут выделяться пузырьки. Когда температуры воздуха и воды сравняются, расширение прекратится и пузырьки перестанут образовываться. После отделения последнего пузырька кран закрывают.

Состояние воздуха в трубке в этот момент принимают за начальное. Температуру воздуха в этом состоянии T_1 , определяют, измерив температуру воды в стакане.

Затем воздух охлаждают. Для этого теплую воду сливают и заполняют стакан холодной водой, следя за тем, чтобы ее уровень над верхним краном оказался таким же, как в первой части опыта. После этого кран опять открывают. При охлаждении объем воздуха в трубке уменьшится, и через открытый кран в нее поступит некоторое количество воды. Когда температуры воды и воздуха в трубке опять станут одинаковыми (через 1,5—2 минуты), еще раз измеряют температуру воздуха T_2 .

Чтобы определить объем воздуха после охлаждения, закрывают верхний кран, трубку извлекают из калориметра и, удерживая вертикально, резко встряхивают несколько раз. При этом капли воды, попавшие внутрь, сольются и образуют неразрывный столбик. Объем воздуха в новом состоянии V_2 узнают по внутреннему объему той части трубки, где находится воздух. Его объем в начальном состоянии V_1 равен объему внутренней полости трубки.

Измерение объемов в этом эксперименте удобно проводить в условных единицах по длине воздушного столба: внутренняя полость трубки имеет форму цилиндра и ее объем $V = SI$, но площадь S поперечного сечения трубки в ходе опыта не меняется, и, чтобы не измерять эту величину, которая после подстановки в равенство (1) сократится, объем выражают в единицах длины (см. рис. 8 и 9).

Давление воздуха в трубке в обоих случаях (при нагревании и охлаждении) равнялось сумме атмосферного давления и давления небольшого столба воды над открытым краном. Поскольку уровни теплой и холодной воды не менялись, то эта сумма в ходе опыта не менялась, а значит, и давление воздуха в трубке при его охлаждении оставалось постоянным.

Получив значения V_1 , V_2 , T_1 и T_2 , находят отношения объемов воздуха к его температурам в нагретом и охлажденном состояниях и проверяют выполнение равенства (1) в условиях проведенного эксперимента.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

3. Укажите, какие физические величины подлежат прямому измерению для

поверки равенства (1).

4. Запишите формулу для определения границы абсолютной погрешности отношения $\frac{1}{T}$, где l — длина столба воздуха в трубке.

3. Почему температуру холодной воды необходимо измерять спустя 1,5—2 минуты после того, как ее нальют в калориметр?

Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 5

$h,$ $м$	$\Delta h,$ $м$	$t_1,$ $^{\circ}C$	$T_1,$ K	$\Delta T_1,$ K	$L_2,$ $м$	$\Delta L_2,$ $м$	$t_2,$ $^{\circ}C$	$T_2,$ K	$\Delta T_2,$ K	$\frac{l_1}{T_1}$	$\frac{l_2}{T_2}$	$\Delta\left(\frac{l_1}{T_1}\right)$	$\Delta\left(\frac{l_2}{T_2}\right)$

2. Измерьте длину внутренней полости трубки l_1 (рис. 8).

3. Закройте один кран и уложите трубку виток к витку в стакан калориметра. Кран на верхнем конце оставьте открытым.

4. Заполните стакан теплой водой и поместите в него термометр.

5. Наблюдайте за выделением пузырьков воздуха из открытого крана. Как только оно прекратится, определите показание термометра t_1 ($^{\circ}C$).

6. Закройте кран, слейте теплую воду, заполните стакан холодной водой до прежнего уровня и снова откройте кран.

7. Выждав полторы—две минуты, определите показание термометра t_2 ($^{\circ}C$).

8. Закройте кран, слейте воду, извлеките трубку из стакана, встряхните ее и измерьте длину столба воздуха в ней l_2 (рис. 9).

9. Переведите измеренные значения температуры в кельвины: $T = t + 273$.

10. Вычислите отношения $\frac{l_1}{T_1}$ и $\frac{l_2}{T_2}$.

11. Вычислите значения границ абсолютных погрешностей измерения длин l_1 и l_2 , температур T_1 и T_2 , а также отношений $\frac{l_1}{T_1}$ и $\frac{l_2}{T_2}$.

12. Запишите для каждого состояния воздуха в трубке значения отношения $\frac{1}{T}$ с учетом их допустимых интервалов:

$$\left(\frac{1}{T}\right)_1 = \frac{l_1}{T_1} \pm \Delta\left(\frac{l_1}{T_1}\right); \quad \left(\frac{1}{T}\right)_2 = \frac{l_2}{T_2} \pm \Delta\left(\frac{l_2}{T_2}\right)$$

13. Определите, перекрываются ли интервалы возможных значений отношений параметров воздуха в двух состояниях, и сделайте вывод о справедливости равенства (1).

Контрольные вопросы

1. Докажите, что равенство (1) можно рассматривать как частный случай уравнения Менделеева—Клапейрона.

2. Почему охлаждение воздуха в трубке можно считать изобарным?

1. Какие факторы влияют на точность измерений параметров состояния воздуха?

Определение относительной влажности воздуха

Цель работы: освоить приемы определения относительной влажности воздуха, основанные на использовании гигрометра Ламберта и психрометра.

Оборудование

- 2.Термометр лабораторный;
- 3.стакан химический;
- 4.сосуд с водой комнатной температуры;
- 5.сосуд с кусочками льда;
- 6.кусочек ткани,
- 7.нить.

Введение

Чтобы определить относительную влажность воздуха γ нужно измерить при одной и той же температуре парциальное давление водяного пара p и давление насыщенного пара p_n :

$$\gamma = \frac{p}{p_n} 100\%. \quad (1)$$

Давления насыщенного водяного пара при различных температурах известны. Эти данные получены в результате специально проведенных экспериментов и сведены в таблицу (см. табл. 1).

Таблица 1. Давление насыщенного водяного пара и его плотность при различных температурах

Давление указано в нескольких единицах измерений, включая технические атмосферы ($1 \text{ ат} = 0.968 \text{ атм} = 1 \text{ кг} / \text{см}^2 = 735,66 \text{ мм рт.ст.}$).

Таблица 6

Температура	Давление			
	Па	атм	кг / см ² (ат)	мм рт.ст.
0°C	588	0.0058	0.006	4.4
17.2°C	$1.96 \cdot 10^3$	0.019	0.02	15
45.4°C	$9.80 \cdot 10^3$	0.097	0.1	74
59.7°C	$1.96 \cdot 10^4$	0.19	0.2	147
75.4°C	$3.92 \cdot 10^4$	0.39	0.4	294

85.45°C	$5.88 \cdot 10^4$	0.58	0.6	441
93.0°C	$7.84 \cdot 10^4$	0.77	0.8	588
96.2°C	$8.82 \cdot 10^4$	0.87	0.9	662
99.1°C	$9.80 \cdot 10^4$	0.968	1.00	736
100.0°C	$1.013 \cdot 10^5$	1.000	1.0333	760.0
105.0°C	$1.21 \cdot 10^5$	1.19	1.23	905
116.3°C	$1.77 \cdot 10^5$	1.74	1.80	1324
119.6°C	$1.96 \cdot 10^5$	1.94	2.00	1471
125.0°C	$2.23 \cdot 10^5$	2.20	2.27	1672
132.9°C	$2.94 \cdot 10^5$	2.90	3.0	2207
142.9°C	$3.92 \cdot 10^5$	3.87	4.0	2942
151.1°C	$4.90 \cdot 10^5$	4.83	5.0	3677
158.1°C	$5.88 \cdot 10^5$	5.81	6.0	4413
164.2°C	$6.86 \cdot 10^5$	6.77	7.0	5149
169.6°C	$7.84 \cdot 10^5$	7.74	8.0	5884
174.5°C	$8.82 \cdot 10^5$	8.71	9.0	6620
179.0°C	$9.81 \cdot 10^5$	9.68	10.0	7357
187.1°C	$1.18 \cdot 10^6$	11.6	12.0	8826
194.1°C	$1.37 \cdot 10^6$	13.6	14.0	$1.03 \cdot 10^4$
200.4°C	$1.57 \cdot 10^6$	15.5	16.0	$1.18 \cdot 10^4$
206.2°C	$1.77 \cdot 10^6$	17.4	18.0	$1.32 \cdot 10^4$
211.4°C	$1.96 \cdot 10^6$	19.4	20.0	$1.47 \cdot 10^4$
232.8°C	$2.94 \cdot 10^6$	29.0	30.0	$2.21 \cdot 10^4$
249.2°C	$3.92 \cdot 10^6$	38.7	40.0	$2.94 \cdot 10^4$
270.0°C	$5.50 \cdot 10^6$	54.3	56.1	$4.13 \cdot 10^4$
290°C	$7.44 \cdot 10^6$	73.5	75.9	$5.58 \cdot 10^4$
300°C	-	-	-	-
310°C	$9.90 \cdot 10^6$	97.8	101	$7.43 \cdot 10^4$
330°C	$1.28 \cdot 10^7$	127	131	$9.64 \cdot 10^4$
350°C	$1.66 \cdot 10^7$	164	169	$1.24 \cdot 10^5$
370°C	$2.11 \cdot 10^7$	208	215	$1.58 \cdot 10^5$
374°C	$2.218 \cdot 10^7$	217.9	225.2	$1.656 \cdot 10^5$

374.15°C	$2.2122 \cdot 10^7$	218.37	225.65	$1.6597 \cdot 10^5$
----------	---------------------	--------	--------	---------------------

Для измерения парциального давления воздуха его приводят в контакт с поверхностью предмета, температуру которого можно понижать. Слой водяного пара, находящийся вблизи поверхности этого тела, благодаря теплообмену также станет охлаждаться, но его давление при этом будет оставаться равным парциальному давлению всего пара. Зная температуру предмета в момент начала конденсации охлаждаемого слоя пара и считая, что температуры предмета и слоя пара, прилегающего к его поверхности, одинаковы, по той же таблице находят значение давления насыщенного пара при температуре конденсации, а значит, и парциальное давление всего пара.

Одним из приборов, с помощью которого определяют относительную влажность описанным выше способом, является гигрометр Ламберта.

Используя гигрометр Ламберта, r определяют в три этапа: 1) измеряют температуру воздуха в помещении и по табл. 1 находят давление насыщенного пара p_n ; 2) приводят в действие гигрометр, определяют точку росы и по той же таблице находят давление насыщенного пара $p_{н.т.р.}$, соответствующее этой температуре, равное парциальному давлению пара $p_{н.т.р.}$, 3) по формуле (1) вычисляют относительную влажность воздуха $г$.

Описание экспериментальной установки

Относительную влажность воздуха определяют с помощью моделей гигрометра Ламберта и психрометра.

При сборке модели гигрометра Ламберта используют химический стакан с чистой внешней стенкой, наполовину заполненный водой комнатной температуры, сосуд с кусочками льда и термометр. Стакан размещают перед собой так, чтобы на его стенке был виден блик от какого-то источника света (окна или лампы освещения). Термометр погружают в воду, а затем в нее добавляют кусочки льда и наблюдают за бликом на стенке стакана и показаниями термометра. Из-за теплообмена со льдом вода в стакане станет охлаждаться, и, как только ее температура достигнет точки росы, на внешней стенке образуется конденсат пара, при появлении которого блик на стенке потускнеет. В момент начала конденсации снимают показание термометра. При проведении опыта в помещении не должно быть

сквозняков. Кроме того, не следует дышать в сторону стакана. Кусочки льда заготавливают заблаговременно (например, в домашнем холодильнике, на занятие приносят их в термосе).

Психрометр собирают, используя термометр, кусочек тонкой ткани, нитку и стакан с водой комнатной температуры. Вначале термометром измеряют температуру воздуха в помещении. Затем его резервуар со спиртом оборачивают 2—3 раза тканью, которую закрепляют ниткой. Затем ткань смачивают водой и наблюдают за изменениями показаний термометра. В момент, когда столбик спирта перестанет опускаться, записывают его показание. По результатам двух измерений температуры, используя психрометрическую таблицу, определяют относительную влажность воздуха.

Задания и вопросы дня проверки готовности к выполнению работы

1. Рассмотрите таблицу «Давление насыщенного водяного пара при различных температурах». Отметьте, с каким интервалом приведены в таблице значения температуры пара, в каких единицах указаны значения давления насыщенного пара.

2. Рассмотрите «Психрометрическую таблицу» (табл. 2). Определите, с какими интервалами приведены в ней возможные значения температуры воздуха и значения разности температур «сухого» и «влажного» термометров, каково предельное значение этой разности.

3. Каковы значения максимальной и минимальной относительной влажности воздуха, которые можно определить с помощью модели психрометра?

4. Почему при проведении опыта с моделью гигрометра Ламберта не рекомендуется дышать в сторону стакана с водой?

Психрометрическая таблица

Таблица 7

Показания сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9

15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33

Ход работы

Задание 1. Измерить относительную влажность воздуха с помощью гигрометра Ламберта.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

<i>№ опыта</i>	<i>t, °C</i>	<i>$T_{\text{вл}}$, °C</i>	<i>Δt, °C</i>	<i>φ, %</i>	<i>$\varphi_{\text{ср}}$, %</i>
----------------	---------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	--

2. Измерьте температуру воздуха t в помещении.

3. Определите по таблице 1 давление насыщенного пара p_n , соответствующее этой температуре.

4. Поставьте перед собой стакан, наполовину заполненный водой комнатной температуры, так, чтобы на его стенке был хорошо заметен блик света. Поместите в стакан термометр и несколько кусочков льда.

5. Наблюдайте за бликом на поверхности стакана и отметьте момент появления конденсата. Измерьте в этот момент температуру воды $t_{\text{м.р.}}$ в стакане.

6. Определите по таблице 1 давление насыщенного пара, которое соответствует этой температуре, $t_{\text{н.т.р.}}$.

7. Учитывая, что давление паров воды p в воздухе в момент проведения опыта равно давлению насыщенного пара при его конденсации на стенке стакана $p_{\text{н.т.р.}}$, занесите в таблицу это значение.

8. Вычислите относительную влажность φ воздуха.

9. Повторите опыт 3—4 раза и определите среднее значение относительной

влажности воздуха $\varphi_{ср}$.

Задание 2. Измерить относительную влажность воздуха с помощью модели психрометра.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 8

№ опыта	t , °C	$t_{вл}$, °C	Δt , °C	φ , %	$\varphi_{ср}$, %

2. Измерьте температуру воздуха t в помещении.

3. Опустите термометр в воду и убедитесь, что она имеет комнатную температуру.

4. Оберните наполненный спиртом резервуар термометра кусочком ткани и закрепите его ниткой.

5. Смочите ткань водой и наблюдайте за изменениями показаний термометра. Запишите его показание $t_{вл}$ в тот момент, когда столбик спирта перестанет опускаться.

6. Занесите в таблицу значения температуры, которые показывал термометр до и после того, как его резервуар увлажнили. Вычислите их разность Δt и с помощью психрометрической таблицы (табл. 2) определите относительную влажность φ воздуха в классе.

7. Повторите опыт 3—4 раза и определите среднее значение искомой величины $\varphi_{ср}$.

8. При наличии в классе психрометра определите относительную влажность воздуха с его помощью. Сравните результаты, полученные при выполнении заданий 1 и 2, со значением относительной влажности, определенной психрометром. Сделайте вывод о том, какой из двух способов, используемых в работе, дает более достоверные результаты.

Контрольные вопросы

1. Могут ли в ходе опытов температуры «сухого» и «влажного» термометров оказаться одинаковыми?

2. Может ли температура «влажного» термометра оказаться выше температуры «сухого»?

3. Каким может быть предельное значение относительной влажности воздуха?

Дополнительное задание

Накройте сосуд, заполненный на четверть с водой комнатной температуры, листом бумаги, сложенным в несколько раз. В бумаге сделайте сквозное отверстие и вставьте, в него термометр. На резервуаре термометра закрепите кусочек материи.

Намочите материю водой и поместите термометр в сосуде так, чтобы резервуар со спиртом находился между крышкой и поверхностью воды.

Измерьте относительную влажность воздуха, находящегося в сосуде под крышкой. Сравните ее со значениями, полученными в предыдущих опытах, и объясните причину расхождения результатов.

Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

Цель работы: определить коэффициент поверхностного натяжения воды с помощью весов и проволочной скобы.

Оборудование

1. Весы лабораторные с набором гирь,
2. плоская кювета, проволочная скоба,
3. штангенциркуль,
4. сосуд с водой комнатной температуры.

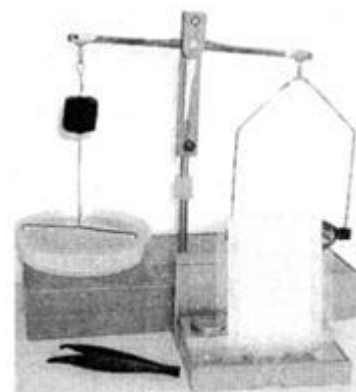


Рис. 10

Введение

Метод определения коэффициента поверхностного натяжения, используемый в работе, основан на искусственном увеличении площади поверхности воды, которое происходит при попытке отделения от ее поверхности находящегося на ней предмета. Таким предметом может быть скоба, изготовленная из материала, хорошо смачиваемого водой, например, из железной проволоки. Если проволочную скобу повесить к коромыслу рычажных весов, уравновесить и привести в контакт с поверхностью воды, то при попытке извлечь ее из жидкости равновесие весов нарушится. Чтобы скобу оторвать от поверхности воды, на чашу весов потребуется добавить груз, сила тяжести которого уравновесит силу поверхностного натяжения. Скоба оторвется от жидкости при условии $F_n = m_z g$, где F_n — сила поверхностного натяжения; m_z — масса дополнительного груза; g — ускорение свободного падения. Определив массу дополнительного груза, зная длину скобы L и ускорение свободного падения, находят коэффициент поверхностного натяжения:

$$\sigma = \frac{F_n}{2L} = \frac{m_z \cdot g}{2L}$$

Число 2 в знаменателе появилось из-за того, что водяная пленка, которая потянется за скобой при извлечении ее из воды, имеет две поверхности.

Описание экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки, подготовленной к измерениям, показан на рис. 10.

Скобу изготавливают из куска железной проволоки диаметром 0,2 мм и длиной 10 см. Края проволоки на расстоянии 10 мм от концов отгибают под 90°. В

середине проволоки делают петлю для крепления к нити подвеса. Скобу подвешивают на нити к коромыслу весов вместо одной из чаш. При этом нужно проследить, чтобы она располагалась строго горизонтально.

Под скобу ставят кювету. Коромысло весов закрепляют на такой высоте, чтобы при равновесии дно оставшейся чаши было на высоте около 20 мм от поверхности основания. Длину подвеса скобы регулируют так, чтобы при равновесии весов она находилась внутри кюветы, не касаясь дна. Весы уравнивают, прикрепив к подвесу между коромыслом и скобой дополнительный груз, например, кусок пластилина. Равновесия добиваются, изменяя массу пластилина.

Затем кювету постепенно заполняют водой, пока ее уровень не сравняется с горизонтальной частью скобы. Скобу несколько раз погружают в воду, чтобы ее поверхность полностью смочилась.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Почему проволочную скобу перед проведением опыта рекомендуется промыть мыльной водой?
2. Как определить границу абсолютной погрешности измерения массы тела с помощью рычажных весов?
3. Запишите формулу для вычисления границы абсолютной погрешности определения σ .

Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 9

$L, м$	$\Delta L, м$	$m_2, кг$	$\Delta m_2, кг$	$\sigma, Н/м$	$\Delta \sigma, Н/м$

2. Подготовьте экспериментальную установку к выполнению измерений в соответствии с рекомендациями, приведенными в ее описании.
3. Измерьте длину L горизонтальной части проволочной скобы.
4. Приведите скобу в контакт с поверхностью воды. Разместите на чаше весов гири и определите их максимальную суммарную массу m_2 , при которой скоба еще удерживается пленкой воды.
5. Вычислите границы абсолютных погрешностей измерений m_2 и L .
6. Вычислите по формуле (1) коэффициент поверхностного натяжения воды σ .

7. Вычислите границу абсолютной погрешности $\Delta\sigma$.
8. Запишите полученный результат с учетом границы абсолютной погрешности:
9. Определите, попадает ли табличное значение коэффициента поверхностного натяжения воды в интервал достоверных значений этой величины, полученный в ходе проведения опыта.

Контрольные вопросы

1. От каких факторов зависит погрешность измерения коэффициента поверхностного натяжения воды методом, использованным в работе?
2. Назовите единицу коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

Дополнительное задание

1. Докажите зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Для этого повторите опыт, используя воду с температурой 60 — 70 °С. Полученное в опыте с горячей водой значение сравните с тем, которое было получено при выполнении основной части работы, когда использовалась вода комнатной температуры.

Исследование электрического поля конденсатора

Цель работы: исследовать методы определения энергии электрического поля заряженного конденсатора по его электроемкости и напряжению на обкладках, а также по работе, совершаемой полем при разрядке конденсатора.

Оборудование

2. Цифровой мультиметр,
3. конденсатор 2200 мкФ,
4. резистор 100 кОм,
5. выпрямитель ВУ-4,
6. секундомер или часы с секундной стрелкой.

Введение

Энергия электрического поля заряженного конденсатора W может быть определена по формуле:

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2} \quad (1)$$

где C — электроемкость конденсатора, U — обкладками заряженного конденсатора.

Определить энергию электрического поля конденсатора можно также по той работе, которую оно совершит при его разрядке. Если к заряженному конденсатору подключить резистор, то в образованной электрической цепи возникнет перемещение зарядов. По мере уменьшения зарядов на обкладках конденсатора энергия его электрического поля убывает, превращаясь во внутреннюю энергию резистора и соединительных проводов. На основании закона Джоуля—Ленца работа, совершенная зарядами при движении через цепь с резистором, равна

$$A = I^2 R t, \quad (2)$$

где I — среднее значение силы тока в цепи за время его протекания; R — сопротивление цепи; t — время протекания тока.

В момент, когда заряд конденсатора станет равным нулю, вся энергия электрического поля превратится во внутреннюю энергию элементов подключенной цепи (в рассмотренном случае разрядки через резистор — в основном во внутреннюю энергию резистора, так как сопротивление соединительных проводов

пренебрежимо мало по сравнению с его сопротивлением), т. е. можно утверждать, что

$$\frac{C \cdot U^2}{2} = I^2 \cdot R \cdot t \quad (3)$$

Описание экспериментальной установки

Опыт проводят в два этапа. В ходе первого этапа заряжают конденсатор и определяют энергию его электрического поля, используя формулу (1). В ходе второго — к конденсатору подключают резистор и определяют работу, совершенную в цепи при разрядке конденсатора.

Перед выполнением первого этапа работы рассматривают надписи на корпусе конденсатора и определяют значение его электроемкости и допуск, с которым оно указано.

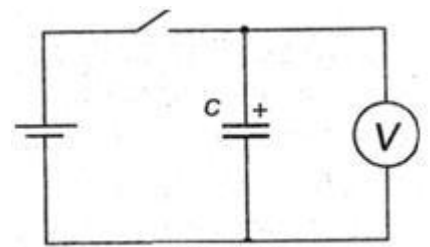


Рис. 11

Затем собирают установку, схема которой показана на рис. 11.

Мультиметр готовят к работе в режиме измерения постоянного напряжения и подключают к выводам конденсатора. Конденсатор соединяют с ключом и подключают к выходным гнездам выпрямителя.

Замыкают ключ, заряжают конденсатор и измеряют напряжение на его выводах. На этом первый этап заканчивается.

Переходя ко второму этапу опыта, мультиметр отсоединяют от заряженного конденсатора и переводят в режим измерения силы постоянного тока. После этого из цепи удаляют выпрямитель, а вместо него подключают мультиметр, последовательно соединенный с резистором. Схема этого соединения показана на рис. 12. Замыкают ключ и одновременно включают секундомер. Через каждые 15 с записывают показание мультиметра до тех пор, пока конденсатор полностью не разрядится. (В целях сокращения продолжительности опыта измерения можно прекратить при уменьшении тока в цепи до 5 % от начального значения.)

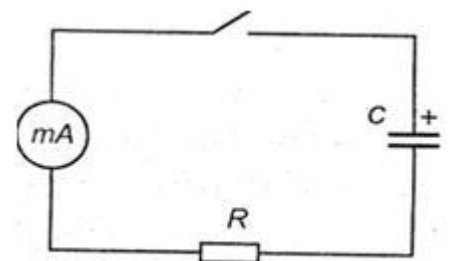


Рис. 12

После разрядки конденсатора цепь разбирают и измеряют мультиметром сопротивление резистора.

Для каждого интервала времени продолжительностью в 15 с вычисляют средние значения силы тока в цепи как полусумму силы тока в начале и конце ин-

тервала: $I_{cp1} = \frac{I' + I''}{2}$, где I_{cp1} — среднее значение силы тока на протяжении одного интервала, I' и I'' — значения силы тока соответственно в начале и конце интервала. (При этом делается допущение, что сила тока убывает на протяжении каждого временного интервала по линейному закону. Подобное допущение возможно из-за малости отдельно взятого интервала времени по сравнению с общим временем разрядки.) Затем по формуле (2) вычисляют среднее значение работы, совершенной в цепи за каждый интервал времени.

Средние значения работы, совершенные за все интервалы времени, складывают и находят общую работу, совершенную в цепи за время разрядки конденсатора.

Чтобы уменьшить погрешность результатов, в опыте используют конденсатор большой емкости. Особенность таких конденсаторов в том, что напряжение на их пластины должно подаваться в определенной полярности. Та обкладка, которая должна иметь положительный потенциал, имеет вывод, помеченный знаком «+».

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Изучите инструкцию по работе с мультиметром и укажите порядок его подготовки к измерениям постоянного напряжения, силы постоянного тока и сопротивления резисторов.

2. Какую характеристику выпрямителя следует учесть, чтобы оценить значение верхнего предела измеряемого напряжения, который необходимо установить на мультиметре при выполнении первого этапа опыта?

3. Как, зная напряжение, до которого зарядится конденсатор, и сопротивление резистора, оценить значение верхнего предела измеряемой силы тока, который необходимо установить на мультиметре при выполнении второго этапа опыта?

4. Как определить границы абсолютной погрешности измерений емкости конденсатора, напряжения на его обкладках, силы тока и сопротивления резисто-

ра?

5. Запишите формулу для вычисления границ абсолютных погрешностей определения энергии конденсатора и работы, совершенной при его разрядке.

Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 10

$C, \times 10^{-6} \Phi$	U_0, B	U_0^2, B^2	$W, Дж$	$\Delta W, Дж$	$A, Дж$	$\Delta A, Дж$

Подготовьте вспомогательную таблицу для записи результатов измерений и вычислений, проводимых при наблюдении за разрядкой конденсатора:

Таблица 11

t, c	I, A	I_{cp}, A	I_{cp}^2, A^2	$R, Ом$	$A_{cp}, Дж$
0					
15					
30					

Подготовьте мультиметр для работы в качестве омметра и измерьте им сопротивление R резистора.

2. Подготовьте мультиметр для измерения постоянного напряжения.

3. Установите емкость C конденсатора, точность, с которой она указана, и полярность выводов по надписям на его корпусе.

4. Соберите электрическую цепь для зарядки конденсатора по схеме рис. 11.

5. Зарядите конденсатор и измерьте напряжение U_0 на его выводах.

6. Отключите от заряженного конденсатора мультиметр и подготовьте его для измерения силы тока.

7. Соберите установку для наблюдения за разрядкой конденсатора по схеме рис. 12. Для этого в цепи, собранной по схеме на рис. 11, сначала отключите мультиметр и подготовьте его для измерения силы постоянного тока. Потом разомкните ключ, отключите выпрямитель и вместо него подключите мультиметр, соединенный последовательно с резистором.

8. Замкните ключ, одновременно включите секундомер и измерьте начальную силу тока в цепи.

9. Через каждые 15 с записывайте показания мультиметра до тех пор, пока сила тока не уменьшится примерно в 20 раз.

10. Проведите необходимые вычисления для заполнения вспомогательной таб-

лицы.

11. Найдите работу A , совершенную полем конденсатора при разрядке, как сумму средних значений работ $A_{\text{ср}}$, совершенных в течение каждого из интервалов времени.

12. Вычислите энергию поля W конденсатора, которую он получил при зарядке.

13. Вычислите границы абсолютных погрешностей измерений C , U_0^2 , I_0^2 и R .

14. Вычислите границы абсолютных погрешностей ΔW и ΔA .

15. Запишите результаты определения энергии конденсатора W_k и работы A_k в виде:

$$16. W_k = W \pm \Delta W \text{ и } A_k = A \pm \Delta A$$

17. Установите, перекрываются ли интервалы достоверных значений энергии конденсатора и работы, совершенной его полем при разрядке конденсатора. Укажите возможные причины расхождения результатов.

18. Сделайте вывод о возможности оценки энергии электрического поля конденсатора по измерению работы, совершаемой им при разрядке.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на точность определения энергии электрического поля конденсатора по его электроемкости и напряжению на обкладках?

2. Какие факторы влияют на точность определения энергии электрического поля конденсатора по работе, совершенной полем в процессе разрядки?

3. Какую погрешность в определение работы поля вносит прекращение наблюдения за процессом разрядки при уменьшении силы тока в цепи в 20 раз по сравнению с начальным значением?

III.7. Расширение предела измерений вольтметра

Цель: расширить пределы измерений вольтметра.

Оборудование: 1) вольтметр лабораторный на 6 В;

2) миллиамперметр лабораторный на 5 мА;

3) омметр;

4) батарея аккумуляторов или выпрямитель ВС4-12 (или другой источник постоянного тока);

5) реостат на 500 Ом;

6) ключ лабораторный;

7) провода соединительные с наконечниками;

8) набор резисторов (от 510 Ом до 1,5 кОм).

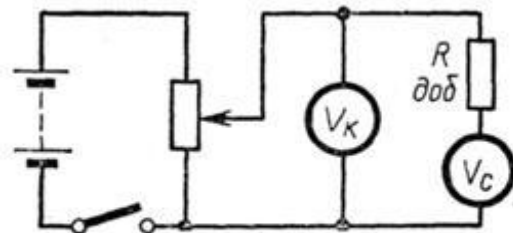


Рис. 13

Введение

В лабораторной практике часто встречается необходимость расширить пределы измерения электроизмерительного прибора. Эта задача решается подключением к прибору дополнительного сопротивления. При включении, например, вольтметра в цепь с напряжением, превышающим напряжение, на которое он рассчитан, последовательно с вольтметром включают соответствующий резистор (добавочное сопротивление).

В работе следует рассчитать это добавочное сопротивление (резистор) к вольтметру так, чтобы получить прибор, которым можно было бы измерять напряжение в заданных пределах. Сопротивление $R_{доб}$ присоединяют к прибору последовательно и через него идет тот же ток, что и через прибор. Измеряемое напряжение U равно сумме напряжений на вольтметре и добавочном резисторе:

$$U = IR_o + IR_{доб}, \text{ отсюда } R_{доб} = (U - IR_o) / I,$$

где I – предельная сила тока для вольтметра, рассчитывается по формуле $I = U_o / R_o$ (предел измерения вольтметра U_o определяется по шкале прибора);

R_o – внутреннее сопротивление прибора (измеряется омметром);

U – задаваемый предел измеряемого напряжения.

Ход работы

1. Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 12

<i>№ опыта</i>	1	2	3	4	5
V_k					
V_c					
ΔV					

2. С помощью омметра измерьте внутреннее сопротивление вольтметра, по шкале определите U_o и рассчитайте предельно допустимый для него ток I .

3. Выберите предел измеряемого напряжения, например $U = 12 \text{ В}$, и рассчитайте сопротивление добавочного резистора $R_{доб}$ по указанной выше формуле.

4. Из имеющихся резисторов выберите подходящий и проверьте его сопротивление омметром. Подключите этот резистор к вольтметру, и определите цену деления собранного таким образом вольтметра.

5. Соберите по рисунку 1 цепь, состоящую из источника тока, потенциометра, контрольного вольтметра, ключа и собранного вами вольтметра.

6. Замкните цепь и сравните показания собранного вами вольтметра с контрольным. Затем меняйте с помощью потенциометра несколько раз напряжение в цепи и каждый раз записывайте в таблицу показания V_k контрольного и показания V_c собранного вольтметра, а также поправку ΔV , равную разности $V_k - V_c$.

Поправка ΔV равна абсолютной погрешности прибора. При измерении этим прибором она алгебраически складывается с его показанием.

7. Опыт повторите выбрав другой предел измерения напряжения, например 6 В.

Контрольные вопросы

1. Почему вольтметр включают параллельно потребителю?
2. Как рассчитать дополнительное сопротивление к вольтметру?
3. Почему нельзя включать в цепь миллиамперметр параллельно потребителю?
4. Как определить действительное напряжение в цепи показания вольтметра и поправка?

III.8. Расширение предела измерений амперметра

Цель: расширить пределы измерений амперметра.

Оборудование: 1) миллиамперметр лабораторный на 5мА;

2) амперметр лабораторный на 2 А;

3) омметр;

4) выпрямитель ВС-6 или другой источник постоянного тока;

5) реостат на 100 Ом;

6) реостат лабораторный на 6 Ом;

7) микрометр МК-25;

8) линейка измерительная;

9) кусачки;

10) проволока медная эмалированная диаметром 2 мм и длиной 20 - 30 см;

11) ключ лабораторный;

12) провода соединительные.

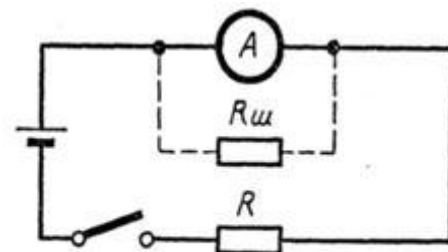


Рис. 14

Введение

Силу электрического тока измеряют с помощью амперметра (миллиамперметра, микроамперметра), который включают в цепь последовательно с сопротивлением R (рис.14). Сопротивление амперметра должно быть во много раз меньше сопротивления цепи. Для измерения токов, больших того, на который рассчитан прибор, т.е. для расширения его пределов измерения, к амперметру подключают шунт $R_{ш}$, показанный на рисунке пунктиром. Шунт представляет собой проволочный резистор, который подсоединяют параллельно прибору. При этом измеряемый ток $I_{изм}$ равен сумме токов, проходящих через шунт $R_{ш}$ и прибор $I_{изм} = I_{ш} + I_n$.

По закону Ома для участка цепи можно определить сопротивление шунта

$$R_{ш} = U / I_{ш}.$$

Учитывая, что $I_{ш} = I_{изм} - I_n$ и $U = I_n R_n$, где R_n – сопротивление прибора, получим:

$$R_{ш} = I_n R_n / (I_{изм} - I_n). \quad (1)$$

Здесь сопротивление R_n определяется с помощью омметра, I_n - по шкале прибора, как предельный ток, а $I_{изм}$ является заданным пределом измеряемой величины тока.

Задача в этой работе сводится к тому, чтобы, выполнив необходимые измерения и вычисления, подобрать к прибору соответствующий шунт.

Ход работы

1. Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 13

$I_{к}, A$	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$I_{с}, A$					

2. С помощью омметра измерьте сопротивление R_n лабораторного миллиамперметра и по шкале этого прибора определите предельно допустимый ток I_n .

3. Сделайте предположение, что данный прибор должен измерять предельный ток $I_{изм}$, равный 1 А, рассчитанный по указанной формуле (1) сопротивление шунта, для этого случая.

4. Измерьте с помощью микрометра диаметр d проволоки из известного вам материала, найдите по таблице удельное сопротивление ρ этого материала и рассчитайте длину L проволоки для шунта по формуле

$$L = \pi d R_{ш} / 4 \rho.$$

5. Отмерьте с помощью линейки отрезок проволоки, который превышал бы вычисленную на 2 - 3 см, и отрежьте его кусачками. Затем зачистите его концы проволоки и сделайте петли под зажимы так, чтобы расстояние между петлями точно соответствовало расчетной длине шунта.

6. Подключите изготовленный шунт к прибору, определите цену деления у подготовленного таким образом амперметра и соберите цепь по рисунку 2 с контрольным (A_k) и подготовленным (A) приборами.

При этом обратите внимание на то, чтобы реостат R_1 на 6 Ом был полностью включен в цепь, а реостат R_2 выведен из цепи.

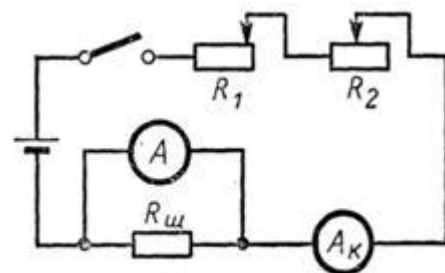


Рис. 15

7. Включите напряжение и реостатом R_1 установите в цепи силу тока 1 А по контрольному амперметру. Затем с помощью реостата R_2 изменяйте силу тока в цепи от минимального значения до 1 А и каждый раз записывайте показания обоих измерительных приборов в таблицу.

8. Вычислите поправку, равную абсолютному значению средней разности в показаниях контрольного I_k и собранного I_c амперметров.

9. Опыт повторите, выбрав другой предел измерения тока, например 2 А.

Контрольные вопросы

1. Почему сопротивление амперметра должно быть значительно меньше сопротивления цепи, в которой измеряют ток?
2. Почему шунт включают параллельно амперметру?
3. Как рассчитывают сопротивление шунта к амперметру?
4. Можно ли подключать шунт к амперметру с помощью соединительных проводов?

III.9. Измерение ЭДС внутреннего сопротивления источника тока

Цель работы: изучить метод измерения электродвижущей силы и внутреннего сопротивления источника тока, основанный на использовании вольтметра, амперметра и реостата.

Введение

К источнику тока с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r подключают в качестве внешнего сопротивления реостат и дважды измеряют силу тока и напряжение при различных его сопротивлениях. Как следует из закона Ома для замкнутой цепи

$\left(I = \frac{\varepsilon}{R + r} \right)$ и закона Ома для участка цепи $\left(I = \frac{U}{R} \right)$, при сопротивлении реостата R_1 будет выполняться равенство:

$$\varepsilon = I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot r = U_1 + I_1 \cdot r \quad (1)$$

Аналогично при сопротивлении реостата R_2 :

$$\varepsilon = I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot r = U_2 + I_2 \cdot r \quad (2)$$

Значения I_1 , I_2 , U_1 , U_2 определяют по показаниям приборов в ходе проведения опыта.

Система двух уравнений (1) и (2) содержит две неизвестные величины ε и r . Решая ее относительно этих неизвестных получают расчетные формулы для определения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока:

$$\varepsilon = \frac{I_1 U_2 - I_2 U_1}{I_1 - I_2} \quad (3)$$

и

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

Оборудование

1. Источник постоянного тока типа ВУ-4,
2. амперметр лабораторный,
3. вольтметр лабораторный,

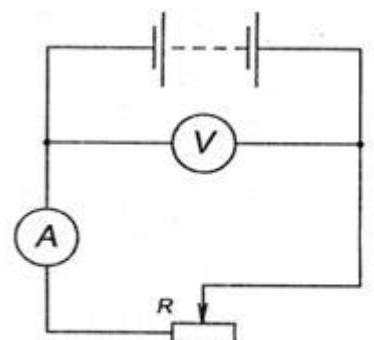


Рис. 16

4. лабораторный реостат,
5. ключ,
6. соединительные провода.

Описание экспериментальной установки

Схема электрической цепи экспериментальной установки показана на рис. 16.

Перед монтажом цепи ползун реостата переводят в такое положение, при котором его сопротивление максимально.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

- 1.Прodelайте вывод формул (1), (2), (3) и (4),
- 2.Повторите вывод формул (см. введение, с. 10) для вычисления границ относительной и абсолютной погрешностей измерения ЭДС.
- 3.Выведите формулы для определения границ относительной, и абсолютной погрешностей измерения внутреннего сопротивления источника тока.

Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 14

I_1, A	$\Delta I_1, A$	U_1, B	$\Delta U_1, B$	I_2, A	$\Delta I_2, A$	U_2, B	$\Delta U_2, B$

- 2.Начертите в тетради схему электрической цепи экспериментальной установки.
- 3.Соберите электрическую цепь.
- 4.Убедитесь в том, что ползун реостата находится в положении, при котором сопротивление реостата максимально. Представьте собранную цепь преподавателю для проверки.
- 5.Включите источник тока, замкните ключ и измерьте силу тока I_1 и напряжение U_1 .
- 6.Отключите цепь от источника и переведите движок резистора в среднее положение.
- 7.Еще раз замкните ключ и измерьте силу тока I_2 и напряжение U_2 .
- 8.Отключите источник тока от электросети и разберите установку.
- 9.Определите, используя формулы (3) и (4), значения ЭДС и внутреннего сопротивления источника.

10. Вычислите границы абсолютных погрешностей прямых измерений силы тока и напряжения.

11. Вычислите границы относительных и абсолютных погрешностей определения ЭДС и r .

12. Запишите полученные значения ЭДС и r учетом погрешностей:

$$\varepsilon_{ист} = \varepsilon \pm \Delta\varepsilon \text{ и } r_{ист} = r \pm \Delta r$$

Контрольные вопросы

1. Раскройте физический смысл понятия «электродвижущая сила источника тока».
2. Почему, определяя пригодность к использованию гальванического элемента, недостаточно ограничиться лишь измерением его ЭДС?
3. Верно ли утверждение о том, что внутреннее сопротивление аккумулятора может изменяться с течением времени?

III.10. Исследование зависимости мощности, потребляемой лампой накаливания, от напряжения на ее зажимах

Цель работы: 1) освоить метод измерения мощности, потребляемой электроприбором, основанный на измерении силы тока и напряжения; 2) исследовать зависимость мощности, потребляемой лампой от напряжения на ее зажимах; 3) исследовать зависимость сопротивления проводника от температуры.

Оборудование

1. Выпрямитель ВУ-4,
2. мультиметр,
3. лабораторный вольтметр,
4. ключ,
5. реостат с сопротивлением обмотки 100 Ом,
6. лампа накаливания (3,5 В; 0,25 А),
7. соединительные провода.

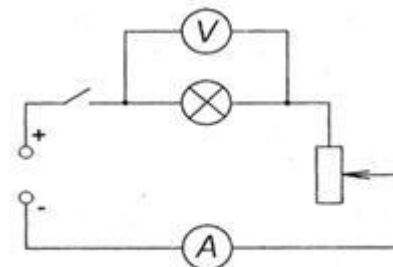


Рис. 17

Введение

Работа электрического тока, совершаемая на участке электрической цепи, равна

$$A = UI\tau,$$

где U — напряжение на участке цепи; I — сила тока, протекающего по цепи; τ — время его протекания.

Мощность определяется как работа, совершаемая за единицу времени:

$$P = \frac{A}{\tau}.$$

Проволочную спираль лампы накаливания можно рассматривать как резистор с определенным сопротивлением.

Если участок цепи содержит резистор, на нем будет происходить необратимое преобразование энергии электрического тока во внутреннюю энергию проводника резистора. Иными словами резистор, потребляя энергию электрического тока, преобразует ее в тепло. Из закона сохранения энергии следует, что количество теплоты Q , которое при этом выделится в проводнике, равно работе электрического тока A :

Следовательно, потребляемая лампой мощность

$$P = UI \quad (1)$$

Сопротивление спирали лампы вычисляют на основании закона Ома для однородного участка цепи:

$$R = \frac{U}{I} \quad (2)$$

Увеличение внутренней энергии спирали лампы приводит к повышению ее температуры и сопротивления. Зависимость сопротивления проводника от температуры имеет вид:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

где R_0 — сопротивление проводника при 0°C ; α — температурный коэффициент сопротивления материала, из которого изготовлен проводник. (Спираль лампы накаливания изготовлена из вольфрама, его $\alpha = 0,0048 \text{ K}^{-1}$)

Зная сопротивления «нагретого» и «холодного» проводника, а также температурный коэффициент сопротивления материала, из которого он изготовлен, можно определить температуру проводника:

$$t = \frac{R - R_0}{\alpha \cdot R_0} \quad (3)$$

Описание экспериментальной установки

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 6.1.

К выходным гнездам выпрямителя подключают электрическую цепь, состоящую из соединенных последовательно лампы накаливания, реостата и амперметра. Амперметром служит мультиметр, переведенный в режим измерения силы постоянного тока. Параллельно лампе подключают лабораторный вольтметр.

Напряжение выпрямителя U , напряжения на реостате U_p и лампе U_l связаны соотношением

$$U = U_p + U_l.$$

Напряжение на лампе равно разности выходного напряжения выпрямителя и напряжения на реостате:

$$U_l = U - U_p.$$

Напряжение на выходе выпрямителя в ходе опыта не меняется. Для изменения напряжения, приложенного к лампе, меняют напряжение на реостате, которое

зависит от его сопротивления: чем оно больше, тем больше и напряжение. Напряжение на лампе при этом минимально. Уменьшая сопротивление резистора, уменьшают приложенное к нему напряжение, при этом напряжение на лампе увеличивается. Если движок резистора перевести в левое по схеме положение, напряжение на нем станет равным нулю, а напряжение на лампе достигнет максимально возможного в условиях опыта значения, равного значению напряжения на выходе выпрямителя: $U_L = U$.

В данном опыте сопротивление спирали лампы при комнатной температуре допустимо приравнять к сопротивлению при 0°C .

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. В каком положении должен находиться ползун реостата, чтобы напряжение на лампе было минимальным?
2. Может ли напряжение на лампе при использовании данной установки стать равным нулю?
3. Запишите формулы для вычисления границ абсолютных погрешностей прямых измерений напряжения и силы тока.
4. Запишите формулы для расчета границ относительных и абсолютных погрешностей определения мощности лампы, сопротивления и температуры ее спирали.

Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 15

№ измерения	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$	$\Delta P, \text{Вт}$	$R, \text{Ом}$	$\Delta R, \text{Ом}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$

2. Измерьте мультиметром сопротивление лампы при комнатной температуре. В дальнейшем это значение сопротивления считать равным R_0 .
3. Подготовьте мультиметр для измерения силы постоянного тока.
4. Соберите экспериментальную установку по схеме рис. 6.1.
5. Включите выпрямитель и установите ползун реостата в положение, при котором напряжение на лампе составляет $0,4 \text{ В}$.
6. Занесите показание мультиметра, соответствующее этому напряжению в таблицу.
7. Увеличивайте напряжение на лампе с интервалом $0,4 \text{ В}$ до максимально

возможного и заносите в таблицу показания мультиметра, соответствующие каждому значению напряжения.

8. Вычислите границы абсолютных погрешностей прямых измерений напряжения и силы тока.

9. Вычислите по формуле (1) мощность, потребляемую лампой в те моменты опыта, когда напряжение на ней соответствовало значениям, указанным в таблице.

10. Вычислите границу абсолютной погрешности, с которой получено значение мощности лампы для каждого измерения.

11. Вычислите по формуле (2) сопротивление спирали лампы в те моменты опыта, когда напряжение на ней соответствовало значениям, указанным в таблице.

12. Вычислите границу абсолютной погрешности, с которой получено значение сопротивления спирали лампы для каждого измерения.

13. Вычислите по формуле (3) температуру спирали лампы в те моменты опыта, когда напряжение на ней соответствовало значениям, указанным в таблице.

14. Вычислите границу абсолютной погрешности, с которой получено значение температуры спирали лампы для каждого измерения.

15. Постройте график зависимости силы тока в лампе от приложенного к ней напряжения.

16. Постройте график зависимости мощности, потребляемой лампой от приложенного к ней напряжения.

17. Постройте график зависимости температуры спирали от приложенного к лампе напряжения.

18. Постройте график зависимости сопротивления спирали от ее температуры.

19. Сделайте вывод по виду построенных графиков о том, как менялись потребляемая лампой мощность, сопротивление и температура спирали при увеличении приложенного к лампе напряжения.

20. Сделайте вывод о том, как изменялось сопротивление спирали лампы

при увеличении ее температуры.

Контрольные вопросы

1. Как объяснить зависимость сопротивления спирали лампы от температуры?
2. Какие характеристики измерительных приборов должны быть изменены и как, чтобы повысить точность измерения мощности рассмотренным способом.
3. Как объяснить тот факт, что сила тока в лампе изменялась не прямо пропорционально изменению напряжения?

Дополнительные задания

1. По графику $I(U)$ определите силу тока, соответствующую напряжению, указанному на цоколе лампы. Сравните полученное значение тока со значением, указанным на цоколе.

2. По графику $I(U)$ определите сопротивление спирали лампы при минимальном и максимальном ее накалах. Сравните данные, полученные при анализе графика, со значениями, взятыми из таблицы.

III.11. Исследование электрических свойств полупроводников

Цель работы: 1) исследование зависимости сопротивления полупроводника от температуры; 2) овладение приемом проверки исправности полупроводникового диода и транзистора.

Оборудование

1. Цифровой мультиметр,
2. лабораторный термометр,
3. терморезистор,
4. полупроводниковый диод,
5. транзистор $p-n-p$ -типа,
6. транзистор $p-n-p$ -типа,
7. штатив лабораторный,

Введение

При нагревании внутри полупроводникового материала увеличивается число свободных носителей электрического заряда — дырок в полупроводнике p -типа и электронов — в полупроводнике n -типа. Этим объясняется зависимость удельного сопротивления полупроводников от температуры.

Эта зависимость лежит в основе работы полупроводниковых приборов, получивших название терморезисторов, или термисторов, применяемых в качестве датчиков температуры в различных терморегулирующих автоматах.

Но эта же зависимость иногда отрицательно сказывается на стабильности работы полупроводниковых приборов. Например, если транзистор, работающий в электронном приборе, сильно нагреть, то его рабочий режим может настолько измениться, что качество работы всего прибора в целом заметно ухудшится. Полупроводниковые приборы на кремниевой основе в меньшей степени подвержены этому недостатку.

Один из методов проверки исправности полупроводниковых диодов и транзисторов основан на измерении сопротивлений их $p-n$ - переходов. Известно, что

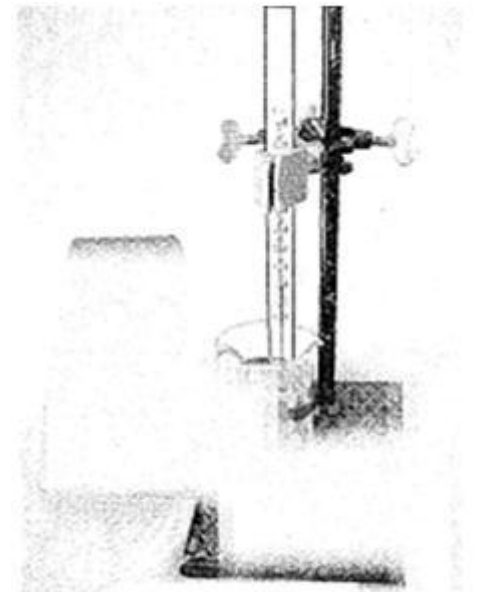


Рис. 18

сопротивление p - n - перехода велико, если к его зоне с дырочной проводимостью приложен отрицательный потенциал внешнего электрического поля, а к зоне с электронной проводимостью — положительный (иначе говорят, что напряжение подано в обратной полярности), если изменить полярность потенциалов внешнего поля, сопротивление резко уменьшается. Сопротивление исправного p - n - перехода при прямой и обратной полярности внешнего напряжения должно меняться как минимум в десятки раз.

Описание экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки для определения зависимости сопротивления термистора от температуры показан на рис. 18.

Используемый в работе термистор типа ММТ-4 представляет собой полупроводниковый стержень, заключенный в металлический корпус. К электрической цепи его подключают двумя выводами. Один из них припаян непосредственно к металлическому корпусу, второй выведен из торцевой части корпуса наружу через стеклянный изолятор.

Сопротивление термистора измеряют мультиметром, который используют как омметр.

Для проверки исправности диода и транзисторов используют цифровой мультиметр в режиме пробника электрических цепей. В этом режиме в нем образуется электрическая цепь из внутреннего источника питания, зуммера и милливольтметра, подключенного параллельно к выходным гнездам прибора, причем положительный полюс источника соединен с гнездом на корпусе, отмеченным надписью «СОМ», а отрицательный — с гнездом с надписью «VO». Если к этим гнездам подключить внешнюю цепь небольшого сопротивления, в цепи пробника потечет ток, и зуммер зазвенит. Индикатор прибора покажет напряжение внешней цепи в милливольтках. Если подключенная цепь имеет сопротивление более 1 кОм, сигнал зуммера будет отсутствовать.

Подключая «положительный» щуп пробника к аноду диода, а «отрицательный» - к катоду, приводят диод в открытое состояние. Его сопротивление станет небольшим, по цепи пробника пойдет ток, а зуммер зазвенит. При подключении щупов в обратной полярности звонка не будет.

Некоторые мультиметры имеют специальный режим проверки исправности полупроводниковых диодов. Для перевода их в этот режим переключатель режимов устанавливают напротив условного обозначения диода, нанесенное рядом с одним из пределов измерений омметра. В этом режиме при подаче на диод напряжения в прямой полярности мультиметр показывает напряжение на диоде в милливольтках. При обратной полярности напряжения индикатор мультиметра покажет единицу в левом разряде.

Задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Изучите руководство по эксплуатации мультиметра и определите, имеет ли данный прибор режим пробника электрических цепей.
2. Выясните порядок подготовки мультиметра к работе в качестве омметра и пробника электрических цепей.

Ход работы

Задание 1. Исследовать зависимость сопротивления полупроводника от температуры.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений:

Таблица 16

$t, ^\circ\text{C}$													
$R, \text{Ом}$													

2. Переключите мультиметр в режим работы в качестве омметра. Установите необходимый предел измерения омметра учитывая значение сопротивления термистора, указанное на его корпусе.
3. Поместите термометр и термистор в сосуд с горячей водой.
4. Подключите термистор к омметру.
5. Начинайте регистрировать показания омметра и термометра после того, как температурный режим стабилизируется и сопротивление термистора перестанет уменьшаться.
6. Заносите в таблицу показания термометра и омметра каждый раз, когда температура воды изменится на 5°C .
7. Постройте график зависимости сопротивления термистора от температуры используя результаты измерений.

Задание 2. Проверить исправность полупроводникового диода и транзистора.

1. Рассмотрите диод и определите выводы катода и анода.
2. Переведите мультиметр в режим работы его в качестве пробника и оцените способность диода проводить ток при прямой и обратной полярностях приложенного напряжения. Сделайте вывод о исправности диода.
3. Определите расположение выводов транзистора $p-n-p$ -типа.
4. Убедитесь в существовании $p-n$ -переходов база — эмиттер и база — коллектор.
5. Составьте план действий для доказательства того, что испытуемый транзистор относится к $p-n-p$ -типа. Выполните необходимые действия и убедитесь в этом.
6. Выполните аналогичные действия с другим транзистором и определите его тип.

Контрольные вопросы

1. Как и во сколько раз изменилось сопротивление термистора в ходе опыта?
2. Можно ли утверждать, что сопротивление термистора изменялось прямо пропорционально изменению температуры?
3. Одинакова ли температурная чувствительность термистора во всем диапазоне изменения температуры?
4. Почему у полупроводникового диода существует обратный ток?

Дополнительное задание

Цель задания: убедиться в возможности использовать термистор в качестве датчика температуры.

1. Налейте в стакан воды неизвестной температуры.
2. С помощью термистора, омметра и построенного графика зависимости сопротивления термистора от температуры определите температуру воды.
3. Проверьте термометром полученный результат.

III.12. Изучение эффекта Зеебека⁶

⁶ Работа составлена на основе исследовательской работы Тамилина Д. «Домашний терморегулятор». / 1.11.2009 г., электронное периодическое издание «НУМИ» (NUMI.RU) (научные, учебные и методические издания) - <http://numi.ru/downloadrus.php?id=2011>

Цель работы: исследовать термоэлектрические явления и на их основе убедиться в различии термоэлектрических свойств различных пар металлов и полупроводников.

Оборудование

- 1) Терморезистор,
- 2) полупроводниковый диод,
- 3) штатив лабораторный,
- 4) железный стержень толщиной 4—5 мм и длиной 10—15 см,
- 5) примерно 30 см алюминиевой проволоки диаметром 2—3 мм,
- 6) самый простой магнитный компас или просто магнитная стрелка.

Введение

Эффект Зеебека состоит в том, что в электрической цепи, составленной из разных проводников (М1 и М2), возникает термоэдс, если места контактов (А, В) поддерживаются при разных температурах (см. рис. 19-20). Если цепь замкнута, то в ней течет электрический ток (так называемый термоток I_T), причем изменение знака у разности температур спаев сопровождается изменением направления термотока.

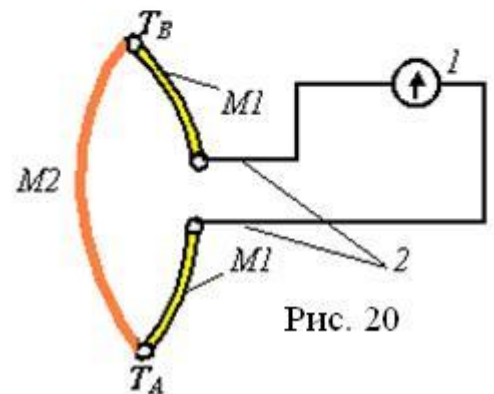
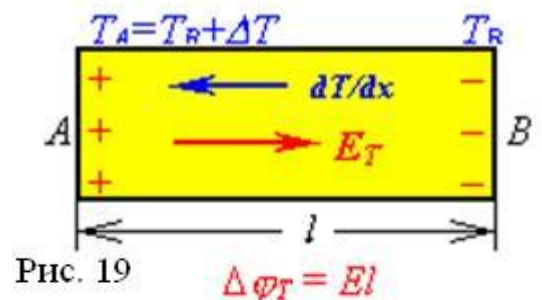
Цепь, составленная из двух различных проводников (М1, М2), называется термоэлементом (или термопарой), а ее ветви – термоэлектродами.

Величина термоэдс (ϵ_T) зависит от абсолютных значений температур спаев (T_A , T_B), разности этих температур ΔT и от природы материалов, составляющих термоэлемент.

Термоэдс контура определяется формулами:

$$d\epsilon_T = a_{12}dT$$

$$\epsilon_T = \int_{T_B}^{T_A} \alpha_{12}dT$$



Здесь a_{12} – коэффициент термоэдс металла 1 по отношению к металлу 2, который является характеристикой обоих металлов термопары.

На практике это создает определенные неудобства. Поэтому условились величину a_{12} измерять по отношению к одному и тому же металлу, за который удобно принять свинец, т.к. для образца из свинца не возникает никакой разности потенциалов между его нагретым и холодным концами.

Значения коэффициентов термоэдс металлов M_1 и M_2 по отношению к свинцу обозначают соответственно a_1 и a_2 и называют абсолютными коэффициентами термоэдс.

Тогда

$$a_{12} = a_1 - a_2.$$

В небольшом интервале температур (во всяком случае, для интервала порядка $0^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$):

$$e_T = a_{12} (T_A - T_B) = a_{12} DT.$$

Направление термотока определяется следующим образом: в нагретом спае ток течет от металла с меньшим значением a к металлу, у которого коэффициент термоэдс больше.

Например, для термопары железо (M_1) – константан (M_2) абсолютные коэффициенты термоэдс соответственно равны: $a_1 = +15.0$ мкВ/К (для железа) и $a_2 = -38.0$ мкВ/К (для константана). Следовательно, ток в горячем спае направлен от константана к железу (от M_2 к M_1).

Коэффициент термоэдс⁷ определяется физическими характеристиками проводников, составляющих термоэлемент: концентрацией, энергетическим спектром, механизмами рассеяния носителей заряда, а также интервалом температур. В некоторых случаях при изменении температуры происходит даже изменение знака a .

Термоэдс обусловлена тремя причинами:

1) температурной зависимостью уровня Ферми, что приводит к появлению контактной составляющей термоэдс;

⁷ Приложение XIII

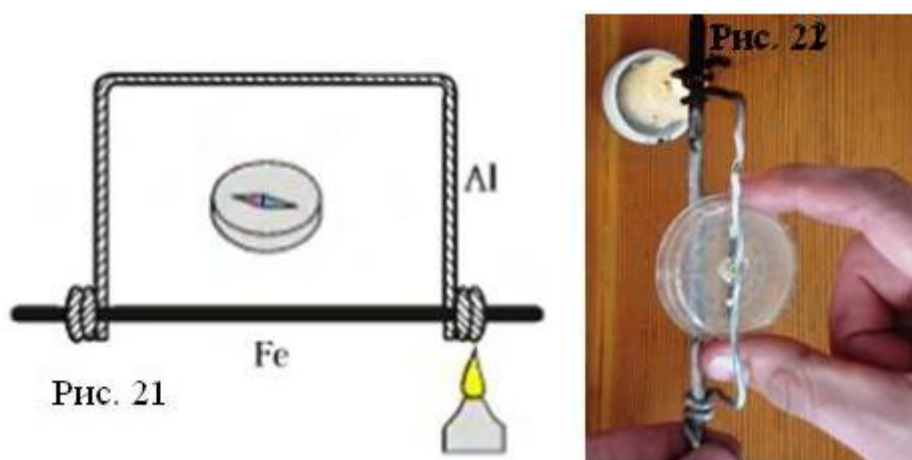
2) диффузией носителей заряда от горячего конца к холодному, определяющей объемную часть термоэдс;

3) процессом увлечения электронов фононами⁸, который дает еще одну составляющую – фононную.

Абсолютные значения всех термоэлектрических коэффициентов растут с уменьшением концентрации носителей. В металлах концентрации свободных электронов очень велики и не зависят от температуры; электронный газ находится в вырожденном состоянии и поэтому уровень Ферми, энергия и скорости электронов также слабо зависят от температуры. Поэтому термоэдс «классических» металлов очень мала (порядка нескольких мкВ/К). Для полупроводников α может превышать 1000 мкВ/К.

Для сравнения, в таблице⁹ приведены значения α некоторых металлов (по отношению к свинцу) для интервала температур 0°C – 100°C (положительный знак α приписан тем металлам, к которым течет ток через нагретый спай).

Описание экспериментальной установки



Общий вид экспериментальной установки для определения зависимости сопротивления термистора от температуры показан на рисунке.

Тщательно зачистим стержень и проволоку, а затем намотаем несколько витков проволоки на один из концов железного стержня. После этого отогнем проволоку под прямым углом к стержню и на расстоянии 1,5— 2 см от сгиба согнем проволоку еще раз на 90°, чтобы она оказалась параллельной стержню; затем, отмерив на ней 8-10 см, снова согнем ее перпендикулярно стержню и остав-

⁸ **Фонон** (от греч. phone – звук), квант колебательного движения атомов кристалла.

⁹ Приложение XIII

шуюся часть намотаем на стержень. В результате получится прямоугольная рамка. Расположим рамку так, чтобы ее плоскость оказалась, во-первых, вертикальной и, во-вторых, параллельной магнитной стрелке компаса, помещенного внутри.

Задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Что является причиной возникновения ЭДС в используемом приборе?

Ход работы

Задание 1

1. Запишите комнатную температуру t_0 и показание миллиамперметра.
2. Включите нагреватель.
3. Запишите температуру и показания миллиамперметра через равные интервалы изменения температур (15 с) в таблицу.

Таблица 17

t, c	15	30	45	60	75	80	85	90	95
$I(mA)$									

4. Температуру термопары доведите до 80-90°.
5. Наличие магнитного поля констатируйте по отклонению магнитной стрелки
6. Постройте график зависимости $\varepsilon = f(\Delta t)$.
7. Определите экспериментальное значение коэффициента термоЭДС термопары ($\alpha_{12} = A$) и сравните результаты с таблицей¹⁰ ($\alpha_{12} = 15 - (-0,4) = 15,4$ мВ/К).

Задание 2

1. Возьмите термопару, спаянную из двух веществ.
2. Присоединив к ней миллиамперметр, одновременно замеряйте значение тока и компасом констатируйте магнитное поле.
3. Сравните результаты двух опытов: более наглядным будет наличие электрического тока или магнитного поля.
4. Запишите температуру и показания миллиамперметра через равные интервалы изменения температур (15 с) в таблицу.

Таблица 18

t, c	15	30	45	60	75	80	85	90	95
$I(mA)$									

¹⁰ Приложение XIII

5. По данным таблиц начертите график.

Контрольные вопросы

1. Почему тепло, подведенное к спаю (или контакту) разнородных металлов, рождает электрический ток?
2. Можно ли утверждать, что сопротивление термистора изменялось прямо пропорционально изменению температуры?
3. Может ли в спае двух разнородных металлов наблюдаться выделение или поглощение тепла?
4. Как меняются абсолютные значения всех термоэлектрических коэффициентов с уменьшением концентрации носителей?
5. Какие преобразования энергии происходят в скрутке двух металлов?

III.13. Изучение явления электромагнитной индукции

Цель работы: исследовать закономерности возникновения индукционного тока в проводнике при изменении магнитного поля, в котором он находится.

Оборудование

- 1) Миллиамперметр с нулевым делением в середине шкалы,
- 2) полосовой магнит,
- 3) электромагнит разборный,
- 4) выпрямитель,
- 5) ключ,

- б) кусок тонкого гибкого провода длиной 3 м с наконечниками на концах.

Введение

Работа включает два задания. При выполнении первого задания исследуют на качественном уровне зависимость силы индукционного тока в катушке от скорости изменения индукции магнитного поля, от числа витков катушки и от взаимной ориентации плоскости катушки и направления магнитного поля. Во втором задании экспериментально проверяется правило Ленца.

Явлением электромагнитной индукции называют возбуждение электрического тока в замкнутом контуре, находящимся в изменяющемся магнитном поле. Сила индукционного тока пропорциональна ЭДС индукции $\mathcal{E}_i$. По закону электромагнитной индукции:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где $\Delta\Phi$ — изменение магнитного потока, пронизывающего контур, образованный замкнутым проводником; Δt — время, за которое изменяется магнитный поток.

Магнитный поток Φ определяется произведением индукции магнитного поля к площади контура S и косинуса угла α между направлением вектора индукции магнитного поля и направлением нормали к плоскости контура (рис. 23): $\Phi = BS \cos \alpha$.

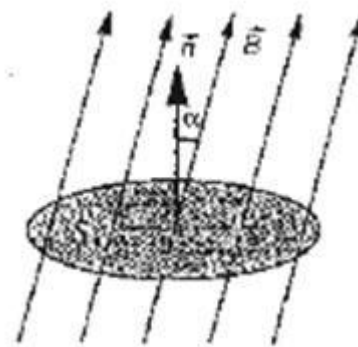


Рис. 23

Индукционный ток появится при изменении со временем любого из этих сомножителей.

Чтобы увеличить силу индукционного тока, в качестве замкнутого контура используют катушку, которую можно рассматривать как несколько витков, соединенных последовательно.

Общая ЭДС индукции, действующая в катушке, равна сумме ЭДС, действующих в каждом витке, поэтому сила индукционного тока в катушке при прочих равных условиях будет зависеть от числа витков в ней.

Индукционный ток в катушке можно создать, приближая и удаляя от нее постоянный магнит или поместив рядом с ней другую катушку. При подключении дополнительной катушки к источнику тока, в ней

возникнет электрический ток. Сила тока за очень короткое время изменится от нуля до некоторого определенного значения. Появление тока вызовет, в свою очередь, возникновение в окружающем пространстве магнитного поля. С увеличением силы тока увеличивается и индукция магнитного поля. Так как дополнительная катушка находится рядом с основной, ее магнитное поле, пронизывая эту катушку, вызовет в ней индукционный ток. После того как сила тока в дополнительной катушке достигнет определенного значения и перестанет меняться, ток в основной катушке исчезнет. Влияние магнитного поля дополнительной катушки на силу индукционного тока в основной будет заметнее. Если обе катушки поместить на общий железный сердечник.

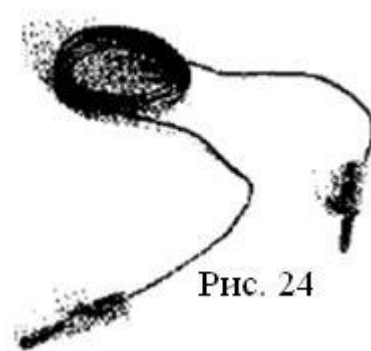


Рис. 24

Направление индукционного тока зависит от направления магнитного поля, которое его порождает, и от того, как меняется (увеличивается, или уменьшается) магнитная индукция этого поля. Э. Х. Ленц установил, что возникающий в замкнутом контуре индукционный ток направлен так, что своим магнитным полем противодействует изменению того магнитного потока, которым он вызван (правило Ленца).

При применении правила Ленца следует помнить, что за направление магнитного поля принято считать направление от северного полюса магнита к южному.

Приведем пример определения направления индукционного тока с помощью правила Ленца. Если к лежащему на столе металлическому кольцу сверху подносить магнит северным полюсом вниз (магнитное поле магнита направлено вниз), в кольце возникнет ток, который создаст собственное магнитное поле. Направления магнитных полей кольца и тока в нем связаны правилом правого винта. При приближении к кольцу северного полюса магнита его собственное магнитное

поле, по Ленцу, должно быть направлено вверх. Чтобы создать поле, направленное вверх, ток в кольце должен протекать в направлении против часовой стрелки.

Для определения направления индукционного тока можно предложить следующий алгоритм.

1. Выяснить, как направлено и как изменяется внешнее магнитное поле (в рассмотренном примере оно было направлено вниз, а индукция магнитного поля увеличивалась).
2. Установить, как должно быть направлено собственное поле проводника, чтобы препятствовать этому изменению. (Чтобы препятствовать увеличению магнитного потока внешнего поля в кольце, поле кольца должно быть направлено навстречу внешнему.)
3. Зная направление собственного поля проводника, по правилу правого винта найти направление создавшего его тока. (Чтобы поступательное движение винта было направлено вверх, вращать его надо против часовой стрелки.)

Направление индукционного тока определяют по направлению отклонения стрелки миллиамперметра. (Она отклоняется вправо, когда внутри миллиамперметра ток протекает от правого гнезда прибора к левому.)

Описание экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки для проведения опыта показан на рис. 8.3.

В качестве объекта исследования при проведении опыта используют самодельную катушку из монтажного провода. Наматывают провод так, чтобы катушка имела диаметр ~ 3 см. Длина концов катушки должна быть в пределах 7—10 см (рис. 24). При трехметровой длине провода в ней окажется примерно 25 витков. После намотки витки катушки желательно закрепить скотчем или изоляционной лентой. Наконечники, закрепленные на концах провода, вставляют в гнезда миллиамперметра.

В опыте по исследованию индукционного тока при взаимодействии двух катушек в качестве дополнительной служит катушка от разборного электромагнита с сердечником. Дополнительную катушку помещают внутрь основной.

Вопросы для проверки готовности к выполнению работы

1. Сформулируйте правило правого винта и правило Ленца.
2. Как направлено магнитное поле внутри полосового магнита?

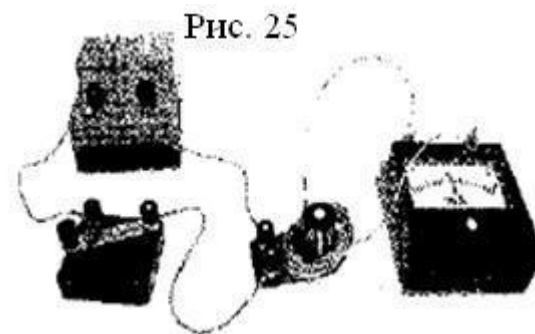
Ход работы

Задание 1. Исследовать зависимость силы индукционного тока в катушке от изменения магнитного потока в ней.

1. Изготовьте из куска гибкого провода катушку и подключите ее к миллиамперметру.
2. Установите факт появления индукционного тока при перемещении магнита относительно неподвижной катушки. Поднося к катушке магнит с разной скоростью и разными полюсами, убедитесь, что миллиамперметр регистрирует появление тока в цепи.
3. Установите факт появления индукционного тока при перемещении катушки относительно покоящегося магнита. Удерживая одной рукой магнит, в другую возьмите катушку и подносите ее вначале к одному полюсу, затем — к другому с разной скоростью и разными сторонами. Убедитесь, что миллиамперметр в этом случае отмечает появление тока.
4. Исследуйте зависимость силы индукционного тока от скорости изменения магнитного поля. Для этого с разной скоростью вводите магнит в катушку и отмечайте показания миллиамперметра.
5. Исследуйте зависимость силы индукционного тока от взаимного расположения катушки и магнитного поля. Опыт проделайте несколько раз, поднося магнит перпендикулярно плоскости катушки, под углом к ней и вдоль плоскости. Скорость движения магнита старайтесь выдерживать одинаковой. Каждый раз отмечайте отклонение стрелки миллиамперметра.
6. Исследуйте зависимость силы индукционного тока от числа витков в катушке. Зафиксируйте показание стрелки миллиамперметра при внесении магнита в катушку с максимально возможной скоростью. Затем повторите опыт несколько раз, отматывая от катушки каждый раз по пять витков. Скорость магнита старайтесь не изменять. После опыта восстановите в катушке прежнее число витков.

7. Установите факт появления индукционного тока при взаимодействии двух катушек.

Соберите установку, показанную на рис. 25. В катушку разборного электромагнита вставьте сердечник и подключите ее через ключ к выпрямителю. На катушку электромагнита наденьте самодельную катушку, как показано на рисунке. Убедитесь, что стрелка миллиамперметра отклоняется только в момент замыкания и размыкания ключа. При замкнутом ключе индукционного тока нет. Заметьте, в какую сторону отклоняется стрелка при замыкании и размыкании ключа. Измените полярность подключения катушки электромагнита к выпрямителю и установите, как это отразится на направлении отклонения стрелки.



8. Установите влияние сердечника на силу индукционного тока. Зафиксируйте, до какого деления отклоняется стрелка миллиамперметра в момент замыкания и размыкания ключа при наличии в катушке электромагнита сердечника. Удалите сердечник и определите, как это отразится на отклонении стрелки.

9. Составьте отчет о выполнении работы, в котором укажите, как изменяется сила индукционного тока:

- при увеличении и уменьшении скорости изменения магнитного поля;
- при увеличении и уменьшении угла между направлением магнитного поля и перпендикуляром к плоскости катушки;
- при изменении числа витков в катушке;
- при удалении сердечника из катушек.

Задание 2. Проверить выполнение правила Ленца.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов наблюдений:

Таблица 19

	Расположение полюсов и направление их движения			
	S N ↑	S N ↓	N S ↑	N S ↓
Отклонение стрелки миллиамперметра				
Направление тока в катушке				
Направление поля катушки				

2. Самодельную катушку положите на стол рядом с миллиамперметром и подключите к прибору.
3. Определите направление намотки провода в катушке.
4. Удерживая над катушкой магнит северным полюсом вниз, поднесите его к катушке и заметьте, в какую сторону отклонится при этом стрелка миллиамперметра. Занесите результат наблюдения в графу 1 таблицы.
5. Повторите опыт для случаев, указанных во 2-й, 3-й и 4-й графах таблицы.
6. По отклонению стрелки определите для каждого случая направление тока в катушке.
7. Используя правило правого винта, определите для каждого случая направление собственного магнитного поля катушки.
8. Сопоставьте направление собственного магнитного поля катушки с изменением в ней внешнего поля, вызванным движением магнита.
9. Сделайте вывод о выполнении правила Ленца в каждом из рассмотренных случаев.

Контрольные вопросы

1. Чем объяснить увеличение силы индукционного тока в опыте с двумя катушками при внесении сердечника?
2. Почему изменилось направление отклонения стрелки миллиамперметра при изменении полярности подключения катушки электромагнита к выпрямителю?
3. Как получить индукционный ток в проводнике?
4. Всегда ли в замкнутом проводнике, движущемся в однородном магнитном поле, возникает индукционный ток?
5. От чего зависит сила индукционного тока?

IX Лабораторные работы в XI классе

III.1. Устройство и работа трансформатора

Цель работы: исследовать зависимость напряжения на вторичной обмотке трансформатора от числа витков в ней.

Введение

Трансформатор состоит из сердечника и нескольких проволочных катушек, называемых обмотками, отличающимися числом витков. Сердечник, изготовленный из пластин специальной стали, имеет замкнутую форму.

Обмотка, подключаемая к источнику переменного напряжения, называется первичной, а обмотку, к которой подключают устройства, потребляющие электроэнергию, называют вторичной. Вторичных обмоток может быть несколько.

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции.

При работе на холостом ходу отношение ЭДС, индуцированных в обмотках, равно отношению числа витков в них:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

Активные сопротивления обмоток сравнительно невелики, поэтому при работе под нагрузкой напряжения на выводах обмоток мало отличаются от ЭДС в них, поэтому равенство (1) приближенно выполняется и для отношения напряжений на выводах обмоток:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (2)$$

где K — коэффициент трансформации.

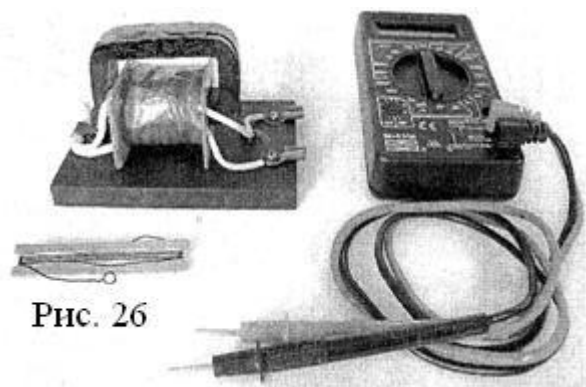
Оборудование

1. Разборный трансформатор,
2. мультиметр,
3. тонкий гибкий провод на мотовильце.

Описание экспериментальной установки

Объектом изучения является низковольтный понижающий трансформатор. Его первичная обмотка рассчитана на напряжение 42 В. Поверх нее намотана вторичная обмотка с выходным напряжением ~ 6 В. Обе обмотки размещены на одном каркасе. Выводы обмоток соединены с гнездами, установленными на той же панели. К выводам первичной обмотки присоединен шнур со специальной вилкой для подключения трансформатора к электросети напряжением 42 В. (Розетки с таким напряжением закреплены на лабораторных столах.)

На каркас катушек помещен сердечник, состоящий из двух П-образных частей. Части сердечника стянуты друг с другом металлической лентой, которая одновременно крепит трансформатор к панели. Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 26.



Для исследования зависимости напряжения на обмотке от числа витков в ней на верхней, свободной от каркаса, части сердечника, по ходу выполнения работы наматывают мотовильцем дополнительную обмотку. Гибкий провод на мотовильце имеет оголенные концы для подключения к ним вольтметра.

Напряжение первичной обмотки определяют, подключив вольтметр к гнездам розетки.

Работая с трансформатором, следует помнить, что сила тока в его первичной обмотке определяется напряжением, которое подается к ней из электросети, и ее сопротивлением. При удалении сердечника индуктивное сопротивление обмотки значительно уменьшится, из-за этого уменьшится и полное сопротивление обмотки, что приведет к сильному возрастанию силы тока и выведет ее из строя. Поэтому разборный трансформатор запрещается подключать к электросети без закрепленного сердечника.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Ознакомьтесь с руководством по эксплуатации мультиметра в качестве вольтметра для измерения переменного напряжения.
2. Может ли трансформатор работать от источника постоянного напряжения?
3. От чего зависит сила тока в первичной и вторичной обмотках трансформатора?

Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений:

Таблица 20

<i>Число витков N</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>50</i>
<i>Напряжение U, В</i>					

2. Подготовьте мультиметр для работы в качестве вольтметра для измерения переменного напряжения.
3. Рассмотрите трансформатор, обратите внимание на особенности конструкции его основных частей. Определите расположение выводов первичной и вторичной обмоток.
4. Используя зазор между обмотками и сердечником, намотайте на сердечник с помощью мотовильца дополнительную обмотку из 10 витков.
5. Подключите трансформатор к сети и измерьте вольтметром напряжение на выводах дополнительной обмотки.

6. Увеличивая число витков дополнительной обмотки сначала до $N = 20$, а затем до 30, 40 и 50, отслеживайте изменение напряжения на ее концах.
7. По данным измерений постройте график зависимости напряжения на обмотке от числа витков.
8. Пользуясь графиком, определите, какое число витков n должна иметь обмотка, чтобы напряжение на ней было равно
9. Измерьте напряжения на первичной и вторичной обмотках и вычислите коэффициент трансформации K по формуле (2). Убедитесь в том, что $K > 1$.
10. Зная n , определите число витков в первичной и вторичной обмотках разборного трансформатора:
11. Сделайте вывод о зависимости напряжения на обмотке от числа витков в ней.

Контрольные вопросы

6. Почему сердечник трансформатора делают из отдельных пластин?
7. Можно ли подключать ко вторичной обмотке трансформатора любую нагрузку, если напряжение на первичной обмотке не превышает предельно допустимого значения?
8. Почему в понижающей обмотке используют более толстый провод, чем в повышающей?

III.2. Сборка и настройка простейшего радиоприемника

Цель работы: ознакомиться с порядком сборки и настройки простейшего транзисторного радиоприемника.

Оборудование

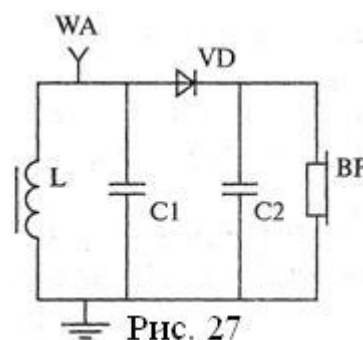
- 1) Набор радиодеталей,
- 2) источник питания,
- 3) моток провода.

Введение

Принципиальная схема одного из простейших радиоприемников (рис. 27) включает антенну WA, резонирующий контур LC1, диод VD, конденсатор C2 и телефон BF.

Резонирующий контур выделяет из всех сигналов радиостанций, попавших в антенну, тот, в котором частота высокочастотных электромагнитных колебаний совпадает с собственной частотой контура. Чтобы перейти на прием сигнала другой станции, изменяют собственную частоту контура изменением его электроемкости или индуктивности. Последний способ используется в данной работе.

Принятый высокочастотный модулированный сигнал необходимо детектировать. Для этого переменное напряжение высокой частоты с обкладок конденсатора C1 резонирующего контура подводят через диод VD на параллельно соединенные конденсатор C2 и телефон BF (в других схемах к конденсатору C2 вместо телефона подключен резистор R1). Диод пропускает ток в одном направ-



лении. Конденсатор C2 заряжается через диод VD в течение половины периода высокочастотных колебаний и непрерывно разряжается через телефон (или резистор R1 в других схемах).

Напряжение на обкладках конденсатора C2 меняется в соответствии с изменениями амплитуды принятого сигнала. Сила тока, проходящего через телефон, зависит от приложенного напряжения. Напряжение на телефоне равно напряжению на конденсаторе C2 (они включены параллельно). Поэтому изменение силы тока в телефоне будет происходить в соответствии с изменением амплитуды принятого сигнала. Если радиостанция передаст сигнал, амплитуда которого меняется под влиянием звуковой волны, то мембрана телефона воспроизведет этот звук.

На рис. 28 и 29 представлены доработанные схемы этого приемника, где для увеличения громкости принимаемого сообщения радиосигнала используются транзисторные усилители.

Усиливающее свойство транзистора проявляется в том, что при поступлении на один из его электродов — базу — электрического сигнала с небольшой амплитудой колебаний на другом электроде — коллекторе — возникнет сигнал, по форме точно соответствующий поданному на базу, но амплитуда которого во много раз больше. Усилительный режим работы транзисторов VT1 и VT2 устанавливают, подключая их базы к источнику питания через резисторы R2 и R3 соответственно. Чтобы режим не изменился при подключении к базе других элементов схемы, усиливаемый сигнал подают на нее через разделительный конденсатор (C3 на рис. 28; C3 и C4 на рис. 29). Если амплитуда сигнала после прохождения через каскад усиления на одном транзисторе не достигает достаточного уровня, сигнал еще раз усиливают, подавая на базу другого транзистора. Усилитель, дважды усиливающий сигнал, называют двухкаскадным.

Описание экспериментальной установки

В качестве внешней приемной антенны используют кусок гибкого провода длиной не менее 6—7 м, который растягивают вдоль оконной стены класса.

Индуктивность резонирующего контура изменяют перемещением сердечника внутри каркаса катушки L.

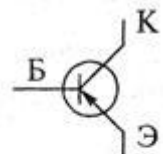


Рис. 28

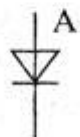


Рис. 29

При сборке радиоприемника особое внимание следует уделить подключению транзисторов и диода. Транзистор будет усиливать сигнал только в том случае, когда на три его электрода — эмиттер, базу и коллектор — будут поданы напряжения определенного значения и полярности. Для удобства определения электродов транзистора на них надеты цветные трубочки: на коллектор К — синяя, на базу Б — белая, на эмиттер Э — красная. Условные обозначения выводов показаны на рис. 10.4. Полупроводниковый диод также важно включить в нужной полярности. Расположение выводов диода и его условное обозначение показаны на рис. 10.5. Анод диода А определяют по красной точке, нанесенной на корпусе вблизи этого вывода. Емкости конденсаторов и сопротивления резисторов указаны на их корпусах.

Источник питания подключают к схеме только после того, как она полностью собрана и проверена.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Какова роль антенны в радиоприемнике?
2. Укажите назначение элементов схемы радиоприемника, изображенной на рис. 10.1.
3. Какими способами можно изменить собственную частоту входного контура радиоприемника?

Ход работы

1. Соберите приемник по схеме рис. 29.
2. Подключите внешнюю антенну и заземление.
3. Подключите источник питания.
4. Убедитесь в том, что транзисторный усилитель работает. Для этого металлическим предметом коснитесь вывода базы транзистора VT1. О том, что усилитель работает, судят по появлению при таком касании характерного гудения в наушнике. Если коснуться вывода базы транзистора VT2, гудение будет менее громким.
5. Перемещая сердечник вдоль каркаса катушки резонирующего контура, добейтесь уверенного приема сигнала какой-либо радиостанции.

6. Изменяя положение сердечника в каркасе катушки, убедитесь в возможности перенастройки приемника на прием сигнала других станций.

7. Измените схему приемника сначала в соответствии с рис. 10.2, а затем — с рис. 10.1 и сделайте вывод о влиянии усиления на качество воспроизводимого сигнала.

Контрольные вопросы

1. Как нужно изменить индуктивность входного контура радиоприемника, чтобы перестроить его на прием сигнала радиостанции, работающей на меньшей длине волны?

2. Как происходит выделение низкочастотной звуковой составляющей принимаемых модулированных высокочастотных колебаний?

3. Каково назначение транзисторов в схемах рис. 28 и 29?

Дополнительное задание

Если в вашей местности работает мощная радиостанция, то ее сигнал может быть принят при отключенной внешней антенне. При осуществлении приема на внутреннюю антенну, убедитесь в том, что электромагнитная волна, излучаемая антенной радиостанции, является поляризованной. Для этого после настройки на станцию поверните катушку колебательного контура в вертикальной плоскости на 90° и проследите за изменением громкости приема. Установите, при какой ориентации катушки громкость приема максимальна. Определите по положению катушки при максимальной громкости звучания сигнала направления колебаний векторов E и B в принимаемой электромагнитной волне.

III.3. Определение показателя преломления вещества

Цель работы: определение показателя преломления стекла относительно воздуха методом построения хода луча сквозь стеклянную пластину с параллельными гранями.

Оборудование

- 1) Стеклянная пластина с параллельными гранями,
- 2) пластиковый коврик,
- 3) булавки (4 шт.),
- 4) лист бумаги,
- 5) линейка,
- 6) тонко отточенный карандаш;
- 7) стеклянный сосуд;
- 8) два плоских стекла, $d=35\text{мм}$ ($0,035\text{м}$) с заключенной между ними фотографией (для сохранности фотографии).

Введение

Относительным показателем преломления называют величину, показывающую, во сколько раз скорость света v_x в одной среде больше, чем скорость света v_2 в другой:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} .$$

Определить относительный показатель преломления можно, воспользовавшись законом преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}, \quad (1)$$

где α — угол падения луча на границу раздела двух сред; β — угол преломления.

Из (1) следует, что для определения относительного показателя преломления вещества необходимо измерить углы аир или найти отношение их синусов.

Описание экспериментальной установки

Для определения показателя преломления стекла относительно воздуха рассматривают прохождение луча света через стеклянную пластину с параллельными гранями.

Углы непосредственно не измеряют, а находят отношение их синусов. Для этого поступают следующим образом. Коврик из пористого материала накрывают листом бумаги. В центральной части листа размещают прозрачную стеклянную пластину. Карандашом обводят на листе контур ее основания. Пластину временно удаляют с листа. С внешней стороны контура к середине одной из его параллельных сторон до пересечения с ней проводят прямую, наклоненную к этой стороне под углом $20\text{—}30^\circ$. В эту прямую втыкают две булавки на расстоянии $5\text{—}7$ см одна от другой, причем одну из булавок втыкают в точку пересечения прямой с контуром. После этого пластину возвращают на прежнее место — с этого момента смещать ее относительно обведенного контура не следует. Затем коврик с пластиной кладут на ладонь и располагают перед собой так, чтобы было удобно смотреть на булавки сквозь боковые грани пластины. Поворачивая коврик вокруг вертикальной оси, находят такое его положение, при котором булавки, наблюдаемые сквозь пластину, окажутся совмещенными. Сразу после этого в коврик перед пластиной втыкают еще две булавки, но так, чтобы все четыре казались расположенными на одной линии. Вид экспериментальной установки показан на рис. 29.

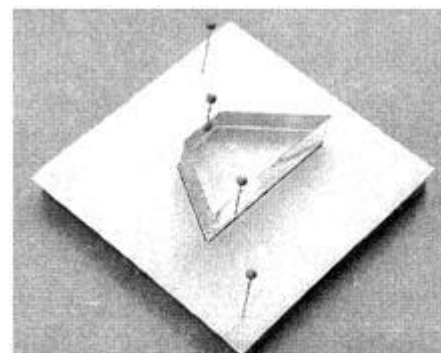


Рис. 29

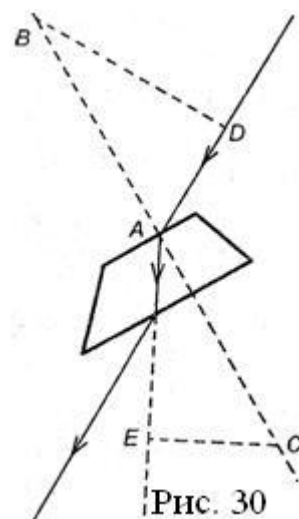


Рис. 30

Добившись нужного эффекта, приступают к нахождению отношения синусов углов. Предварительно сняв пластину, лист бумаги снимают с коврика. В точ-

ку пересечения наклонной прямой с контуром пластины (ранее в эту точку была вколота одна из булавок) восстанавливают перпендикуляр к контуру и продолжают его внутрь контура (рис. 30). На перпендикуляре от точки A откладывают отрезки AB и AC равной длины.

Далее строят ход луча внутри пластины. Для этого соединяют линией точки, куда были воткнуты булавки второй пары, и продолжают эту линию до пересечения с контуром. Точку пересечения линии с контуром соединяют отрезком с точкой пересечения с контуром наклонной прямой, которую начертили в начале опыта. Луч внутри пластины распространялся вдоль отрезка, соединяющего эти точки. Чтобы уменьшить погрешность измерения, отрезок продолжают за границу контура.

Из точек B и C опускают перпендикуляры BD и CE на направление хода луча до падения на пластину и на направление хода луча внутри нее. При этом образуются прямоугольные треугольники ABD и ACE . Используя известные тригонометрические соотношения, находят

$$\sin \alpha = \frac{BD}{AB} \quad \text{и} \quad \sin \beta = \frac{CE}{AC}, \quad \text{откуда} \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{BD}{AB} \cdot \frac{AC}{CE}$$

Но $AB = AC$ по построению. Тогда

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{BD}{CE} = n_{21}. \quad (2)$$

Значит, чтобы определить относительный показатель преломления стекла, надо измерить отрезки BD и CE .

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Какую размерность имеет относительный показатель преломления?
2. Как длины отрезков AB и AC влияют на точность определения показателя преломления?
3. Запишите формулу для вычисления границы абсолютной погрешности определения n_{21} .

Ход работы

Задание 1. Определение показателя преломления стекла

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 21

$BD, \text{мм}$	$\Delta(BD), \text{мм}$	$CE, \text{мм}$	$\Delta(CE), \text{мм}$	n_{21}	Δn_{21}

2. Постройте ход луча до падения на пластину (см. описание экспериментальной установки).
3. Постройте ход луча внутри пластины.
4. Восставьте перпендикуляр к контуру пластины в том месте, где луч входил в нее.
5. Постройте отрезки BD и CE (см. описание экспериментальной установки) и измерьте их длину.
6. Определите границы абсолютных погрешностей измерений длин отрезков BD и CE .
7. Вычислите по формуле (2) относительный показатель преломления стекла n_{21} .
8. Вычислите границу абсолютной погрешности определения показателя преломления Δn_{21} .
9. Запишите результат определения относительного показателя преломления n_{cm} стекла относительно воздуха с учетом границы абсолютной погрешности:

$$n_{cm} = n_{21} \pm \Delta n_{21}.$$
10. Найдите табличное значение коэффициента преломления стекла.
11. Установите, попадает ли табличное значение показателя преломления стекла в интервал его возможных значений, полученных в результате проведения опыта.

Контрольные вопросы

1. Что характеризует относительный показатель преломления вещества?
2. Какая среда называется более оптически плотной?
3. Может ли скорость электромагнитной волны в веществе быть больше, чем в вакууме?

III.4. Определение показателя преломления вещества и оптической силы системы двух линз¹¹

Цель работы: определение показателя преломления стекла относительно воздуха и воды (глицерина) и проведение экспериментальных исследований с системой линз с последующим вычислением характеристик системы.

Введение

Относительным показателем преломления называют величину, показывающую, во сколько раз скорость света v_x в одной среде больше, чем скорость света v_2 в другой:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Основное свойство линз – способность давать изображения предметов. Изображения бывают прямыми и перевернутыми, действительными и мнимыми, увеличенными и уменьшенными.

Положение изображения и его характер можно определить с помощью геометрических построений. Для этого используют свойства некоторых стандартных лучей, ход которых известен. Это лучи, проходящие через оптический центр или один из фокусов линзы, а также лучи, параллельные главной или одной из побочных оптических осей. Примеры таких построений представлены на рисунке.¹²

Если расстояние от предмета до линзы обозначить через d , а расстояние от линзы до изображения через f , то формулу тонкой линзы можно записать в виде:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D. \quad (2)$$

Величину D , обратную фокусному расстоянию, называют оптической силой линзы. Единица измерения оптической силы является 1 диоптрия (Дптр). Диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м.

¹¹ Лабораторная работа составлена на основе исследовательской работы Мильковой К. «Волшебная линза» / 26.09.2009 г., электронное периодическое издание «НУМИ» (NUMI.RU) (научные, учебные и методические издания) - <http://numi.ru/downloadrus.php?id=1610>, Свидетельство о публикации № А - 11427

¹² См. « Приложение 6 »

Для собирающей линзы $F > 0$, для рассеивающей $F < 0$.

Величины d и f также подчиняются определенному правилу знаков:

- $d > 0$ и $f > 0$ – для действительных предметов (то есть реальных источников света, а не продолжений лучей, сходящихся за линзой) и изображений;
- $d < 0$ и $f < 0$ – для мнимых источников и изображений.

Радиус кривизны выпуклой поверхности считается положительным, вогнутой – отрицательным.

Если линзы располагаются вплотную друг к другу ($l = 0$), то

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} \quad (3)$$

Оптическую силу $D = 1/F$ системы из двух линз можно представить в виде

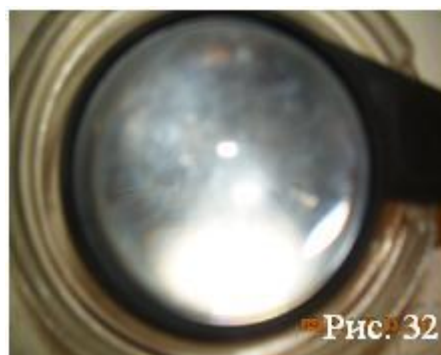
$$D = D_1 + D_2. \quad (4)$$

Оптическая сила системы близко расположенных линз равна сумме оптических сил линз этой системы. Такая оптическая система обладает меньшим фокусным расстоянием, чем каждая из линз в отдельности.

Оборудование

линза с оптической силой – 50 дптр.; линза с оптической силой - 33 дптр.; жидкости: вода и глицерин; стеклянный сосуд.

Описание экспериментальной установки



Одна линза, с большей оптической силой, крепится ко второй, меньшей оптической силы (см. рис. 31). Для удобства нижняя линза имеет ручку. Внешне система двух этих линз ничем не примечательна выпуклое тело с гладкой поверхностью, да и только.

На дне сосуда, между двух стекол, размещена фотография, которая становится видна лишь тогда, когда мы смотрим на неё через систему линз, погруженную в жидкость. Если мы возьмем обычную собирающую линзу, например очковое стекло или конденсорную линзу фотоувеличителя, и положим ее на плоский предмет или фотографию, то через линзу этот предмет хорошо виден. Точнее, мы видим увеличенное мнимое изображение предмета.

Будем теперь плавно уменьшать расстояние от предмета до линзы. Изображение станет увеличиваться, а четкость при этом уменьшается. Когда предмет окажется вблизи фокальной плоскости линзы - увеличение, даваемое линзой, будет стремиться к бесконечности – изображение станет совершенно размытым, или исчезнет вовсе (см. рис. 32).

В нашем случае это расстояние равно – 3,5 см.

При увеличении расстояния от предмета до системы линз, изображение уменьшается, четкость увеличивается.

Далее, когда расстояние от линзы до предмета окажется больше фокусного расстояния линзы F , линза даст действительное, но уже перевернутое изображение предмета, в нашем случае оно равно – 9 см.

Таким образом, чтобы предмет не был виден под собирающей линзой, он должен обязательно находиться вблизи ее фокальной плоскости.

Пусть

n — показатель преломления материала линзы, для стекла

$n = 1,52$ (для длин волн света 0,5 — 0,6 мкм),

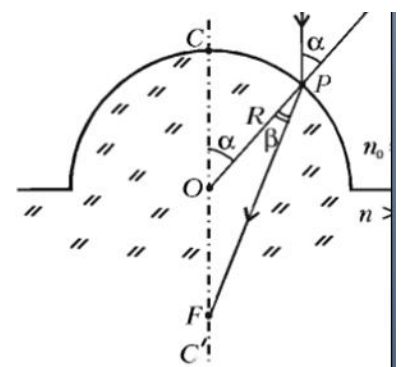
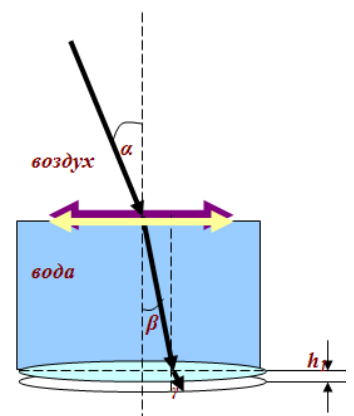
$n_0 = 1$ — показатель преломления воздуха,

$n_1 = 1.333$ - показатель преломления воды,

$n_2 = 1.4695$ - показатель преломления глицерина.

Вдоль оси на линзу падает параллельный пучок света.

Рассмотрим ход одного из лучей, падающих на линзу в произвольную точку P , которая находится вблизи-



зи оси CC' (параксиальное приближение). Здесь α — угол падения этого луча, β — угол преломления, F — точка пересечения луча с осью линзы, т.е. фокус линзы для лучей, близких к оптической оси. Полагая углы α и β малыми, т.е. считая $\sin \alpha$

$= \alpha$ и $\sin \beta = \beta$, имеем $\alpha = n_1 \beta$ (закон преломления света) и $\frac{OF}{R} = \frac{\beta}{\alpha - \beta}$ (теорема синусов для треугольника OPF), получаем

$$OF = F = \frac{R}{n - 1}, \text{ откуда } R = F \cdot (n - 1) \quad (5)$$

Именно на таком расстоянии от вершины линзы под ней и была спрятана фотография, которая «проявилась», когда мы поместили линзу в воду.

Действительно, коэффициент преломления воды в видимой области спектра составляет

$$n_{\text{в}} = 1,33 - 1,34,$$

а относительный коэффициент преломления стекла в воде равен

$$n_{\text{отн}} = \frac{n_{\text{ст}}}{n_{\text{в}}} \quad (6)$$

Поэтому нижнее фокусное расстояние нашей линзы, залитой сверху водой, оказалось равным

$$F_{\text{в}} = R \cdot \frac{n_{\text{отн}}}{n_{\text{отн}} - 1} \quad (7)$$

Таким образом, вода увеличивает фокусное расстояние линзы более чем в 3,5 раза, а глицерин – в 5,5 раза. Что оказывается вполне достаточным для наблюдения спрятанного под линзой объекта.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Какую размерность имеет относительный показатель преломления?
2. 3. Запишите формулу для вычисления границы абсолютной погрешности определения n_{21} .
4. Где должен находиться предмет, чтобы он не был виден под собирающей линзой.

Ход работы

1. Соберите установку по рис.31.

2. Посмотрите через данную систему на дно сосуда. Видите ли вы изображение?
3. Налейте в сосуд, на дне которого лежит фотография под стеклом, воду. Посмотрите на дно сосуда. Видите ли вы теперь изображение? Опишите это изображение (действительное или мнимое, увеличенное или уменьшенное, прямое или перевернутое);
4. Оцените, чему равно фокусное расстояние системы линз по формулам (3) и (4);
5. Вычислите приведенный радиус кривизны системы линз по формуле (5).
6. Вычислите показатели преломления линзы в воде и в глицерине по формуле (6);
7. Вычислите фокусное расстояние линзы, залитой сверху водой, по формуле (7).
8. По данным эксперимента и расчетов заполните таблицу

Таблица 22

<i>Характеристики системы линз</i>	<i>Экспериментальные данные</i>			<i>Расчетные данные</i>		
	<i>B воздухе</i>	<i>B в воде</i>	<i>B глицерине</i>	<i>B воздухе</i>	<i>B в воде</i>	<i>B глицерине</i>
Фокусное расстояние						
Оптическая сила						
Радиус кривизны						

Контрольные вопросы

1. Что характеризует относительный показатель преломления вещества?
2. Какая среда называется более оптически плотной?
3. Как вода и глицерин изменяют фокусное расстояние линзы?
4. Насколько расчетные величины согласуются с экспериментальными?
5. Какова погрешность измерения и от чего она зависит?

III.5. Наблюдение интерференции, дифракции и поляризации света

Цель работы: 1) исследовать вид интерференционных полос с помощью бипризмы Френеля и характер их изменения в зависимости расстояния от бипризмы Френеля до экрана; 2) исследовать зависимость дифракционной картины

от ширины щели; 3) исследовать зависимость мощности светового пучка от угла между поляроидами.

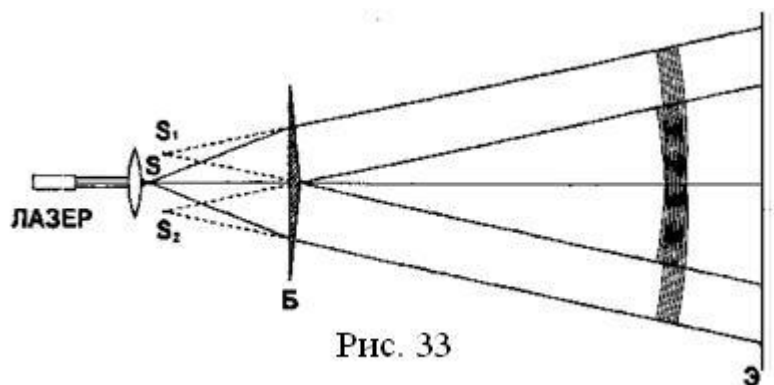
Оборудование

- 1) полупроводниковый лазер;
- 2) линза $F = 5 \text{ см}$, $D = 1/5 \text{ см}$;
- 3) бипризма Френеля;
- 4) подставки угловые - 3 шт.;
- 5) оптический столик для проектора;
- 6) рабочее поле с креплениями;
- 7) стойка штатива;
- 8) зажимы — 2 шт.;
- 9) экран демонстрационный;
- 10) оправка со щелью — 2 шт.;
- 11) зажимы - 2 шт.;
- 12) поляроид - 2 шт.;
- 13) оправка для линзы и поляроидов - 2 шт.;
- 14) графический проектор.

Введение

Бипризма Френеля - одно из приспособлений, позволяющих получить два источника когерентных волн с помощью создания двух изображений единого излучающего центра. В данном эксперименте таким излучающим центром является точка фокуса, собирающей линзы, через которую проходит луч лазера.

Действительно, в первом приближении можно считать, что близкий к параллельному пучок света от лазера фокусируется линзой в определенной точке (фокусе) и после этого начинает расширяться (рис 33). Таким образом, фокус линзы моделирует точечный источник света. При интерференции света от двух то-



чечных источников ширина интерференционных полос обратно пропорциональна расстоянию между этими источниками, поэтому для улучшения зрительного восприятия эффекта интерференции необходимо максимально сблизить изображения источников света, получаемых с помощью бипризмы Френеля. Это может быть обеспечено приближением бипризмы Френеля к области фокусировки луча лазера.

Дифракцией света называют огибание световыми волнами границы непрозрачного тела. Если на пути света оказывается непрозрачное препятствие или свет проходит через отверстие в непрозрачном экране, то в результате дифракции он проникает за препятствием в область, куда свет не должен попадать, распространяясь прямолинейно. Наиболее отчетливо это удастся наблюдать, когда размеры препятствия или отверстия сопоставимы с длиной световой волны.

При прохождении пучка света через узкую щель в результате дифракции в нем появятся электромагнитные волны, распространяющиеся под углом к прежнему направлению. Отклонившиеся волны, взаимодействуя друг с другом, образуют интерференционную картину. Положение максимумов интерференционной картины, образованной из-за дифракции света на узком отверстии, определяется из условия:

$$D \sin \theta = m\lambda,$$

где D — ширина щели; θ — угол отклонения волны.

При освещении щели белым светом условие центрального максимума ($m = 0$) выполняется для волн любой длины, следовательно, этот максимум останется неокрашенным. В максимумах, соответствующих значениям $m \neq 0$, более длинные волны отклоняются на больший угол, в результате чего эти максимумы приобретают цветную окраску.

Расстояние между соседними максимумами зависит от ширины щели: чем она больше, тем ближе максимумы друг к другу.

При наблюдении невооруженным глазом светового пучка, прошедшего через узкую щель, роль устройства, сводящего воедино отдельные части

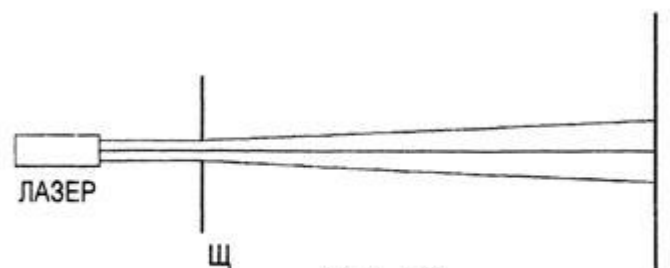


Рис. 34

пучка, выполняет хрусталик глаза. Преломившись в хрусталике, части пучка сводятся на сетчатке глаза и создают на ней картину интерференции.

Входящие в набор две щели разной ширины позволяют продемонстрировать зависимость дифракционной картины от ширины щели.

Поскольку все дифракционные явления в параллельном пучке света характеризуются угловым параметром λ/d , где λ - длина волны света ($\lambda = 650$ нм), а d - ширина щели, через которую проходит свет, то при уменьшении ширины щели увеличиваются размеры главного и вторичных максимумов в направлении, перпендикулярном щели, а также возрастает расстояние между максимумами.

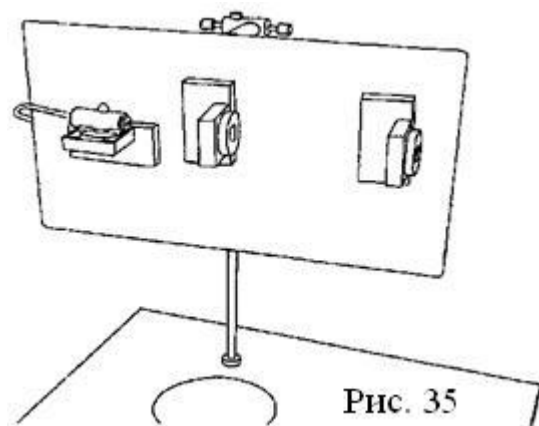
Вопросы для проверки готовности к выполнению работы

1. Каким должно быть расстояние от бипризмы Френеля до экрана и от линзы до бипризмы Френеля, чтобы можно было наблюдать интерференцию света?
2. Какими приборами можно пользоваться для наблюдения интерференции, не используя бипризму Френеля?
3. Почему в опыте по наблюдению дифракции света сквозь щель ширина щели не должна превышать десятой доли миллиметра?
4. При каком угле между полароидами выходящий луч света обладает максимальной (минимальной) мощностью?

Ход работы

Задание 1. Интерференция света в схеме с бипризмой Френеля.

Для проведения эксперимента установите на демонстрационный стол оптический столик для графического проектора и закрепите в нем стойку штатива (рис. 35). На стойке штатива на максимальной высоте над поверхностью стола укрепите рабочее поле, которое имеет для этого специальные крепления. На расстоянии примерно 2 м от него расположите экран С помощью угловых подставок поместите на рабочем поле полупроводниковый лазер и линзу с фокусным расстоянием 5 см и диаметром 5 см.



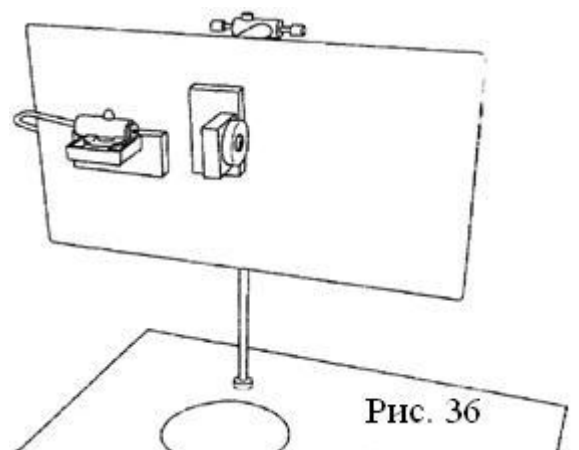
Включите в сеть блок питания лазера и приступите к юстировке оптической схемы. Направьте луч лазера в центр экрана, после чего установите на пути луча линзу и расширьте освещенное пятно на экране до диаметра *10 -12 см*. Луч должен проходить примерно через центр линзы. Перемещая линзу вдоль луча лазера, добейтесь максимально однородного освещения пятна (мелкая структура лазерного луча должна, по возможности, отсутствовать). Оптимальное расположение линзы таково, что положение лазера примерно совпадает с фокусом линзы. Если в пятне присутствуют кольцевые структуры, вызванные дифракцией на пылинках, протрите линзу мягкой тряпочкой или слегка сдвиньте ее, так чтобы луч лазера проходил через другую точку.

Установите бипризму Френеля на угловую подставку и разместите ее в луче лазера на расстоянии *7см* от линзы. Окончательная юстировка оптической схемы сводится к строго симметричному расположению бипризмы в луче (при этом на экране возникнут интерференционные полосы) и максимальном приближении ее к фокусу линзы. Сближать линзу и бипризму Френеля следует до тех пор, пока интерференционные полосы, становясь все более широкими, не исчезнут совсем. При этом после каждого перемещения бипризмы необходимо проверять симметричность расположения бипризмы Френеля в луче лазера. После исчезновения интерференционной картины следует немного отодвинуть бипризму от линзы и получить четкие и достаточно широкие полосы. Полное исчезновение интерференционных полос при приближении бипризмы Френеля к фокусу линзы связано с тем, что излучение лазера перестает попадать на плоские грани бипризмы (ребро, разделяющее грани бипризмы, имеет небольшую, но конечную ширину, и именно на него фокусируется луч лазера в этом случае).

Задание 2. Дифракция параллельного пучка света на щели

Для проведения эксперимента соберите установку согласно оптической схеме, представленной на рис. 34. Внешний вид установки представлен на рис. 36.

Положите на демонстрационный стол оптический столик для проектора, на нем ус-



тановите стойку штатива и закрепите на стойке рабочее поле, которое имеет для этого специальные крепления. На расстоянии 2 - 3 м от собранного стенда расположите экран. С помощью угловых подставок поместите на вертикальном рабочем поле полупроводниковый лазер и оправку со щелью шириной 0,3 мм. Включите в сеть блок питания лазера и приступите к юстировке оптической схемы. Направьте луч лазера в центр экрана, после чего установите на пути луча оправку со щелью шириной 0,3 мм. На экране при этом сразу возникнет дифракционная картина: довольно яркая центральная точка вытянутой формы, в обе стороны от которой вдоль одной прямой расходятся точки также вытянутой формы; Яркость точек заметно убывает по мере удаления от центра

Продемонстрируйте учащимся, что дифракционные максимумы и минимумы возникают в плоскости, перпендикулярной направлению щели. Для этого поверните щель на какой-либо угол и покажите соответствующий поворот дифракционной картины. При проведении этого опыта плоскость экрана должна быть перпендикулярна лучу лазера.

Верните щель в вертикальное положение и измените взаимное расположение лазера и экрана таким образом, чтобы луч падал на экран под углом примерно 45° , а экран при этом был обращен к учащимся. При этом дифракционная картина становится более удобной для наблюдения, поскольку размеры точек и промежутков между ними возрастают приблизительно в полтора раза. Попросите учащихся запомнить примерное расстояние от центрального пятна до последнего видимого дифракционного максимума, размер максимумов и расстояние между ними. Вместо щели шириной 0,3 мм установите щель шириной 0,6 мм. Объясните изменения, которые произошли в дифракционной картине, и сделайте вывод о том, как ширина щели влияет на вид дифракционной картины.

Задание 3. Наблюдение поляризации света.

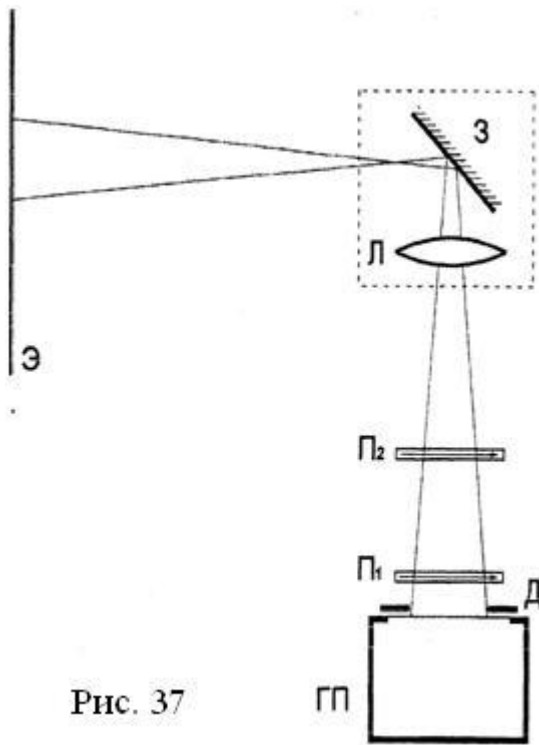


Рис. 37

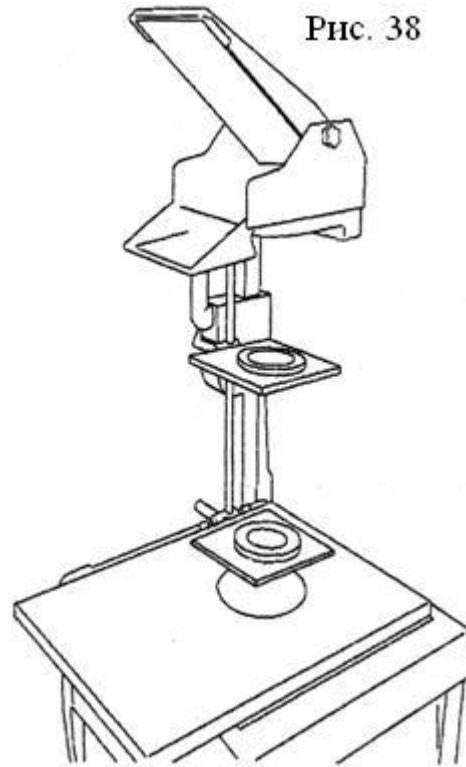


Рис. 38

Для того чтобы продемонстрировать явление поляризации и действие поляроидов, соберите экспериментальную установку согласно схеме, представленной на рис. 36. Внешний вид установки приведен на рис. 38.

Формирование пучка света, идущего от графического проектора, происходит следующим образом. На кадровое окно графического проектора устанавливается оптический столик, при этом центр круглого отверстия оптического столика должен совпадать с центром кадрового окна графического проектора. В оптическом столике имеется втулка с резьбой, в которую следует вкрутить стойку штатива. На этой стойке в горизонтальной плоскости на разных уровнях закрепляются две оправки для поляроидов.

Для проекции светового пятна на экран, установленный вертикально на расстоянии 2 - 3 м от графического проектора, используется оптическая система графического проектора (объектив и зеркало, смонтированные на штанге). Проведение эксперимента сводится к вращению одного из поляроидов и демонстрации изменения освещенности экрана. Для повышения наглядности эксперимента можно положить на поляроиды (по диаметру) прямые кусочки проволоки. Оправки, на которые установлены поляроиды, закрепляются почти вплотную друг к другу (так чтобы только можно было вращать поляроиды) и близко к оптическому столику. Это позволяет с помощью оптической системы графического проек-

тора сделать достаточно резкими изображения проволок на экране и наблюдать за вращением поляроидов. Во время предварительной подготовки опыта желательно подобрать такое расположение проволок, чтобы освещенность экрана была максимальной, если проволочки параллельны, и минимальной, если проволочки перпендикулярны друг другу.

Контрольные вопросы

1. Почему спектр на экране не окрашен цветными полосами?
2. Как объяснить увеличение ширины цветных полос при увеличении расстояния до экрана?
3. Почему цвет и яркость центральной полосы дифракционной картины отличается от цвета полос, расположенных рядом?
4. Почему при увеличении ширины щели яркие цветные полосы сближаются?

III.6. Определение длины световой волны

Цель работы: определить длину световой волны с помощью дифракционной решетки.

Введение

Метод определения длины световой волны с помощью дифракционной решетки основан на использовании формулы дифракционной решетки:

$$d \sin \theta = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

где m — любое целое число ($m = 0, \pm 1; \pm 2; \pm 3$ и т. д.); d — период решетки; θ — угол отклонения волны от нормали; λ — длина волны.

Число m называют порядком максимума. Максимум интенсивности, которому соответствует $m = 0$, лежит на нормали к решетке ($\sin \theta = 0 \rightarrow \theta = 0$) и называется центральным, имеющим нулевой порядок. Два максимума интенсивности ($m = \pm 1$), ближайших к центральному и расположенных симметрично относительно него, называют вторичными максимумами первого порядка. Далее наблюдаются вторичные максимумы интенсивности второго порядка и т. д.

Таким образом, чтобы вычислить длину волны, надо знать период решетки d , порядок максимума m и измерить угол θ (или найти синус этого угла):

$$\lambda = \frac{d \sin \theta}{m} . \quad (2)$$

Оборудование

- 1) Прибор для определения длины световой волны;
- 2) дифракционная решетка (190 штрихов на 1 мм);
- 3) штатив лабораторный.

Описание экспериментальной установки

Для выполнения работы используют специальный прибор, который закрепляют в лабораторном штативе (рис. 39).

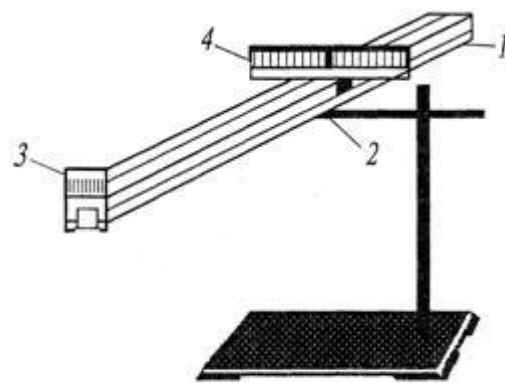
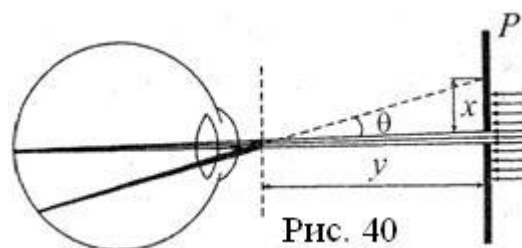


Рис. 39

Вдоль бруска 1 нанесена шкала, оцифрованная в сантиметрах с ценой деления 1 мм. Стержнем 2 брусок крепится к муфте штатива. Рамка 3 используется для закрепления дифракционной решетки. Место расположения решетки, вставленной в рамку, совпадает с нулевым делением шкалы бруска. Ползунок 4 может передвигаться вдоль бруска. К нему прикреплен экран размером $159 \cdot 49$ мм, в центре которого имеется прямоугольное отверстие. Под отверстием по обе стороны от него на нижней части экрана нанесена шкала в сантиметрах с ценой деления 1 мм. Нулевое деление шкалы находится точно под серединой отверстия.

На рис. 40 представлена схема распространения световых пучков при проведении



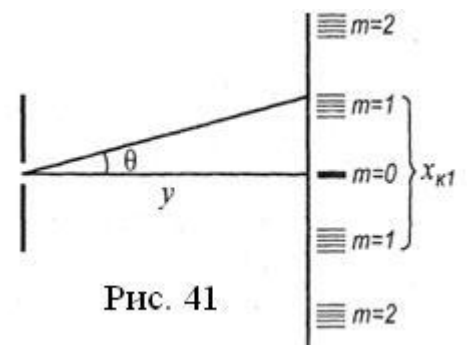
опыта. Свет распространяется от удаленного источника, расположенного справа, и попадает в глаз наблюдателя, показанный слева. Вышедшие из решетки P (на рисунке показана только одна щель) световые пучки фокусируются хрусталиком глаза на сетчатку. Для упрощения рисунка на нем показан ход световых пучков, образующих на сетчатке центральный дифракционный максимум, и один из максимумов первого порядка. Смотря на источник света сквозь решетку, наблюдатель увидит справа и слева от белой полосы центрального максимума симметрично расположенные пары максимумов и других порядков.

Настраивают прибор в следующей последовательности. В рамку помещают дифракционную решетку так, чтобы ее штрихи располагались вертикально. Прибор направляют на источник света, который должен быть виден сквозь отверстие экрана. По обе стороны от отверстия на черном фоне экрана появятся дифракционные спектры. Если они наклонены по отношению к шкале, то решетку поворачивают на некоторый угол и перекося устраняют. В таком положении прибор фиксируют с помощью штатива. По шкале экрана, рассматриваемой сквозь решетку, измеряют расстояния между красными границами максимумов первого порядка $x_{к1}$ и второго порядка $x_{к2}$, затем измеряют расстояния между фиолетовыми границами — $x_{ф1}$ и $x_{ф2}$ (рис. 41). По шкале бруска измеряют расстояние y от дифракционной решетки до экрана.

Принимая во внимание, что при использовании дифракционной решетки с периодом 0,01 мм углы, под которыми наблюдаются границы спектров 2-го порядка, не превысят 5° , вместо $\sin \theta$ в формуле (2) можно использовать $\operatorname{tg} \theta$: $\sin \theta \approx \operatorname{tg} \theta$, причем в прямоугольном треугольнике

$\operatorname{tg} \theta = \frac{x}{2y}$, где $\lambda/2$ - расстояние от центра экрана до линии спектра, длину волны которой измеряют; y - расстояние от решетки до экрана (см. рис. 41).

С учетом сделанных замечаний из формулы (2) можно получить расчетную формулу для определения длины волны, использование которой не требует измерения угла θ :



$$\lambda = \frac{d \sin \theta}{m} \approx \frac{d \operatorname{tg} \theta}{m} = \frac{d x}{2 m y} . \quad (3)$$

Зная период решетки d , порядок рассматриваемого спектра m и измерив расстояния x и y , по формуле (3) находят длину световой волны.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Почему при наблюдении дифракции белого света центральный максимум не имеет цветных полос?
2. В чем отличие дифракционного спектра от спектра, получаемого с помощью призмы?
3. Запишите формулы для вычисления границ абсолютной и относительной погрешностей определения длины волны описанным методом.

Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 23

№ опыта	d , мм	m	$x_{\text{кз}}$, 10^{-3} м	$\Delta x_{\text{кз}}$, 10^{-3} м	$x_{\text{фз}}$, 10^{-3} м	$\Delta x_{\text{фз}}$, 10^{-3} м	y , 10^{-3} м	Δy , 10^{-3} м	$\lambda_{\text{кз}}$, 10^{-9} м	$\Delta \lambda_{\text{кз}}$, 10^{-9} м	$\lambda_{\text{фз}}$, 10^{-9} м	$\Delta \lambda_{\text{фз}}$, 10^{-9} м
---------	----------	-----	-------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------	-------------------	--------------------------	-------------------------------------	--	-------------------------------------	--

2. Установите прибор на рабочем столе в соответствии с приведенной выше методикой его настройки.
3. Произведите наблюдение дифракционных спектров и при необходимости скорректируйте положение прибора.
4. Занесите в таблицу значение постоянной решетки $d = 0,01 \text{ мм}$.
5. Установите ползунок на максимально возможном расстоянии от дифракционной решетки и определите расстояния x между границами спектров 1-го и 2-го порядков.
6. Измерьте расстояние y от решетки до экрана.
7. Проведя измерения несколько раз, занесите в таблицу средние значения измеренных величин.
8. Вычислите длины световых волн, соответствующих красной и фиолетовой границам спектра.
9. Изменяя положение ползунка относительно дифракционной решетки, повторите измерения и вычисления 2—3 раза.
10. По результатам вычислений определите средние значения длин волн для красной и фиолетовой границ спектра.

11. Сравните результаты вычислений и сделайте вывод, какому цвету соответствует меньшая длина волны.

Контрольные вопросы

1. Как изменится вид спектров, если использовать дифракционную решетку с другим периодом s /?
2. Какие факторы влияют на точность определения длины световой волны опробованным методом?

Дополнительное задание

Определите период дифракционной решетки с неизвестным количеством штрихов на 1 мм. Выведите самостоятельно формулу для расчета периода решетки и разработайте план выполнения задания.

III.7. Исследование явления фотоэффекта

Цель работы: 1) ознакомиться с устройством и действием полупроводникового фотоэлемента; 2) исследовать зависимость силы тока в цепи фотоэлемента от его освещенности.

Оборудование

- 1) Фотоэлемент кремниевый;
- 2) лампа накаливания (3,5 В; 0,25 А) на подставке;
- 3) ключ замыкания тока;
- 4) выпрямитель лабораторный;
- 5) цифровой мультиметр;
- 6) линейка,
- 7) транспортир.

Введение

Основной частью фотоэлемента является пластина, изготовленная из полупроводника с электронной проводимостью (n - типа). На пластину нанесена полупрозрачная пленка полупроводника с дырочной проводимостью (p - типа). Оба полупроводника имеют электрический контакт с выводами, которыми их подключают к внешней цепи. В области соприкосновения двух полупроводников разного типа проводимости возникает особая зона — так называемый $p - n$ - переход. Для этой зоны характерно наличие электрического поля, направленного от полупроводника n - типа к полупроводнику p - типа, которое препятствует движению через нее электронов из полупроводника n - типа и дырок из полупроводника p - типа. В области $p - n$ - перехода образуется потенциальный барьер. Для полупроводников, на основе кремния он имеет значение $0,5—0,6$ В.

Кванты света, попадая в зону $p - n$ - перехода со стороны пленки, вызывают появление в этой зоне электрон-дырочных пар свободных зарядов. Под действием электрического поля перехода электроны отклоняются в сторону полупроводника n - типа, а дырки — в сторону полупроводника p - типа. В том и другом полупроводнике начинают накапливаться электрические заряды разных знаков, создающие собственное поле, направленное противоположно полю $p - n$ - перехода. В момент, когда оба поля станут одинаковыми по величине, дальнейшее разделение зарядов прекратится. При этом разность потенциалов на выводах фотоэлемента становится равной потенциальному барьеру $p - n$ - перехода. Другими словами, на выводах фотоэлемента при освещении его полупрозрачного слоя может возникнуть разность потенциалов не более $0,5—0,6$ В (у фотоэлементов на основе селена примерно $0,2$ В). Если к фотоэлементу подключить внешнюю цепь, по ней потечет электрический ток. Фотоэлемент при этом будет выполнять роль источника тока, преобразующего энергию света в энергию электрического тока.

Ознакомление с устройством и действием фотоэлемента в данной работе сводится к доказательству наличия у него $p - n$ - перехода, проверке утверждения о том, что на его выводах напряжение не может превысить $0,5—0,6$ В.

Освещенность поверхности E , создаваемая точечным источником света, связана с расстоянием R от поверхности до источника и углом падения α лучей света на поверхность соотношением

$$E = \frac{\Phi_0}{4\pi R^2}, \quad (1)$$

где Φ_0 — световой поток, равномерно распределенный по поверхности, и

$$E = E_0 \cos \alpha, \quad (2)$$

где E_0 — освещенность поверхности, расположенной перпендикулярно падающим на нее лучам.

Исследование зависимости силы тока в цепи фотоэлемента от его освещенности в данной работе сводится к исследованию зависимости силы тока от расстояния между источником света и фотоэлементом и зависимости силы тока от угла падения света на поверхность фотоэлемента.

Описание экспериментальной установки

В наличии у фотоэлемента $p - n$ - перехода убеждаются, обнаружив его одностороннюю проводимость. Для этого собирают электрическую цепь из последовательно соединенных фотоэлемента, ключа и лампы. Окно фотоэлемента полностью закрывают. Цепь подключают к выпрямителю

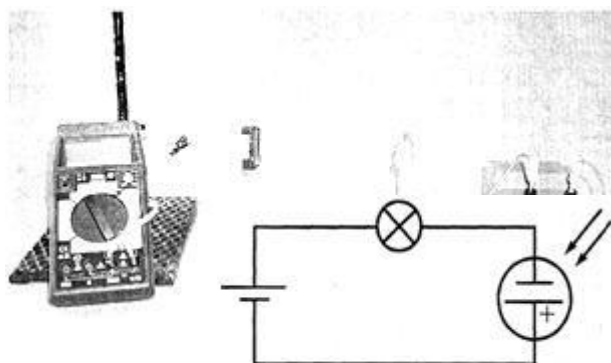


Рис. 43

так, чтобы к фотоэлементу было приложено напряжение обратной полярности. Положительный вывод фотоэлемента помечен на корпусе точкой или знаком «+».

Схема электрической цепи для выполнения этого задания показана на рис. 43.

Обнаруживают, что лампа при этом не горит. Затем фотоэлемент подключают в прямой полярности и наблюдают свечение лампы, что и доказывает его одностороннюю проводимость.

Для исследования зависимости тока в цепи фотоэлемента от освещенности к фотоэлементу подключают мультиметр, подготовленный для измерения малых постоянных токов. Фотоэлемент размещают в 8 - 10 см от лампы — в этом случае ее можно приближенно считать точечным источником света. Лампу и ключ подключают к выпрямителю; в начале опыта ключ разомкнут (рис. 42). Окно фотоэлемента открывают.

При проведении опыта в окно фотоэлемента будут попадать два световых потока: один — от светящейся лампы, другой — от посторонних источников света (окна, ламп освещения класса и др.). Чтобы исключить влияние постороннего освещения, силу тока измеряют дважды: сначала при выключенной лампе (этот ток возник под влиянием постороннего светового потока), а затем при включенной (этот ток возник под влиянием обоих световых потоков). Вычитая из первого значения силы тока второе, определяют силу тока, появившегося в цепи под воздействием света лампы.

Если во время проведения опыта внешняя подсветка сильно меняется, например, когда работа выполняется в солнечную погоду при переменной облачности, зону размещения лампы и фотоэлемента затемняют экраном. Удобно использовать экран, представляющий собой согнутый полуцилиндром лист картона.

Силу тока измеряют несколько раз, изменяя расстояние между лампой и фотоэлементом. При перемещении фотоэлемента на новое место нужно следить, чтобы нить лампы располагалась на перпендикуляре, мысленно восставленном от центра окна фотоэлемента. Расстояние измеряют от нити накала лампы до поверхности светочувствительного слоя фотоэлемента.

Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Как устроен полупроводниковый фотоэлемент?
2. Как образуется запирающее поле $p - n$ - перехода?
3. Почему напряжение на выводах фотоэлемента на кремниевой основе не может превысить значение 0,6 В?
4. Как уменьшить влияние посторонней подсветки фотоэлемента?
5. Изучите инструкцию по использованию мультиметра и выясните, как готовить прибор к работе в качестве **вольтметра** постоянного напряжения и миллиамперметра.
6. Запишите формулы для вычисления границ абсолютных погрешностей измерения силы тока, расстояния и значения величины $\frac{1}{R^2}$

Ход работы

Задание 1. Доказать существование $p - n$ - перехода у полупроводникового фотоэлемента.

1. Осмотрите фотоэлемент и определите полярность его выводов.
2. Полностью затемните окно фотоэлемента.
3. Соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 41.
4. Замкните ключ и убедитесь в том, что при обратной полярности приложенного к фотоэлементу напряжения тока в цепи нет.
5. Измените схему так, чтобы на фотоэлемент подавалось напряжение прямой полярности.
6. Повторите опыт и убедитесь, что при прямой полярности напряжения на фотоэлементе в цепи протекает электрический ток.
7. Подготовьте мультиметр для работы в режиме измерения постоянного напряжения.
8. Подключите лампу к выпрямителю, поднесите к ней вплотную фотоэлемент и измерьте напряжение на его выводах.
9. Сделайте вывод о том, какой полупроводник (кремниевый или селеновый) использовался при изготовлении фотоэлемента.

Задание 2. Исследовать зависимость силы тока в цепи фотоэлемента от его расстояния до источника света.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 24

<i>№ измерения</i>	$R, 10^{-3} \text{ м}$	$I_{\phi}, 10^{-3} \text{ А}$	$I_{\phi л}, 10^{-3} \text{ А}$	$I_{л}, 10^{-3} \text{ А}$	$\Delta I_{л}, 10^{-3} \text{ А}$	$R^2, 10^{-6} \text{ м}^2$	$\frac{1}{R^2}, 10^6 \text{ м}^{-2}$	$\Delta \frac{1}{R^2}, 10^6 \text{ м}^{-2}$

2. Подготовьте цифровой мультиметр для работы в качестве миллиамперметра.
3. Соберите экспериментальную установку, как показано на рис. 42.
4. Измерьте расстояние R между нитью накала лампы и поверхностью фотоэлемента.
5. Измерьте силу тока I_{ϕ} , возникшего в цепи фотоэлемента под действием постороннего светового потока.
6. Замкните ключ и измерьте силу тока в цепи $I_{\phi л}$, возникшего под действием постороннего светового потока и светового потока лампы.
7. Повторите измерения силы тока несколько раз, увеличивая каждый раз расстояние между фотоэлементом и лампой на 2 см.

8. Вычислите силу тока в цепи фотоэлемента при отсутствии посторонней подсветки: $I_n = I_{\phi n} - I_{\phi}$.
9. Вычислите границы абсолютных погрешностей измерений силы тока ΔI_n , расстояния ΔR , а также величин R^2 , $\frac{1}{R^2}$.
10. Постройте график зависимости силы тока I_n от величины $\frac{1}{R^2}$. При построении каждой точки графика необходимо учитывать границы интервалов допустимых значений I_n и $\frac{1}{R^2}$ для каждого измерения.
11. Принимая во внимание, что освещенность E прямо пропорциональна величине $\frac{1}{R^2}$ (см. формулу (1)), сделайте вывод о характере зависимости силы фототока в цепи фотоэлемента от его освещенности.

Задание 3. Исследовать зависимость силы тока в цепи фотоэлемента от угла падения света на его поверхность. (Экспериментальная установка используется так же, как при выполнении задания 2.)

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 25

α , град.	$\cos \alpha$	$I_{\phi}, 10^{-3} \text{ A}$	$I_{\phi n}, 10^{-3} \text{ A}$	$I_n, 10^{-3} \text{ A}$

2. Разместите фотоэлемент на расстоянии 10 см от лампы так, чтобы ее свет падал на середину его поверхности перпендикулярно. Ключ не замыкайте.
3. Измерьте силу тока I_{ϕ} , возникшего в цепи фотоэлемента под действием постороннего светового потока.
4. Замкните ключ и измерьте силу тока в цепи $I_{\phi n}$, возникшего под действием постороннего светового потока и светового потока лампы.
5. Поверните фотоэлемент на 20° относительно вертикальной оси, стремясь не изменить расстояния от нити лампы до центра светочувствительного слоя. Снова запишите показания миллиамперметра при разомкнутом и замкнутом ключе.
6. Повторите опыт при углах падения 40° , 60° и 80° .
7. Вычислите $\cos \alpha$ для тех значений углов, при которых проводились измерения силы тока.
8. Вычислите силу тока в цепи фотоэлемента при отсутствии посторонней подсветки: $I_n = I_{\phi n} - I_{\phi}$.

9. Принимая во внимание, что освещенность E прямо пропорциональна $\cos \alpha$ (см. формулу (2)), сделайте вывод о характере зависимости силы фототока в цепи фотоэлемента от его освещенности.

Контрольные вопросы

1. Назовите возможные области применения полупроводникового фотоэлемента в технике.
2. В чем отличие принципа действия вакуумного фотоэлемента от полупроводникового?
3. Как объяснить изменение силы тока в цепи фотоэлемента при увеличении его освещенности?

IX.7.1 Градуирование спектроскопа и измерение длин световых волн спектральных линий газов

Цель: изучение принципа работы спектроскопа, определение с помощью него длин волн спектральных линий.

Оборудование: спектроскоп двухтрубный с отчётным микрометрическим винтом, трубки спектральные, прибор для зажигания спектральных трубок «Спектр», источник электропитания для практикума, ключ замыкания тока, комплект соединительных проводов.

Краткие теоретические сведения

Эту работу выполняют с помощью спектроскопа, изображённого на рисунке 1, где 1 – окуляр, 2 – зрительная труба, 3 – объективы, 4 – коллиматор, 5 – щель, 6 – микрометрический винт.

Схема микроскопа и ход лучей в нем показаны на рисунке 45.



Рис. 44

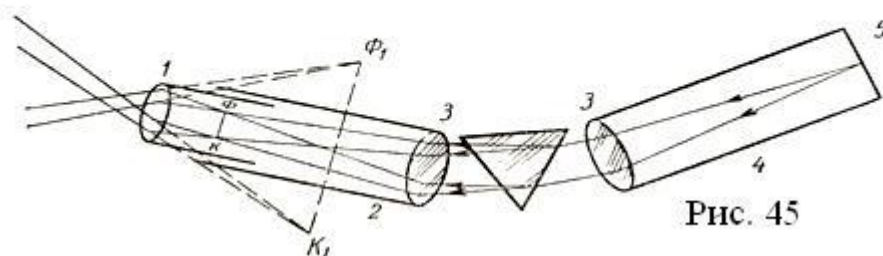


Рис. 45

Расходящийся пучок, идущий от источника света, расположенного близ щели коллиматора, проходит через щель, находящуюся в главном фокусе линзы, и после линзы параллельным пучком падает на грань стеклянной призмы.

В призме пучок отклоняется к её основанию и разлагается на основные составные цветные пучки, так как разным частотам соответствуют различные показатели преломления. По выходе из призмы эти пучки ещё раз отклоняются к основанию призмы и направляются в объектив зрительной трубы.

Пройдя объектив, каждый пучок одноцветных лучей образует в фокальной плоскости объектива действительное изображение щели коллиматора. Из множества таких изображений получается спектр, красная область которого обращена в сторону вершины призмы, а фиолетовая – в сторону основания.

Для фиксации зрительной трубы на определённой линии спектра служит тонкая вертикальная нить, натянутая внутри трубы той же плоскости, в которой образуется спектр.

Чтобы определять по расположению спектре наличие в источнике излучения тех или иных химических элементов, спектроскоп необходимо проградуировать.

Градуировку проводят, наблюдая уже известный спектр, какого – либо светящегося газа. Длину волны, соответствующей каждой из наблюдаемых линий, берут из справочника. Затем совмещают нить зрительной трубы с каждой из спектральных линий, снимают показания отсчётного приспособления и строят кривую. Для этого по вертикальной оси откладывают известные длины волн, а по горизонтальной – соответствующие им показания микрометра, снятые во время опыта.

После градуировки, наблюдая линейчатый спектр неизвестного вещества и нанеся на ту же кривую показания микрометра, можно для каждой новой спектральной линии по этой кривой определить длину волны, а затем по справочнику узнать спектру какого элемента принадлежат эти линии.

Ход работы

1. Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений:

<i>Цвет линий</i>	<i>Показания микрометра, мм</i>	<i>Длина волны по справочнику, нм</i>
Красная		728
Красная		668
Жёлтая		588
Зелёная		502
Зелёная		492
Голубая		471
Синяя		447

2. Ознакомьтесь с устройством спектроскопа.

3. Вставьте трубку с гелием в держатель прибора для зажигания спектральных трубок и присоедините прибор через выключатель к источнику постоянного тока напряжением 6 В. Щель коллиматора подведите вплотную к спектральной трубке и включите ток.

4. Ведя наблюдение через окуляр зрительной трубы, вращайте микрометрический винт, чтобы постепенно увидеть все спектральные линии гелия. Перемещением окуляра добейтесь резкого их изображения.

5. Микрометрическим винтом поверните зрительную трубу вправо так, чтобы в поле зрения появилась крайняя красная спектральная линия. Совместите изображение спектральной линии с вертикальной нитью и запишите показания микрометра в таблицу.

Микрометрический винт имеет шаг 1 мм, а головка его разделена на 50 равных частей, - следовательно, цена деления на головке 0,02 мм. Отсчёт целых миллиметров производите по неподвижной шкале на цилиндре, а сотых долей – по шкале на головке винта.

6. Вращая микрометрический винт, передвигайте зрительную трубу до совмещения нити с каждой из последующих спектральных линий. Для каждой линии снимите показания микрометра и занесите их в таблицу против указанных длин волн гелия, взятых из справочника.

7. По записям показаний микрометрического винта и длинам волн, соответствующим этим показаниям, постройте на бумаге кривую. Для этого по оси абсцисс отложите показания микрометра, а по оси ординат – длину световых

волн, выбрав соответствующий масштаб. По найденным точкам проведите плавную кривую.

8. Трубку с гелием в приборе для зажигания спектральных трубок замените трубкой с другим газом. Наблюдая на темном фоне спектра разного цвета яркие полосы, совмещайте с ними нить и записывайте показания микрометрического винта.

По имеющейся кривой определите длины волн спектральных линий наблюдаемого вами газа. Для этого по оси абсцисс отложите показания микрометрического винта, из этой точки восставьте перпендикуляр и продолжите его до пересечения с построенной кривой. Опустите из точки пересечения перпендикуляр на ось ординат и найдите соответствующие значения длины волны. По вклейке учебника определите какой это газ.

Контрольные вопросы

1. Объясните устройство спектро스코па и нарисуйте ход световых пучков в нём.
2. Как изменится линейчатый спектр, если изменить ширину щели?
3. Почему щель устанавливают в главном фокусе коллиматора?

III.8. Изучение треков заряженных частиц по фотографиям

Цель работы: познакомиться с методами исследования ядерных реакций и свойств элементарных частиц по фотографиям их треков.

Оборудование

- 1) Фотографии треков заряженных частиц,
- 2) линейка,
- 3) циркуль,
- 4) транспортир,
- 5) лист кальки.

Введение

Треком частицы называют след, оставленный ею в среде, где она двигалась.

По виду треков определяют электрический заряд, скорость и ее направление, длину свободного пробега, энергию частицы.

Трек образуется ионами атомов той среды, через которую движется частица. Его толщина зависит от концентрации ионов и определяется величиной заряда частицы и ее скоростью. Толщина трека тем больше, чем больше заряд частицы и меньше ее скорость.

При движении частицы в среде ее энергия постепенно убывает в основном из-за взаимодействия с атомами среды. Следовательно, длина трека определяется энергией частицы. При прочих равных условиях трек тем длиннее, чем большей энергией обладала частица в начальный момент своего движения.

Дополнительную информацию о свойствах частицы можно получить с помощью магнитного поля. При движении частицы в магнитном поле на нее со стороны поля действует сила Лоренца, которая зависит от величины ее заряда d , ско-

рости v , индукции магнитного поля B и угла α между направлениями вектора скорости и вектора индукции магнитного поля:

$$F_L = qvB \sin \alpha \quad (1)$$

Эта сила сообщает частице центростремительное ускорение $a_{\text{ус}} = \frac{v^2}{R}$. По второму закону Ньютона $F = ma$, и тогда можно записать, что

$$qvB \sin \alpha = \frac{mv^2}{R}$$

где m — масса частицы; R — радиус ее траектории.

Для случая, когда частица движется перпендикулярно полю, $\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$, и тогда

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \quad (2)$$

Направление силы Лоренца определяют по правилу левой руки.

Зная радиус трека, модуль и направление индукции магнитного поля и скорости, определяют знак заряда частицы и вычисляют отношение ее заряда к массе. Для этого сравнивают треки исследуемой частицы и той, для которой известно отношение заряда к массе. Воспользовавшись формулой (2) и записав ее для одной и другой частицы, получим:

$$\frac{q_1}{m_1} = \frac{v_1}{BR_1} \quad \text{и} \quad \frac{q_2}{m_2} = \frac{v_2}{BR_2}$$

Если скорости частиц одинаковы ($v_1 = v_2$), то, выразив их из последнего равенства, находим:

$$\frac{q_1}{m_1} = \frac{q_2}{m_2} \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

Радиус трека определяют по длинам его хорды L и отрезка между окружностью и хордой H :

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

Связь между хордой окружности и радиусом можно получить, если к центру хорды восставить пер-

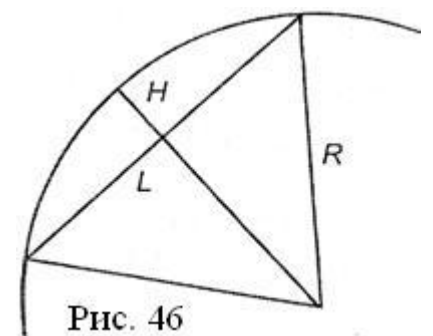


Рис. 46

пендикуляр и продолжить его до пересечения с окружностью (рис. 46). (При выводе формулы (4) учитывалось, что радиус, проведенный через центр хорды, образует с ней прямой угол, и использовалась теорема Пифагора.)

Изменение радиуса кривизны трека указывает, в каком направлении двигалась частица и как менялась ее скорость. Радиус кривизны трека больше на его начальном участке; по мере уменьшения скорости он уменьшается.

Вопросы для проверки готовности к выполнению работы

1. Можно ли отождествлять понятия «трек частицы» и «траектория движения частицы»?
2. Почему трек большей ширины оставляют частицы, движущиеся с меньшей скоростью?
3. Какую дополнительную информацию о частице можно получить благодаря наличию магнитного поля в зоне фотографирования ее трека?
4. Как меняется вид трека при уменьшении скорости частицы?
5. Какие измерения нужно выполнить, чтобы определить радиус трека?

Ход работы

Задание 1. Исследование свойств осколков деления ядра атома урана.

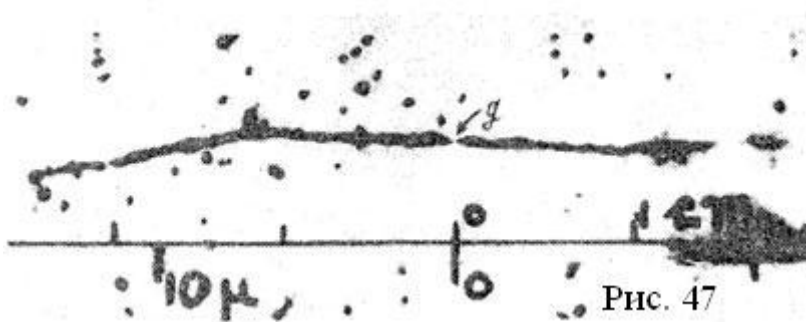


Рис. 47

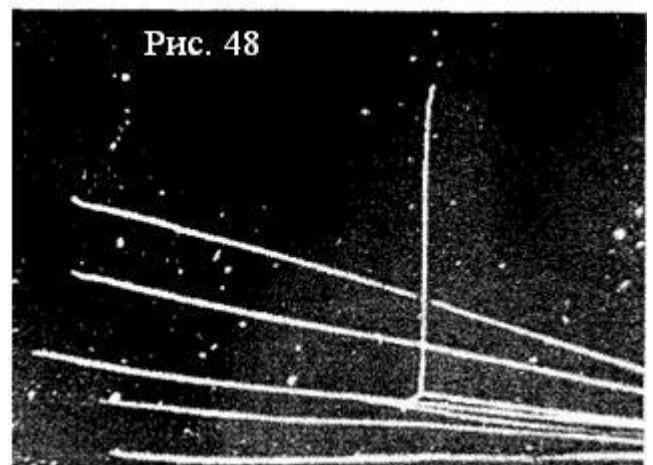
На рис. 47 представлена картина треков, оставленных в фотоэмульсии осколками ядра атома урана. Распад произошёл в точке «g». Деление произошло в результате захвата теплового нейтрона ядром атома изотопа урана ($^{235}_{92}\text{U}$). Кроме осколков ядер, одним из которых является ядро атома ксенона ($^{140}_{54}\text{Xe}$), образовались два нейтрона. Левый осколок при движении от места рождения столкнулся с ядром атома фотоэмульсии.

Внимательно рассмотрите особенности треков осколков, найдите на фотографии место, где произошёл распад ядра, и **ответьте на следующие вопросы:**

1. На сколько частей распалось ядро атома урана?
2. Можно ли утверждать, что образовавшиеся осколки сразу после рождения двигались в противоположные стороны?
3. Можно ли считать, что заряды и скорости осколков примерно одинаковы?
4. Можно ли утверждать, что в момент, предшествующий распаду, атом урана покоился?
5. Какой путь пролетел левый осколок до столкновения с ядром атома фотоэмульсии?
6. Можно ли считать столкновение осколка с ядром атома фотоэмульсии центральным ударом? (Центральным называют столкновение, при котором скорости сталкивающихся тел направлены вдоль прямой, соединяющей их центры масс.)
7. Используя закон сохранения электрического заряда и таблицу Менделеева, установите, какой химический элемент, кроме ксенона, появился в результате деления ядра урана.

Задание 2. Исследование особенностей взаимодействия заряженных частиц по виду их треков.

На рис. 48 показана фотография треков, оставленных при рассеивании α -частиц на ядрах атомов газа. Треки α -частиц получены в камере Вильсона. Перед опытом камеру заполнили парами хлора. Поток частиц был направлен справа налево. Одна из частиц в результате взаимодействия с ядром атома хлора отклонилась на значительный угол относительно начального направления движения. На фотографии хорошо виден трек α -частицы до и после рассеивания, а также короткий и относительно более широкий трек самого ядра.



Рассмотрите фотографию, найдите на ней место, где зафиксировано рассеивание α -частицы, и **ответьте на следующие вопросы.**

1. На какой примерно угол была отклонена α -частица?

2. Какую часть пути α -частице удалось пройти до взаимодействия с ядром хлора?
3. Каким количеством α -частиц были образованы треки? Какое их количество было отклонено ядрами атомов газа? Какова (ориентировочно) вероятность рассеивания частиц в условиях опыта? Как ее повысить?
4. Можно ли считать, что α -частицы имели примерно одинаковую энергию?
5. Какая особенность трека позволяет считать, что рассеивание произошло практически без потери энергии?
6. При описании столкновения тел в физике применяют термины «упругий удар» и «неупругий удар». К какому типу столкновений относится зафиксированное рассеивание α -частицы на ядре хлора?
7. Была ли направлена скорость частицы до рассеивания точно на центр ядра?
8. Каким физическим законом определяется взаимная ориентация треков α -частицы и ядра отдачи?
9. Сравнивая толщину треков ядра хлора и α -частицы, можно ли утверждать, что ионизирующая способность заряженной частицы зависит от ее заряда?
10. Можно ли утверждать, что в момент съемки в камере Вильсона существовало магнитное поле?

Задание 3. Исследование свойств элементарных частиц по их трекам.

На рис. 49 показаны три смонтированные фотографии треков заряженных частиц, сделанные в камере Вильсона. Камера находилась в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 2,2$ Тл. Первый трек оставлен α -частицей, второй — ядром изотопа водорода дейтерия (2_1H), третий — неизвестной частицей. Начальная скорость всех частиц была направлена снизу вверх. По виду треков **необходимо установить знак заряда**

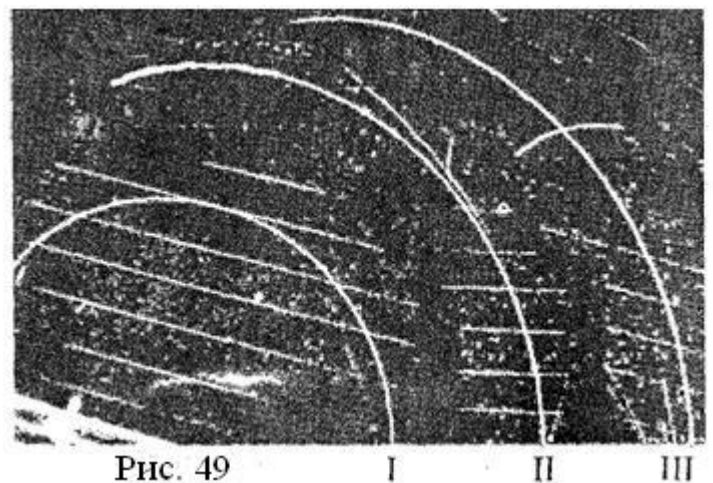


Рис. 49

I

II

III

неизвестной частицы и его отношение к массе частицы, а также оценить значения ее скорости и энергии в начале и конце пути.

1. По виду трека α -частицы укажите, как было направлено магнитное поле в камере Вильсона.
2. По виду трека неизвестной частицы с учетом направлений ее скорости и магнитного поля определите знак ее заряда.
3. Скопируйте на кальку треки частиц.
4. Измерьте радиусы первой половины треков α -частицы и неизвестной частицы. При измерении радиусов необходимо учесть масштаб снимка, указанный на рисунке.
5. Зная структуру α -частицы, вычислите отношение ее заряда к массе.
6. Вычислите по формуле (3) отношение заряда к массе неизвестной частицы.
7. Укажите, какая из известных вам элементарных частиц имеет аналогичные характеристики.
8. Вычислите скорость и энергию этой частицы в начале ее движения в камере.
9. Измерьте радиус трека частицы в конце ее пути.
10. Вычислите ее скорость на этом отрезке и укажите, как она изменилась за время движения частицы в камере.
11. Обратите внимание на изменение толщины трека и сделайте вывод о связи ионизирующей способности частицы со скоростью ее движения.

Контрольные вопросы

1. В чем преимущество применения фотоэмульсии по сравнению с камерой Вильсона и пузырьковой камерой?
2. Какие нейтроны называют тепловыми?
3. Каковы принципы действия камеры Вильсона и пузырьковой камеры?

Дополнительные задания

1. Измерьте радиус трека ядра дейтерия (см. рис. 49).
2. По структуре ядра дейтерия определите отношение его заряда к массе.

3. Докажите справедливость формулы (3) для треков α -частицы и ядра дейтерия.

4. Оцените ширину трека дейтерия. Зная структуру его ядра, оцените размер этой частицы, сопоставьте его с шириной трека и сделайте вывод о том, можно ли отождествлять понятия «траектория движения частицы» и «трек частицы».

Цель: исследование на радиоактивность приобретаемых или хранящихся дома продуктов питания.

Оборудование:

- 1) дозиметр,
- 2) сыпучие продукты питания.

Краткие теоретические сведения

Все живые существа на нашей планете находятся под влиянием естественного радиационного фона. Он складывается не только из радиоактивного излучения горных пород и космических лучей, но и радиационного излучения веществ, поступающих вместе с пищей в организм человека.

Естественную радиоактивность продуктов питания измеряют в беккерелях на килограмм (Бк/кг). В пищевой промышленности за единицу удельной активности в СИ принята активность препарата, в котором происходит один распад в секунду, отнесенный к единице массы в 1 кг. Это и есть 1 Бк/кг. Из-за исключительной малости такая единица измерения используется сравнительно редко. Широкое применение имеет внесистемная единица — 1 кюри (Ки). 1 Ки $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Удельную радиоактивность измеряют в единицах кюри на килограмм (Ки/кг).

В табл. II приведен список некоторых продуктов питания с указанием их естественной радиоактивности.

К естественной радиоактивности прибавляется радиоактивность техногенная. Обычно техногенное излучение (вернее, его носители) разносится по большим площадям и, как правило, не представляет опасности для внешнего облучения человека. Однако, попадая в организм человека по пищевому тракту и дыхательным путям, оно может сказаться весьма заметно на его здоровье. (Вот почему санэпидемстанции не оставляют без внимания даже сравнительно слабое радиационное излучение продуктов, продаваемых на рынке.)

Ход работы

Таблица сертифицированных продуктов питания с указанием естественной радиоактивности

Таблица 27

NN	Пищевые продукты	Естественная удельная радиоактивность
----	------------------	---------------------------------------

		<i>Бк/кг</i>	<i>Ки/кг</i>
1	Хлеб	20...60	$(5,4...16,2) \times 10^{-10}$
2	Картофель	170	$4,6 \times 10^{-9}$
3	Капуста белокочанная	140	$3,8 \times 10^{-9}$
4	Помидоры	70...90	$(1,9...2,4) \times 10^{-9}$
5	Лук	40...50	$(1,1...1,3) \times 10^{-9}$
6	Чеснок	70...80	$(1,9...2,4) \times 10^{-9}$
7	Пшено, рис, гречка	60...70	$(1,6...1,9) \times 10^{-9}$
8	Фасоль, бобы	310...330	$(8,3...8,9) \times 10^{-8}$
9	Мясо	60...130	$(1,6...3,5) \times 10^{-9}$
10	Рыба	50...100	$(1,3...2,7) \times 10^{-9}$
11	Масло: — подсолнечное; — соевое; — сливочное	100 480 30	$2,7 \times 10^{-9}$ $1,3 \times 10^{-9}$ $0,8 \times 10^{-9}$
12	Молоко, кефир, творог	30...60	$(0,8...1,6) \times 10^{-9}$
13	Чай	730...770	$(2,0...2,1) \times 10^{-8}$
14	Какао-порошок	700...1000	$(1,9...2,7) \times 10^{-8}$
15	Кофе растворимый	900	$2,4 \times 10^{-8}$
16	Сухофрукты	170...560	$(4,6...15,1) \times 10^{-9}$
17	Ягоды, яблоки	20...110	$(0,5...2,9) \times 10^{-9}$

1. Настройте дозиметр на режим оценки объемной активности радионуклидов в пробах (т.е. суммируйте средние значения на дисплее после двукратного срабатывания таймера в течение 10 мин).

2. Согласно регламенту предложенного режима проведите измерения вначале фоновой активности, затем суммарной активности вместе с исследуемым продуктом. Рассчитайте активность продукта по формуле, приведенной в табл. 28, и результат занесите в эту таблицу.

(Примечание. Числа в строках 1 и 2 табл. 28 - это результаты измерений автора. Они приведены в качестве примера, и у вас они могут быть другими.)

Таблица 28

<i>№ п/п</i>	<i>Название продукта</i>	<i>Активность фоновая A_f (за 10 мин)</i>	<i>Активность измеренная $A_{изм}$</i>	<i>Активность продукта</i> $A = K(A_f - A_{изм})$ <i>Бк/кг</i> <i>Ки/кг</i> $K_2 = 20$ $K_1 = 0,27 \cdot 10^{-10}$	
1.	Сахарный песок				

2. Гречневая
крупa
3.
- 4.

K_1 — коэффициент перевода активности продукта из Бк/кг в Ки/кг.

K_2 — коэффициент относительной биологической эффективности (ОБЭ) для α -частиц. Число в колонке под этим коэффициентом представляет собой вероятностные числа, полученные путем умножения активности продукта на коэффициент ОБЭ 20 (это при внутреннем потреблении продукта).

3. Полученные вами экспериментальные результаты сравните с числами табл. 27.¹³ Сделайте предварительные выводы о наличии радионуклидов в потребляемых вами продуктах (окончательные выводы делают только специалисты СЭС).

IX.9.1 Астрономическое наблюдение солнечных пятен, поверхности Луны, двойных звезд, туманностей.

Цель работы: 1) получить практические навыки оценки фазы солнечной активности, определения положения звезд и созвездий на небосклоне; 2) получить

¹³ Полная таблица приведена в книге Ю.А.Виноградова «Радиолюбительские конструкции в системах контроля и защиты». — М.: Солон-Р, 2001. — С. 117.

представление о методах исследования поверхности небесных тел с помощью простейших оптических приборов.

Оборудование

- 1) Телескоп-рефрактор (возможна замена на подзорную трубу, теодолит, бинокль или монокуляр).

Часть 1. Наблюдение, солнечных пятен

Введение

Солнце — ближайшая к Земле звезда. Видимую поверхность Солнца называют фотосферой. На фотографиях фотосферы, сделанных с помощью специальных телескопов, видно, что она состоит из мельчайших частиц — гранул. Наиболее крупными объектами фотосферы, наблюдать которые можно с помощью простейших приспособлений, являются темные образования, получившие название солнечных пятен, которые кажутся темными благодаря контрасту с более горячими соседними участками фотосферы.

На поверхности фотосферы пятна располагаются неравномерно. Их число и распределение зависят от фазы активности Солнца, период которой составляет примерно 11 лет. Наибольшее количество пятен образуется в годы максимальной активности Солнца, при этом они могут образовываться как в зонах, расположенных вблизи солнечного экватора, так и удаленных от него на 30—40° в ту и другую стороны. В годы минимальной активности пятна появляются в небольшом количестве вблизи экваториальной зоны.

Для характеристики солнечной активности используют число Вольфа W :

$$W = 10g + f$$

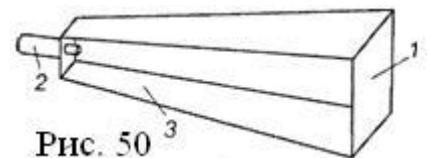
где g — число групп пятен; f — их общее количество.

Группой считают несколько пятен, расположенных на участке поверхности фотосферы протяженностью 5—7° по солнечной широте и 10—15° по солнечной долготе. Кроме того, каждое отдельное пятно также считают группой. Например, если в момент наблюдения на диске видны четыре отдельных пятна и две группы пятен, причем одна включает два пятна, а другая три, то $f = 4 + 2 + 3 = 7$, $g = 4 + 2 = 6$, а $W = 10 \cdot 6 + 7 = 67$. В годы наибольшей солнечной активности число Воль-

фа, как правило, значительно превышает значение 100, в годы минимальной активности — не более 10.

Положения пятен относительно солнечного экватора находят по направлению суточных параллелей, вдоль которых они перемещаются. Для построения параллелей положения пятен наносят на один и тот же рисунок с интервалом в несколько дней и всякий раз соединяют линией новое положение каждого пятна с предыдущим. Интервалы наблюдений выбирают, принимая во внимание период обращения Солнца вокруг своей оси: для экваториальных зон фотосферы период составляет около 25 сут. (земных), для полярных — 34 сут.

При наблюдениях Солнца следует учитывать, что это необычайно яркий объект. Его нельзя рассматривать невооруженным глазом и тем более через любой оптический прибор без риска полной потери зрения. Астрономы наблюдают Солнце, используя плотные светофильтры. Не располагая специальными приборами, наблюдать Солнце проще и безопаснее, если спроецировать его изображение на белый экран. Сделать это можно с помощью небольшого телескопа-рефрактора, подзорной трубы, половины бинокля или монокуляра. Одна из возможных конструкций такого устройства показана на рис. 50.



Плотный лист белой бумаги 1, выполняющий роль экрана, крепят за окуляром перпендикулярно оптической оси прибора. Оптический прибор 2 закрепляют в штативе 3 и наводят на Солнце. О том, насколько точно прибор наведен на Солнце, судят по его тени на экране. Экран перемещают вдоль оптической оси и добиваются нужного размера изображения, резкость которого регулируют окуляром. Для наблюдения солнечных пятен диаметр изображения Солнца должен составлять не менее 10—15 см.

Вопросы для проверки готовности к выполнению работы

1. Как по распределению солнечных пятен на поверхности фотосферы Солнца оценить фазу его активности?
2. Как определить положение солнечного экватора и широту солнечной параллели пятна?
3. Как определяется число Вольфа?

4. Какие меры предосторожности необходимо соблюдать при проведении наблюдений поверхности Солнца?

Ход работы

1. Используя имеющиеся в вашем распоряжении оптические приборы, изготовьте установку для наблюдения солнечных пятен.

2. Зарисуйте картину солнечных пятен. Зарисовку пятен проводите с учетом соотношения размеров изображений пятна и фотосферы.

3. Подсчитайте общее количество пятен и групп.

4. Определите значение числа Вольфа и укажите ориентировочно фазу солнечной активности.

5. Оцените по рисунку, во сколько раз размер изображения наиболее четко наблюдавшегося пятна меньше изображения диска солнца.

6. Зная линейные размеры поверхности Солнца (определяются по справочнику), сопоставьте размеры солнечного пятна и земного шара.

Контрольные вопросы

1. Какое значение числа Вольфа было получено в ходе наблюдений?

2. К какой фазе активности можно отнести состояние Солнца в период проведения наблюдений?

3. Можно ли считать, что размеры наблюдавшихся пятен превосходят размеры земного шара?

Дополнительное задание

Определить период вращения Солнца вокруг его оси, выполнив следующие операции:

1. Проведите наблюдение солнечного диска 3—4 раза с интервалом в 1—2 дня.

2. Каждый раз зарисовывайте положения солнечных пятен. На рисунках указывайте дату и час наблюдения.

3. Сопоставьте сделанные зарисовки и установите ориентацию параллелей, по которым перемещалось каждое пятно.

4. По картине параллелей определите ориентацию солнечного экватора.

5. По сделанным зарисовкам измерьте смещение пятна, находившегося в начале наблюдений в центральной части солнечного диска вблизи экватора.
6. Определите по справочнику радиус Солнца.
7. Зная смещение пятна, время, в течение которого оно произошло, и радиус Солнца, вычислите период обращения Солнца вокруг собственной оси.

Часть 2 Наблюдение лунной поверхности

Введение

Рассматривая Луну невооруженным глазом, на ее поверхности можно заметить обширные темные участки — моря, и светлые участки — материки. Лунные моря, в отличие от земных, лишены воды и по сравнению с материками представляют собой относительно более ровные участки поверхности, покрытые веществом более темного цвета. На границах некоторых морей располагаются протяженные горные хребты, имеющие названия земных горных массивов: Пиренеи, Кавказ, Альпы и др. Еще одной особенностью лунного рельефа являются кольцевые образования — кратеры. В центре некоторых кратеров возвышаются отдельные горки.

Рассматривая поверхность Луны через бинокль, можно различить Океан Бурь и море Дождей (в левой верхней четверти диска), море Ясности и море Спокойствия (в правой верхней четверти диска), море Нектара и море Изобилия (в верхней части правой нижней четверти диска), море Облаков и море Влажности (в левой нижней четверти диска). К северу от моря Ясности находится горная цепь Кавказ, за ней — Альпы, слева от этого моря — горный хребет Апеннины. К кратерам, наиболее доступным для наблюдений помощью обычных биноклей, следует отнести Кеплер и Коперник (нижняя часть левой верхней четверти диска), Тихо (левая нижняя четверть).

Сравнивая детали лунной поверхности, увиденные в бинокль, с картой Луны, нужно учитывать, что многие карты соответствуют изображению лунной поверхности, наблюдаемой в телескоп, и иметь в виду, что телескопы дают перевернутое изображение.

Рельеф кратера наблюдается особенно отчетливо, когда он находится вблизи границы освещенной и неосвещенной поверхностей (линии терминатора). По-

этому для знакомства с деталями рельефа лунной поверхности наблюдения лучше проводить, когда Луна находится в фазе первой четверти. В этой фазе хорошо просматриваются пики лунных гор, освещенные солнцем, как отдельные светлые точки слева от терминатора.

В полнолуние вся поверхность Луны, обращенная к Земле, полностью освещена, и интенсивность ее освещенности максимальна. В этой фазе удобнее проводить наблюдения с целью получения навыков ориентации среди деталей лунной поверхности, сопоставляя наблюдения с картой поверхности Луны. Следует помнить, что при сильной освещенности некоторые детали лунного рельефа становятся едва различимыми. И наоборот, те детали, для наблюдения которых с Земли требуется максимальная освещенность, видны наилучшим образом (например, лучи, располагающиеся веером вокруг некоторых кратеров).

На протяжении года высоты Солнца и Луны над горизонтом изменяются, поэтому наиболее благоприятные условия наблюдения разных фаз Луны связаны со временем года. Наблюдение Луны сразу после новолуния или непосредственно перед ним лучше проводить летом. Полнолуние удобнее наблюдать зимой, когда Солнце имеет самую низкую высоту над горизонтом, а Луна — наибольшую. В первой четверти Луну лучше наблюдать весной, а в последней — осенью.

Оборудование

- 1) Телескоп-рефрактор (возможна замена на подзорную трубу, бинокль или монокуляр),
- 2) карта поверхности Луны,
- 3) штангенциркуль,
- 4) измерительная лента.

Вопросы дня проверки готовности к выполнению работы

1. В чем внешнее отличие лунного моря от других деталей поверхности?
2. В какое время года удобнее наблюдать полнолуние? первую четверть Луны?
3. В какой фазе должна находиться Луна для проведения наблюдений с целью ознакомления с взаимным расположением основных деталей рельефа ее поверхности?

Ход работы

1. Изучите карту поверхности Луны и найдите на ней моря, горные хребты и кратеры, упомянутые во введении ко второй части работы.
2. Изучите особенности настройки оптического прибора, который будет использован для наблюдений. Установите, прямое или перевернутое изображение получают с его помощью.
3. Проведите наблюдение лунной поверхности с помощью оптического прибора,
4. Сделайте рисунок и укажите на нем (с соблюдением масштаба) положения и конфигурации наблюдавшихся морей, гор и кратеров.
5. Сопоставьте изображения на рисунке с изображениями на карте.
6. Проведите наблюдение лунной поверхности невооруженным глазом и укажите, какие из элементов рельефа можно рассмотреть. Назовите моря, которые удалось рассмотреть на Луне невооруженным глазом.
7. Оцените линейные размеры Луны. Для этого выполните следующее:
 - а) с помощью штангенциркуля, удерживаемого в вытянутой руке, измерьте видимый диаметр лунного диска d ;
 - б) измерительной лентой измерьте расстояние g от глаза до ножек штангенциркуля;
 - в) по справочнику определите среднее расстояние от Земли до Луны R ;
 - г) используя соотношение $\frac{d}{r} = \frac{D}{R}$, вычислите диаметр Луны D ;
 - д) сравните полученное значение диаметра со значением, приведенным в справочнике.

Контрольные вопросы

1. Выведите соотношение, использованное для определения диаметра Луны.
2. Какие наиболее крупные лунные моря человек с нормальным зрением способен рассмотреть на поверхности Луны невооруженным глазом?

Дополнительное задание

Зная диаметр Луны, оцените в километрах поперечные размеры тех элементов лунной поверхности, которые расположены в центральной части сделанного вами рисунка.

Х Литература

1. Анциферов, Л.И. Практикум по физике в средней школе [Текст] / Л.И.Анциферов, В.А.Буров, Ю.И.Дик, Б.С. Зворыкин, О.Ф. Кабардин, В.А. Кубицкий, И.М. Румянцев, В.П. Яковлев // Дидактический материал: Пособие для учителя / Л.И.Анциферов, В.А.Буров, Ю.И.Дик, Б.С. Зворыкин, О.Ф. Кабардин, В.А. Кубицкий, И.М. Румянцев, В.П. Яковлев. М.: Просвещение, - 1987. – С. 191.
2. Буров, В.А. и др. Практикум по физике в средней школе [Текст] / В.А. Блинова, Б.С. Зворыкин, С.Ф. Кабанов, А.А. Покровский, И.М. Румянцев, В.П. Яковлев // Пособие для учителей / В.А. Блинова, Б.С. Зворыкин, С.Ф. Кабанов, А.А. Покровский, И.М. Румянцев, В.П. Яковлев. М: Просвещение, 1973. С. 255.
3. Виноградов Ю.А. Радиолобительские конструкции в системах контроля и защиты. — М.: Солон-Р, 2001. — С. 117.;
4. Все образование Интернета [Электронный ресурс] // <http://www.alledu.ru>
5. Гершензон, Е. М. Оптика и атомная физика [Текст] / Е. М. Гершензон, Н. Н. Малов, В. С. Этнин //Курс общей физики / Е. М. Гершензон, Н. Н. Малов, В. С. Этнин. М.: Просвещение. - 1981. - С. 61-92.
6. Глазунов А.Т., Кабардин О.Ф., Малинин А.Н., Орлов В.А., Пинский А.А. Физика. 11 класс, М.: - Просвещение, 2009 г. – 448с.;
7. Груздев, Ю.В. Физический практикум: учебное пособие [Электронный ресурс] // [http:// genphys.physmsu.su/rus/lab/](http://genphys.physmsu.su/rus/lab/)
8. Жданов С.А. Лабораторный практикум. 10-11-й классы // С.А. Жданов, Е.Е. Панова // Электронный ресурс // http://fiz.1september.ru/2001/45/no45_01.htm;
9. Иродов, И.Е. Волновые процессы. [Текст] / Иродов И.Е. // Волновые процессы. Основные законы // Иродов И.Е. М.: Лаборатория Базовых Знаний. - 1999. – С. 235.;
10. Кабардин О.Ф., Орлов В.А., Эвенчик Э.Е., Шамаш С.Я., Пинский А.А., Кабардина С.И., Дик Ю.И., Никифоров Г.Г., Шефер Н.И. Физика. 10 класс, М.: - Просвещение, 2009 г. – 432 с.;
11. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика. 10 класс, М.: - Просве-

- щение, 2009 г.;
12. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика. 11 класс.: - М.: - Просвещение, 2009 г.;
 13. Поваляев О.А., к.т.н., Хоменко С.В. Волновая оптика. Руководство по выполнению экспериментов. - М.: МГИУ, 2005. - 35 с.;
 14. Покровский, А.А. Электричество [Текст] / А.А. Покровский, В.А. Буров, А.И. Глазырин, А.Г. Дубов, Б.С. Зворыкин, И.М. Румянцев //Практикум по физике в средней школе. Пособие для учителя / А.А. Покровский, В.А. Буров, А.И. Глазырин, А.Г. Дубов, Б.С. Зворыкин, И.М. Румянцев. М.: Просвещение. – 1963. – С.139
 15. Попова И.А, Тамилин Д. Домашний терморегулятор. Исследовательская работа / 1.11.2009 г., электронное периодическое издание «НУМИ» (NUMI.RU) (научные, учебные и методические издания) - <http://numi.ru/downloadrus.php?id=2011>;
 16. Попова И.А. Активация познавательной деятельности обучающихся на уроках физики. Доклад / 12.11.2009 г., электронное периодическое издание «НУМИ» (NUMI.RU) (научные, учебные и методические издания) - <http://numi.ru/downloadrus.php?id=2552>;
 17. Попова И.А. Организация исследовательской деятельности обучающихся. Творческий отчет / 12.11.2009 г., электронное периодическое издание «НУМИ» (NUMI.RU) (научные, учебные и методические издания) - <http://numi.ru/downloadrus.php?id=2552>;
 18. Попова И.А. Организация исследовательской деятельности обучающихся. Творческий отчет / 12.11.2009 г., электронное периодическое издание «НУМИ» (NUMI.RU) (научные, учебные и методические издания) - <http://numi.ru/downloadrus.php?id=2552>;
 19. Попова И.А., Милькова К. Волшебная линза. Исследовательская работа / 26.09.2009 г., электронное периодическое издание «НУМИ» (NUMI.RU) (научные, учебные и методические издания) - <http://numi.ru/downloadrus.php?id=1610> ;
 20. Резник, Л.И. Физическая оптика в средней школе [Текст] / Л.И. Резник, С. В.

- Степанов, В. Е. Евстигнеев // Физическая оптика в средней школе // Резник Л.И. М.: Просвещение. -1971. – С. 263.
21. Саенко П.Г. и др. Программы общеобразовательных учреждений. Физика. 10-11 классы. / П.Г. Саенко, В.С. Данюшенков, О.В. Коршунова, Н.В. Шаронова, Е.П. Левитан, О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, - М., «Просвещение», 2007 г., - 160 с.;
22. Сборник нормативных документов. Физика. Федеральный компонент государственного стандарта. Примерные программы по физике./ сост. Э.Д. Днепров, А.Г. Аркадьев. 2-е изд., – «Дрофа», 2008 г., 107 с.;
23. Степанов С. В., Смирнов С. А. Лабораторный практикум по физике / С. В. Степанов, С. А. Смирнов; под ред. С.В. Степанова. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М, 2010. – 112 с.;
24. Степанов, С. В. Ученический эксперимент по физике. [Текст] / С. В. Степанов, В. Е. Евстигнеев // Ученический эксперимент по физике. Методические рекомендации к лабораторным работам по геометрической и волновой оптике. Степанов, С. В. – М.: ФРУП « ЦЕНТР МНТП » - 2003. – С. 23, 25.;

XI ПРИЛОЖЕНИЕ

I. Примерное календарно-тематическое планирование физического практикума

(в соответствии с Программой по физике для 10-11 классы общеобразовательных учреждений (профильный уровень): О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов, - М.: Просвещение, 2007 г.)

Таблица 29

<i>№ урока</i>	<i>Тема по программе</i>	<i>Кол-во ч. по программе</i>
10 класс		
	Физика как наука. Методы научного познания природы	3
	Механика	50
	Молекулярная физика. Термодинамика	36
	Физический практикум 1	10
1.	Проверка соотношения перемещений при равноускоренном движении	1
2.	Изучение движения тела, брошенного горизонтально	1
3.	Вращение жидкости	2
4.	Исследование влияния площади трущихся поверхностей на силу трения	1
5.	Изучение устройства и действия подвижного блока	1
6.	Исследование изобарного процесса	2
7.	Определение относительной влажности воздуха	1
8.	Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости	1
	Электростатика. Постоянный ток	34
	Магнитное поле	20
	Физический практикум 2	12
9.	Исследование электрического поля конденсатора	2
10.	Расширение предела измерений вольтметра	1
11.	Расширение предела измерений амперметра	1
12.	Измерение ЭДС внутреннего сопротивления источника тока	2
13.	Исследование зависимости мощности, потребляемой лампой накаливания, от напряжения на ее зажимах.	2
14.	Исследование электрических свойств полупроводников	1
15.	Изучение эффекта Зеебека	1
16.	Изучение явления электромагнитной индукции	2
	Повторение	10
11 класс		
	Повторение курса физики 10 класса	4
	Электромагнитные колебания и волны	65
	Физический практикум 3	10
17.	Устройство и работа трансформатора	1
18.	Сборка и настройка простейшего радиоприемника	2
19.	Определение показателя преломления вещества	1

<i>№ урока</i>	<i>Тема по программе</i>	<i>Кол-во ч. по про- грамме</i>
20.	Определение показателя преломления вещества и оптической силы системы двух линз	2
21.	Наблюдение интерференции, дифракции и поляризации света	2
22.	Определение длины световой волны	2
	Квантовая физика	48
	Строение Вселенной	12
	Физический практикум 4	5
23.	Исследование явления фотоэффекта	1
24.	Градирование спектроскопа и измерение длин световых волн спектральных линий газов	1
25.	Изучение треков заряженных частиц по фотографиям	1
26.	Исследование естественной радиоактивности продуктов питания	1
27.	Астрономические наблюдения солнечных пятен по фотографиям	1
	Обобщающее повторение	26

II. Техника безопасности для учащихся в кабинете физики

II.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Директор школы, его заместитель по учебно-воспитательной работе, заведующий лабораторией и учитель физики обязаны обеспечить безопасные условия труда в лабораториях и несут личную ответственность за нарушение правил техники безопасности и производственной санитарии.

Заведующий кабинетом (лабораторией) физики и учитель физики:

а) обеспечивают безопасное состояние рабочих мест, приборов, оборудования, инструментов;

б) ведут паспорт на кабинет (лабораторию) физики и имеющиеся в нем оборудование и приборы;

в) систематически проводят инструктаж учащихся по технике безопасности.

Инструкция по технике безопасности, разработанная заведующим лабораторией с учетом местных особенностей, согласованная с местным кабинетом профсоюза и утвержденная директором школы, должна находиться в лабораториях физики на видном месте.

ОПАСНОСТИ В РАБОТЕ

Неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с приборами и незнание правил техники безопасности могут повлечь за собой несчастные случаи.

При проведении лабораторных работ или демонстраций пользоваться разбитой или стеклянной посудой с трещинами запрещается. Во всех опытах, требующих нагнетания или откачивания воздуха из стеклянных сосудов, а также повышения в них давления путем нагревания, необходимо применять защитные чехлы или экраны из органического стекла (для защиты учащихся), а также защитные очки или маски для демонстратора. Осколки стекла со стола нельзя стряхивать руками. Для этого необходимо использовать щеточку и совок. Таким же образом необходимо стряхивать металлические опилки, используемые при наблюдении магнитных спектров.

Для предотвращения несчастных случаев приборы на демонстрационном столе следует размещать таким образом, чтобы во время опытов исключить всякую возможность попадания отлетевших деталей в учащихся, для чего следует применять защитные экраны из органического стекла.

ДО НАЧАЛА РАБОТЫ

Перед тем как приступить к выполнению работы, тщательно изучите ее описание, уясните ход ее выполнения.

ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ

1. Будьте внимательны, дисциплинированы, осторожны, точно выполняйте указания учителя.
2. Не оставляйте рабочее место без разрешения учителя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном учителем.
4. Не держите на рабочем месте предметы, не требующиеся при выполнении задания.

5. Производите сборку электрических цепей, переключения в них, монтаж и ремонт электрических устройств только при отключенном источнике питания.
6. Не включайте источники электропитания без разрешения учителя.
7. Проверяйте наличие напряжения на источнике питания или других частях электроустановки с помощью указателя напряжения.
8. Следите, чтобы изоляция проводов была исправна, а на концах проводов были наконечники, при сборке электрической цепи провода располагайте аккуратно, а наконечники плотно зажимайте клеммами. Выполняйте наблюдения и измерения, соблюдая осторожность, чтобы случайно не прикоснуться к оголенным проводам (токоведущим частям, находящимся под напряжением).
9. Не прикасайтесь к конденсаторам даже после отключения электрической цепи от источника электропитания: их сначала нужно разрядить.

ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ РАБОТЫ

- По окончании работы отключите источники электропитания, после чего разберите электрическую цепь.
- Обнаружив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно отключите источники электропитания и сообщите об этом учителю.

II.2. Техника электробезопасности в кабинете физики

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Приборы, используемые учащимися, должны иметь ограничивающие устройства, исключающие возможность поражения электротоком.

Корпуса приборов, где это необходимо, должны заземляться.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- В качестве заземления использовать отопительные трубы.
- Оставлять без присмотра работающие электронагревательные приборы.
- Во время опытов держать на столе посторонние предметы.

ДО НАЧАЛА РАБОТЫ

- Необходимо тщательно ознакомиться с описанием приборов, и прежде чем включить прибор в цепь, проверить соответствует ли напряжение в сети тому, на которое рассчитан прибор.
- Используемые приборы должны быть исправны, отрегулированы, содержаться в чистоте и регулярно проверяться.

ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ

- Приборы нельзя оставлять у края стола. Их необходимо располагать таким образом, чтобы было удобно вести измерения, не перегибаясь через них или соединительные провода.
- Для включения и выключения тока в цепи необходимо использовать выключатели и только ими прерывать ток. Все розетки, щитки, вилки не должны иметь трещин, сколов и т.д.
- Отвертки, кусачки, плоскогубцы должны иметь изолированные ручки.
- Наличие напряжения в цепи можно проверять только приборами.

- При опытах с сильными магнитными полями необходимо снять с руки часы.

ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ РАБОТЫ

- Немедленно выключить электроприборы.
- Отключение силовой линии кабинета физики осуществляется одним общим выключателем учителем.

II.3. Техника безопасности при работе со стеклянной посудой в кабинете физики

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Ни один прибор нельзя использовать без проверки учителем.
- Следует помнить, что стекло обладает хрупкостью, легко ломается и трескается при ударах, резком изменении температуры.

ОПАСНОСТИ В РАБОТЕ

- Ожоги рук при неосторожном обращении со стеклянными трубками, стаканами, колбами и др. хим. посудой, нагретой до высокой температуры.
- Ранение рук и лица при разрыве сосудов или приборов при нарушении правил применения изделий из стекла.

ДО НАЧАЛА РАБОТЫ

- При сборке стеклянных приборов соединением отдельных частей их с помощью резиновых трубок, а также при других работах со стеклом необходимо защищать руки полотенцем.
- Концы стеклянных трубок и палочек для размешивания растворов или др. целей должны быть оплавлены, чтобы не поранить руки.

ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ

- Все виды механической и термической обработки стекла следует производить с использованием предохранительных очков.
- Сосуд с горячей жидкостью нельзя закрывать притертой пробкой до тех пор, пока он не остынет.
- Перенося сосуды с горячей жидкостью, следует брать их руками, защищенными полотенцем, большой сосуд при этом следует держать одной рукой за дно, другой - за горлышко.
- При смешении или разбавлении веществ, сопровождающихся выделением тепла, следует пользоваться фарфоровой или термостойкой тонкостенной химической посудой.
- Большие химические стаканы следует поднимать двумя руками, чтобы отогнутые края стакана упирались на указательные и большие пальцы.
- Работу с ядовитыми огне- и взрывоопасными веществами следует вести в приборах или посуде высококачественного, термически стойкого стекла.
- Нагревая жидкость в пробирке, необходимо держать ее так, чтобы отверстие пробирки было направлено в сторону от себя и соседей по парте.

- При обрезании куска стеклянной трубки надо сделать на ней подрез напильником или др. инструментом, после чего взять трубку обеими руками и легким нажатием в противоположном подрезу направлении сломать ее.

ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ РАБОТЫ

- Тщательно вымойте руки с мылом.
- При обнаружении каких-либо неисправностей в состоянии используемых вами приборов поставьте в известность учителя.
- Соблюдайте правила личной гигиены. При неопрятном состоянии рук под ногтями могут скапливаться вредодействующие вещества, которые при попадании с пищей в организм приводят к отравлению.

II.4. Техника безопасности при работе с нагревательными приборами по физике

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Каждый демонстрационный опыт и лабораторное занятие должно быть тщательно подготовлено и продумано в отношении мер безопасности, а при проведении учитель должен показывать пример точного соблюдения правил техники безопасности.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ

Оставлять без присмотра работающие электронагревательные приборы.
Использовать неисправные электронагревательные приборы.

II.5. Техника безопасности во время экскурсий на уроках физики

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В качестве объекта экскурсии выбираются цехи, участки, установки, которые обеспечивают полную безопасность экскурсии.
- Место проведения экскурсии, маршрут следования, объекты демонстрации, день и время экскурсии, согласуются представителем школы с администрацией объекта экскурсии и оформляются служебной запиской с подписями директора школы и представителя предприятия.
- Руководителями экскурсии назначаются: от школы - учитель физики; от предприятия - руководитель или заместитель руководителя предприятия.
- Руководители экскурсии должны хорошо знать объект экскурсии, иметь квалификационную группу по технике безопасности не ниже III для установок свыше 1000 В, подтвержденную удостоверением установленной формы.
- Ответственность за охрану жизни и здоровья учащихся во время экскурсии несут директор школы, учитель, руководитель объекта экскурсии.
- Руководители экскурсии должны вести постоянный надзор за учащимися во время проведения экскурсии на территории объекта.

- Перед каждой экскурсией учащиеся должны быть ознакомлены с общей характеристикой объекта экскурсии, маршрутом следования и мерами предосторожности, соблюдение которых необходимо при проведении экскурсии.
- Число учащихся, одновременно не должно превышать 25 человек и согласовываться с руководителем экскурсии от предприятия.
- Допущенные к экскурсии должны быть соответственно одеты, не иметь при себе предметов, создающих опасность при проведении экскурсии.
- Во время проведения экскурсии учащимся запрещается проводить какие-либо воздействия на объекты экскурсии без разрешения руководителя.
- Запрещается проведение экскурсии на открытых или закрытых распределительных устройствах во время грозы, дождя, тумана, в ночное время суток.
- В случае аварийной ситуации на месте экскурсии учащиеся выводятся руководителями экскурсии в заранее выбранное безопасное место. При несчастном случае пострадавшему оказывается первая помощь.
- После окончания экскурсии руководители выводят учащихся с объекта и проверяют наличие учащихся по списку.
- Правила проведения экскурсии на предприятия с установками напряжением до 1000 В.
- При проведении экскурсии на объекты с электроустановками напряжением до 1000 В последние могут демонстрироваться учащимся в режиме коммутации.
- Демонстрация электроустановок в режимах коммутации (включение, отключение, изменение режимов работы, может производиться только руководителем экскурсии, работающем на данном предприятии.
- Все электроустановки, на которых производится монтаж, ремонт, отладка, испытание во время проведения экскурсии должны иметь ограждения, обеспечивающие безопасность проведения экскурсии.
- Проведение экскурсии в помещениях с аккумуляторными установками разрешается только при нормально действующей вентиляции.
- Правила проведения экскурсии на предприятия с установками напряжением выше 1000 В.
- Экскурсии на объекты с установками напряжением выше 1000 В допустимы только после оформления специального разрешения за подписью руководителя объекта экскурсии.
- Число учащихся, одновременно участвующих в экскурсии на закрытых или открытых распределительных устройствах с напряжением выше 1000 В должно быть не более 5 человек, а продолжительность экскурсии не более 30 минут.
- При экскурсиях в помещения электроустановок, где расположена низковольтная аппаратура дистанционного управления, мнемосхемы число учащихся одновременно участвующих в экскурсии, должно быть не менее 25 человек, а продолжительность экскурсии не более часа.
- Запрещается проводить экскурсии на установки с напряжением выше 1000 В во время их ремонта.
- Запрещается демонстрация оборудования во время производства оперативных переключений.

III. Допустимые погрешности наиболее часто встречающихся в школьном эксперименте средств измерения

Таблица 30

<i>Средства измерения</i>	<i>Предел измерения</i>	<i>Цена деления</i>	<i>Допустимая погрешность</i>
линейка ученическая	до 50 см	1 мм	1 мм
линейка демонстрационная	100 см	1 см	0.5 см
лента измерительная	150 см	0.5 см	0.5 см
мензурка	до 250 мл	1 мл	1 мл
гири 10,20, 50 мг			1 мг
гири 100,200 мг			2 мг
гири 500 мг			3 мг
гири 1 г			4 мг
гири 2 г			6 мг
гири 5 г			8 мг
гири 10 г			12 мг
гири 20 г			20 мг
гири 50 г			30 мг

гири 100 г			40 мг
штангенциркуль	150 мм	0.1 мм	0.05 мм
микрометр	25 мм	0.01 мм	0.005 мм
динамометр	4 Н	0.1 Н	0.05 Н
весы учебные	200 г		0.1 г
Секундомер	0-30 мин	0.2 с	1с за 30 мин
барометр-анероид	720-780 мм рт.ст.	1 мм рт.ст	3 мм рт.ст
термометр лабораторный	0-100 градусов С	1 градус	1 градус
амперметр школьный	2 А	0.1 А	0.08 А
вольтметр школьный	6 В	0.2 В	0.16 В

IV. Основные сведения об измерительных приборах, используемых при выполнении работ лабораторного практикума

Таблица 31

<i>Название прибора</i>	<i>Назначение</i>	<i>Предел измерения</i>	<i>Цена деления шкалы</i>	<i>Предельная абсолютная погрешность ($\Delta_{пр}$)</i>
Амперметр лабораторный АЛ-2,5	Измерение силы постоянного тока	0-2 А	0,1 А	0,05 А
Вольтметр лабораторный ВЛ-2,5	Измерение постоянного напряжения	0-6 В	0,2 В	0,15 В
Весы с разновесами	Измерение массы	10 мг — 200 г	См. примечание ²⁾	См. примечание ³⁾
Лента измерительная	Измерение длины	0—150 см	1 мм	5 мм
Линейка ученическая	Измерение длины	0—30 см	1 мм	1 мм
Секундомер	Измерение времени	0-30 мин	0,2 с	0,1 с
Барометр-анероид БР-52	Измерение атмосферного давления	96-104 кПа	0,1 кПа	0,4 кПа
Мультиметр цифровой М-830	Измерение силы постоянного тока	0—200 мкА; 0—2 мА; 0-20 мА; 0-200 мА; 0-10 А	0,1 мкА; 1 мкА; 10 мкА; 100 мкА; 10 мА	1 % + 2 ед. (см. ⁴⁾ 1 % + 2 ед. 1 % + 2 ед. 2 % + 2 ед.
Мультиметр цифровой	Измерение песто-	0—200 мВ;	100 мкВ;	0,25 % + 2 ед.

М-830	янного напряжения	0-2 В; 0-20 В; 0-200 В; 0-1000 В	1 мВ; 10 мВ; 100 мВ; 1 В	0,5 % + 2 ед. 0,5 % + 2 ед. 0,5 % + 2 ед. 0,5 % + 2 ед.
	Измерение переменного напряжения	0-200 В; 0-750 В	100 мВ; 1 В	1,2 % + 10 ед. 1,2% + 10 ед.
Мультиметр цифровой М-830	Измерение сопротивления	0-200 Ом; 0-2000 Ом; 0—20 кОм; 0—200 кОм; 0-2 МОм	100 мОм; 1 Ом; 10 Ом; 100 Ом; 1 кОм	0,8 % + 2 ед. 0,8 % + 2 ед. 0,8 % + 2 ед. 0,8 % + 2 ед. 1 % + 2 ед.
Термометр ТС-4М	Измерение температуры	0-100 °С	1 °С	1 °С
Миллиамперметр лабораторный МА-2,5	Измерение силы постоянного тока	0-5 мА	1 мА	0,125 мА

¹⁾ Для цифрового мультиметра дискретность отсчета.

²⁾ Дискретность измерения массы определяется массой наименьшей гири, входящей в комплект гирь, используемого при взвешивании.

³⁾ Граница погрешности весов как измерительного прибора определяется суммой погрешностей самих весов и всех гирь, установленных на чашку при взвешивании: $\Delta_{\text{пр}} = \Delta_{\text{весов}} + \Delta_{\text{установленных гирь}}$. Погрешность весов зависит от нагрузки. Вид этой зависимости показан на рис. 1.

⁴⁾ Процент берут от верхнего предела измерения данного диапазона. Число, которое к нему прибавляют, означает число единиц младшего разряда цифры, высвечиваемой на индикаторе мультиметра. Например, для измерения постоянного напряжения был выбран диапазон с пределами 0—20 В. На индикаторе появилась цифра 14,22. Предельная абсолютная погрешность мультиметра равна $0,1 \text{ В} + 0,02 \text{ В} = 0,12 \text{ В}$. Первое слагаемое 0,1 В составляет 0,5 % от 20 В (верхнего предела), второе определилось из того, что в цифре 14,22 единицами младшего разряда являются сотые. В соответствии с таблицей для данного диапазона необходимо взять две единицы, т. е. 0,02 В.

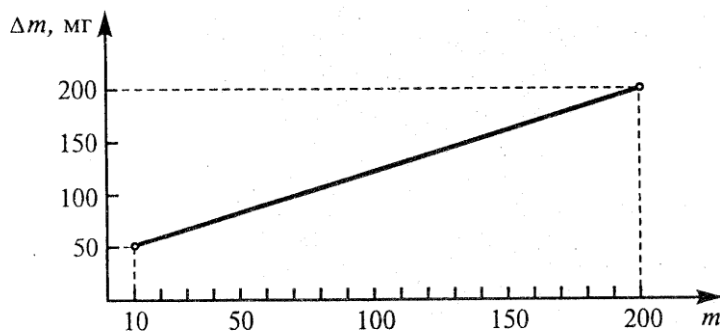


Рис.1

V. Состав и границы погрешностей гирь наиболее распространенного набора Г4-211

Таблица 32

Масса гири m_i	Граница погрешности Δm_i
10 мг, 20 мг, 50 мг, 100 мг	± 1 мг
200 мг	± 2 мг

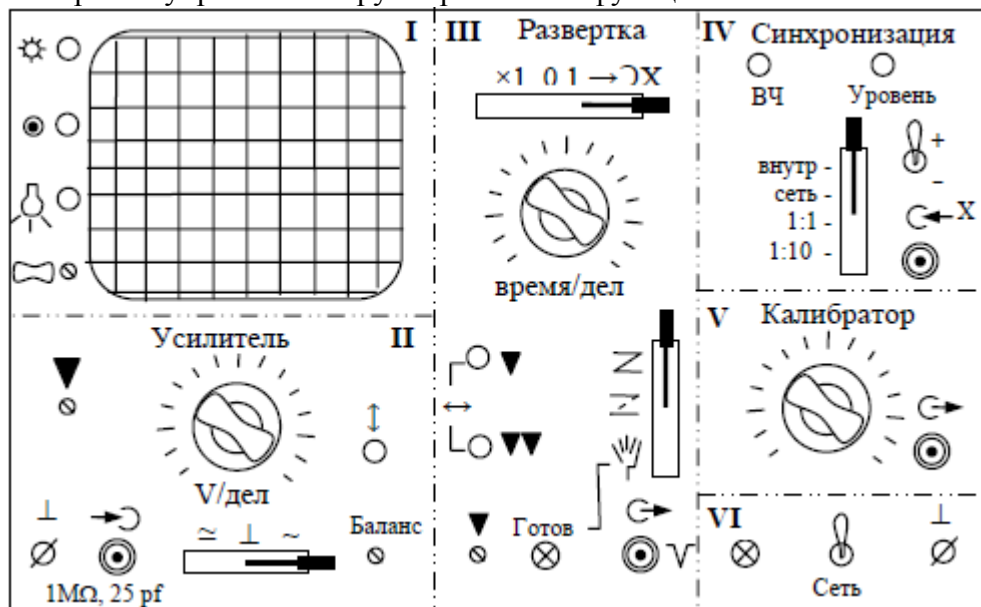
500 мГ	±3 мГ
1 г	±4 мГ
5 г	±8 мГ
10 г	±12 мГ
20 г	±20 мГ
50 г	±30 мГ
100 г	±40 мГ

Примечание. За погрешность отсчета принимают половину массы наименьшей гири, которая выводит уравновешенные весы из равновесия.

VI. Функциональные узлы осциллографа С1-65А

(Вид передней панели осциллографа С1-65А, используемого в работе)

Органы управления сгруппированы по функциональным блокам.



I – блок ЭЛТ (электронно-лучевой трубки) с органами управления лучом;

II – блок входного усилителя (вход *Y*);

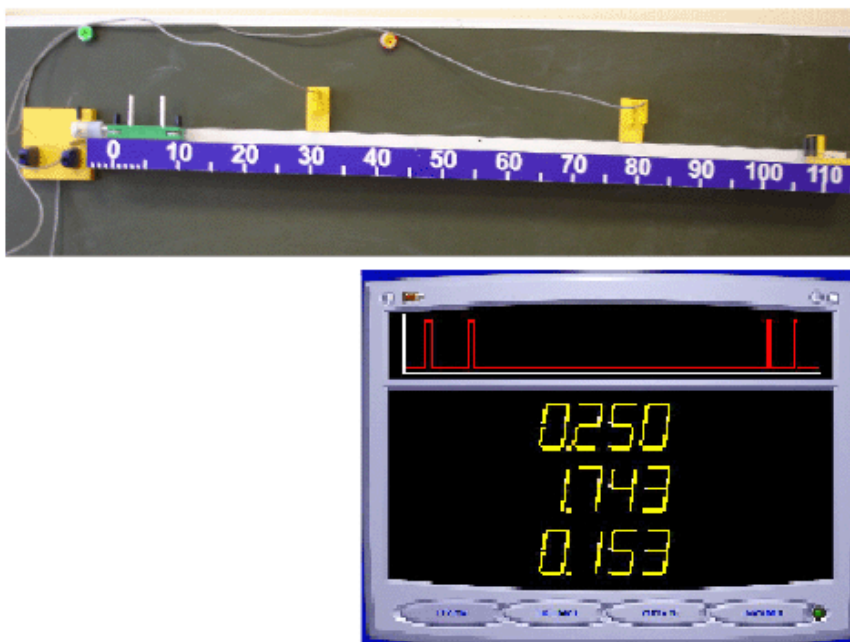
III – блок развертки;

IV – блок синхронизации;

V – калибратор;

VI – сеть

VII. Установка в лабораторной работе «Проверка соотношения перемещений при равноускоренном движении»



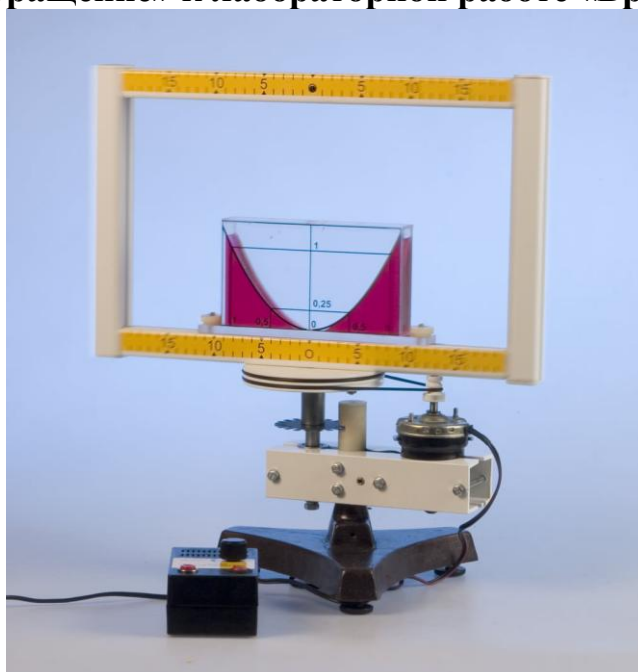
VIII. Комплект «Механика» к лабораторным работам по механике



IX. Установка нескольких блоков в лабораторной работе «Изучение устройства и действия подвижного блока»



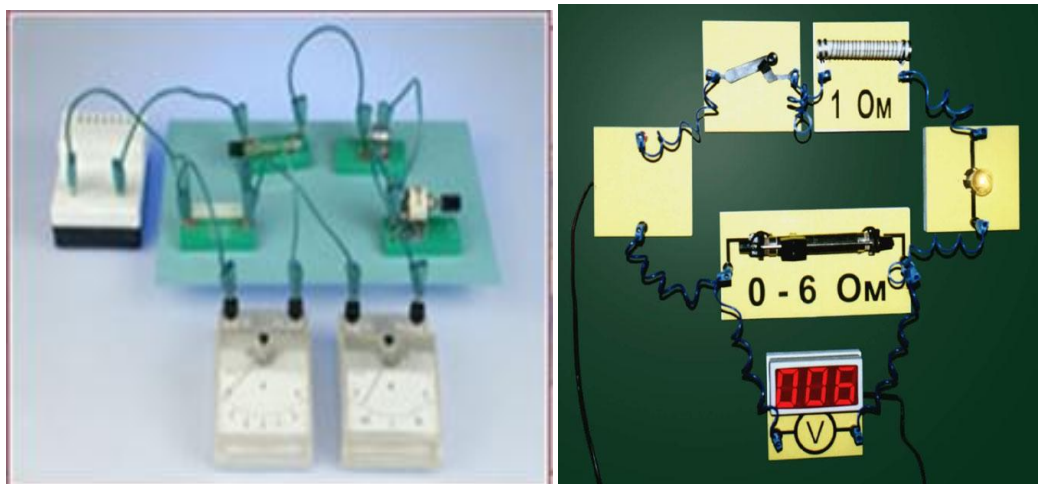
X. Комплект «Вращение» к лабораторной работе «Вращение жидкости»



XI. Комплект «Изобара» к лабораторной работе «Исследование изобарного процесса»



ХII. Комплект «Электричество 2» к лабораторным работам по с использованием источника постоянного тока



ХIII. Значения α некоторых металлов (по отношению к свинцу) для интервала температур 0°C - 100°C

- а. (положительный знак α приписан тем металлам, к которым течет ток через нагретый спай)

Металл	α , мкВ/К
Платина	-4.4
Олово	-0.2
Свинец	0.0
Серебро	+2.7
Медь	+3.2
Сурьма	+4.3

б. ЭДС термопары не меняется при последовательном включении в цепь любого количества др. материалов, если появляющиеся при этом дополнительные места контактов поддерживают при одной и той же температуре.

Материал	α , мкВ/°C	Материал	α , мкВ/°C
Сурьма.....	+4,3	Ртуть.....	-4,4
Железо.....	+1,5	Платина.....	-4,4
Молибден	+7,6	Натрий	-6,5
Кадмий	+4,6	Палладий	-8,9
Вольфрам.....	+3,6	Калий.....	-13,8
Медь.....	+3,2	Никель.....	-20,8
Цинк.....	+3,1	Висмут.....	-68,0
Золото.....	+2,9	Хромель.....	+24
Серебро	+2,7	Нихром.....	+18
Свинец.....	0,0	Платинородий...	+2
Олово.....	-0,2	Алюмель.....	-17,3
Магний	-0,0	Константан.....	-38
Алюминий.....	-0,4	Копель.....	-38

XIV. Типы термопар

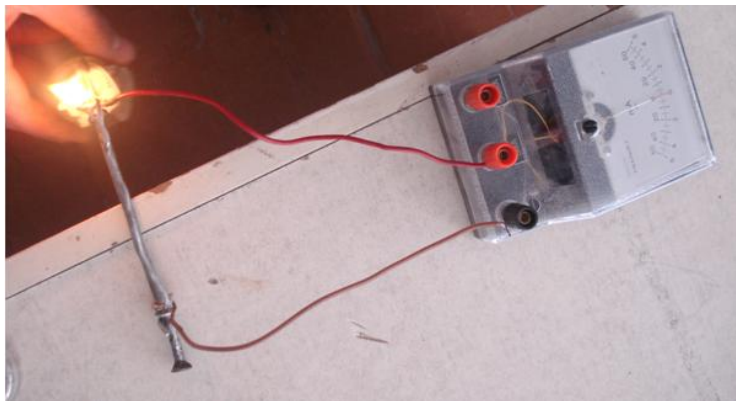
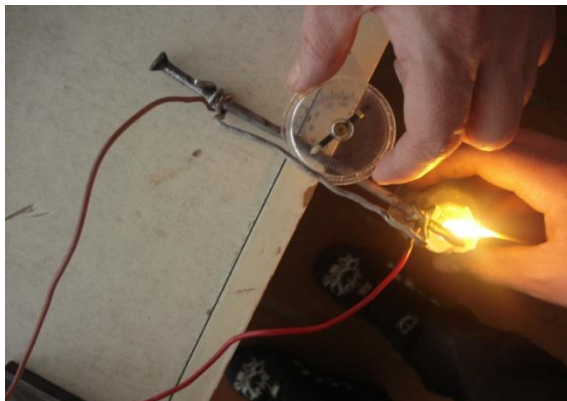
(Требования к термопарам определяются ГОСТ 6616-94.)

Платинородий - платиновые	- ТПП13 - Тип R
Платинородий - платиновые	- ТПП10 - Тип S
Платинородий – платинородий	- ТПР - Тип В
Железо - константановые (железо - медьникелевые)	- ТЖК - Тип J
Медь - константановые (медь - медьникелевые)	- ТМКн - Тип
ТСС	
Никросил - нисилые (никельхромникель - никелькремниевые)	- ТНН - Тип N
Хромель – алюмелевые	- ТХА - Тип K
Хромель - константановые	- ТХКн - Тип E
Хромель - копелевые	- ТХК - Тип L
медь - копелевые	- ТМК - Тип M
Сильх - силиновые	- ТСС - Тип I
Вольфрамрений – вольфрамрениевые	- ТВР - Тип A-1,
A-2, A-3	

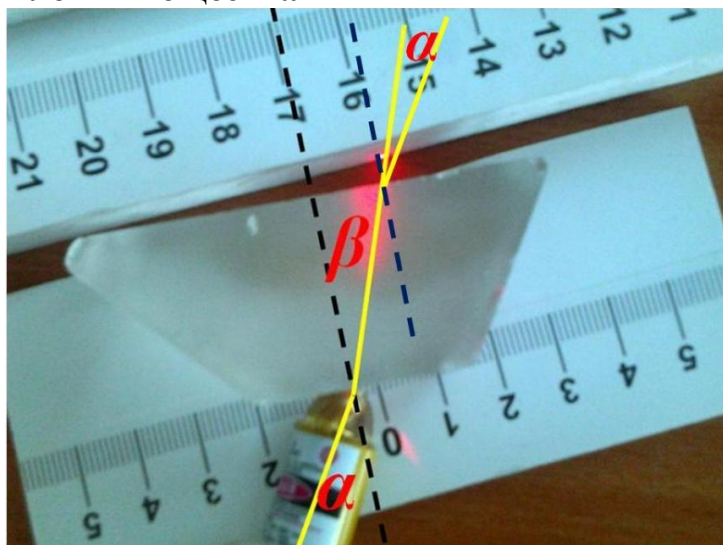
XV. Индуцирование магнитного и электрических полей в лабораторной работе «Изучение эффекта Зеебека»

а) Индуцирование магнитного поля

б) Индуцирование электрических поля



XVI. Обозначение углов преломления в лабораторной работе «Определение показателя преломления вещества»



XVII. Изображение портрета в лабораторной работе «Определение показателя преломления вещества и оптической силы системы двух линз»

а) в воде

б) в глицерине



XVIII. Изображение интерференционной картины в лабораторной работе «Наблюдение интерференции, дифракции и поляризации света»

