

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ПРЕЗИДЕНТСКИЙ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ЛИЦЕЙ № 239

191028, Россия, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 8, телефон/факс 272-96-68

ОТДЕЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЕТЕЙ

Утверждена

Приказом «__» _____ 201__ г

Директор ГБОУ ПФМЛ № 239

_____ Пратусевич М.Я.

Принята на заседании

методического (педагогического) совета

от «__» _____ 201__ г

протокол № _____

**Дополнительная общеобразовательная
общеразвивающая программа**

«Экспериментальная физика. Основы эксперимента»

Возраст учащихся: 10-18 лет

Срок реализации: 6 лет

Пояснительная записка

1. Направленность

1 уровень (10-12 лет): естественнонаучная базового уровня

2 уровень (12-18 лет): естественнонаучная углубленного уровня

2. Актуальность

В контексте реализации стандартов нового поколения существует потребность в выявлении способностей детей, их профессиональных склонностей. Учебная деятельность школьников при традиционном обучении носит в основном репродуктивный характер, что формирует исполнительскую культуру личности, но не творческую. В этом контексте физический эксперимент является не только средством наглядности, сколько необходимой базой и инструментом развития способностей и выявления одарённых детей.

Актуальность введения курса «Экспериментальная физика. Основы эксперимента» связана с необходимостью научить разделять наблюдаемые факты на существенные и несущественные, выдвигать гипотезы, моделировать, устанавливать связи и отношения между изучаемыми научными понятиями, осуществлять операции, требующие оценочных умений, планировать и проводить эксперимент, т.е. решать экспериментальные задачи, которые требуют от учащихся не только ясного понимания основных законов, но и творческого умения применять эти законы, развитого ассоциативного мышления, сообразительности и научной интуиции.

Программа предполагает обобщение и углубление знаний, полученных на уроках, формирование умений решать сложные экспериментальные задачи, и через это развитие более глубокого понимания физики. Теоретические вопросы курса предусматривают глубокое рассмотрение физических законов и методов проведения физического эксперимента. Практические задания включают в себя решение экспериментальных задач различных типов, в том числе задач олимпиад высокого уровня.

Программа включает два основных содержательных раздела: «Измерения» и «Физические явления», последний охватывает все основные явления: механические, тепловые, электрические, магнитные, звуковые, световые. Проблемное и проектное обучение позволяет развить познавательную активность, научить элементам исследования, наблюдения, приучить к оформлению результатов наблюдения.

3. Отличительные особенности

В условиях современной классно-урочной системы наблюдается отрыв эмоционального и рационального мышления учеников. В начальных классах появляются многочисленные вопросы, «почему», на которые ученики не всегда успевают получить ответы на традиционном уроке. Учебная деятельность школьников при традиционном обучении носит в основном репродуктивный характер, что формирует исполнительскую культуру личности, но не творческую. Главной задачей

программы «Экспериментальная физика» является объединение эмоционального восприятия с рациональным.

Отличительной особенностью данной образовательной программы является ярко выраженная практическая направленность, а именно:

- структура и содержание учебного материала позволяет создать условия для формирования у обучающихся 10-18 лет навыков самостоятельной работы с физическими приборами, информацией из справочников, Интернета и т.д.
- позволяет сформировать основные понятия из разделов: механика, теплота, электричество, магнетизм, оптика с учетом возрастных особенностей учащихся;
- позволяет широко использовать на занятиях проблемное обучение через опыты, лабораторные работы, наблюдения, исследования.
- не предполагается заучивание строгих определений, хотя знакомство с ними происходит регулярно, что приводит к их постепенному запоминанию.

4. Адресат программы

Программа дополнительного образования рассчитана на учащихся в возрасте 10-18 лет, успешно осваивающих программу курса физики соответственно возрасту пропедевтической (5-6 классы), базовой (7-8 классы), предпрофильной (9 класс) и углубленной (10-11 классы) программ.

5. Цель

Основная цель данного курса состоит в расширении представлений учащихся 5-11 классах о процессах познания природы.

6. Задачи

Личностные:

- Воспитать личность, способную анализировать и создавать индивидуальную программу саморазвития.
- Развить самостоятельность, умение использовать справочную литературу и другие источники информации
- Осуществить интеллектуальную и психологическую подготовку к профессиональному самоопределению и самореализации.
- Сформировать ценности в отношениях друг к другу, учителю, авторам открытий и изобретений, результатам обучения.

Метапредметные:

- Развить навыки самостоятельного приобретения новых знаний, организации учебной деятельности, постановки целей, планирования, самоконтроля и оценки результатов своей деятельности, умениями предвидеть возможные результаты своих действий;
- Развить умение понимать различия между исходными фактами и гипотезами для их объяснения, теоретическими моделями и реальными объектами,

- Способствовать овладению универсальными способами деятельности на примерах выдвижения гипотез для объяснения известных фактов, разработки теоретических моделей процессов или явлений;
- Сформировать умение воспринимать, перерабатывать и предъявлять информацию в словесной, образной, символической формах, анализировать и перерабатывать полученную информацию в соответствии с поставленными задачами, выделять основное содержание прочитанного текста, находить в нём ответы на поставленные вопросы и излагать его;
- Развить умение принимать решения в нестандартных ситуациях, способствовать овладению эвристическими методами решения практических задач;

Предметные:

- Ознакомить с минимальными сведениями о понятии «экспериментальная задача», «экспериментальное задание», представлениями о значении эксперимента в жизни, науке, технике;
- Ознакомить учащихся с методами измерений, обработки и представления результатов, оценки погрешности;
- Способствовать овладению методами решения экспериментальных задач повышенной сложности;
- Сформировать умение классифицировать, анализировать различные экспериментальные задания;
- Сформировать умение выбирать наиболее рациональные методы проведения эксперимента;
- Ознакомить учащихся с основными этапами работы над проектом;
- Развить у учащихся рациональное физическое мышление: различать причины и следствия, строить модели и выдвигать гипотезы, отыскивать и формулировать доказательства выдвинутых гипотез, выводить из известных экспериментальных фактов и теоретических моделей физические законы.

7. Условия реализации программы

Зачисление в группу учащихся 5-6 классов происходит в первую неделю сентября по результатам собеседования с учащимися лицея. Для учащихся других школ рекомендуется зачисление на курс «PRO-физика». Формируются группы по 15-20 человек. Дополнительный набор в группы второго (6-7 класс) и третьего (7-8 класс) осуществляется по результатам обучения в кружке «PRO-физика» для учащихся других школ, и по результатам дополнительных испытаний для учащихся лицея, последующих годов обучения (8-11 классы) - по результатам дополнительных испытаний. Преимуществом при зачислении пользуются учащиеся, показавшие высокие результаты в олимпиадах и конкурсах по физике 7-10 классов.

Педагогами могут быть студенты профильных специальностей, преподаватели вузов и учителя физики профильных классов.

Материально-техническое обеспечение программы: рабочие листы на печатной основе, таблицы общего назначения, тематические таблицы по физике и математике, комплекты лабораторного оборудования для проведения фронтальных лабораторных работ “Л-микро”, индивидуальный рабочий набор учащегося, комплект цифровых лабораторий “Архимед”, комплекты оборудования собственного изготовления для проведения исследовательских и лабораторных работ высокого (олимпиадного) уровня.

8. Планируемые результаты

Личностные результаты:

- Сформированность у школьников рационального физического мышления, умения устанавливать факты, различать причины и следствия, строить модели и выдвигать гипотезы, отыскивать и формулировать доказательства выдвинутых гипотез;
- Сформированность таких качеств личности, как самостоятельность, самоконтроль, самосовершенствование;
- Сформированность у учащихся интеллектуальной и общепсихологической подготовки к профессиональному самоопределению и самореализации.
- убежденность в возможности познания природы, в необходимости разумного использования достижений науки и технологий для дальнейшего развития человеческого общества, уважение к творцам науки и техники, отношение к физике как элементу общечеловеческой культуры;

Метапредметные результаты:

- Владение навыками самостоятельного приобретения новых знаний, организации учебной деятельности, постановки целей, планирования, самоконтроля и оценки результатов своей деятельности, умениями предвидеть возможные результаты своих действий;
- Понимание различий между исходными фактами и гипотезами для их объяснения, теоретическими моделями и реальными объектами, овладение универсальными способами деятельности на примерах выдвижения гипотез для объяснения известных фактов и экспериментальной проверки выдвигаемых гипотез, разработки теоретических моделей процессов или явлений;
- Сформированность умений воспринимать, перерабатывать и предъявлять информацию в словесной, образной, символической формах, анализировать и перерабатывать полученную информацию в соответствии с поставленными задачами, выделять основное содержание прочитанного текста, находить в нём ответы на поставленные вопросы и излагать его;
- Освоение приемов действий в нестандартных ситуациях, овладение эвристическими методами решения практических задач;
- Умение использовать справочную литературу и другие источники информации

- Приобретение опыта самостоятельного поиска, анализа и отбора информации с использованием различных источников и новых информационных технологий для решения познавательных задач;
- Формирование умений работать в группе с выполнением различных социальных ролей, представлять и отстаивать свои взгляды и убеждения, вести дискуссию.
- Развитие монологической и диалогической речи, умения выражать свои мысли и способности выслушивать собеседника, понимать его точку зрения, признавать право другого человека на иное мнение;

Предметные результаты:

по окончании изучения программы учащиеся должны знать:

- классификацию, приемы и методы решения экспериментальных задач;
- как наглядно представлять результаты эксперимента в виде схемы, рисунка, чертежа, таблицы, графика, диаграммы;
- как составлять план выполнения конкретного экспериментального задания и алгоритмы рассуждений для различных типов экспериментальных задач;
- устройство измерительных приборов;
- основы теории погрешностей;
- правила действий с приближенными числами.

по окончании изучения программы учащиеся должны уметь:

- выбирать перспективные темы исследования, формулировать цель и задачи исследования или проектной работы;
- формулировать вопросы проблемно-поискового характера;
- работать с текстом экспериментального задания, находить скрытую информацию, трансформировать полученную информацию из одного вида в другой;
- классифицировать экспериментальные задачи;
- составлять план решения экспериментальной задачи и алгоритм рассуждений для различных типов экспериментальных заданий;
- применять физические и математические модели для решения нестандартных экспериментальных физических задач;
- правильно применять измерительные приборы при проведении эксперимента;
- оценить погрешность измерений;
- наглядно представлять результаты эксперимента в виде схемы, рисунка, чертежа, таблицы, графика, диаграммы;
- наглядно представлять результаты исследовательской или проектной работы в виде реферата и презентации.

9. Учебные планы

Учебный план 1 года обучения

№ п/п	Название раздела, темы	Количество часов			Формы контроля
		Всего	Теория	Практика	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Формирование групп	4	2	2	Устный опрос в конце занятия
2.	Измерения.	28	10	18	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
3.	Масса, объем, плотность.	28	10	18	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
4.	Зачет за 1 полугодие	4	0	4	Зачет по билетам
5.	Силы в природе	32	16	16	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
6.	Сила Архимеда	32	12	20	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
7.	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	8	4	4	Предзащита проекта
8.	Защита проектов	4	0	4	Презентация проекта
9.	Зачет за 2 полугодие	4	0	4	Зачет по билетам

Учебный план 2 года обучения

№ п/п	Название раздела, темы	Количество часов			Формы контроля
		Всего	Теория	Практика	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	4	2	2	Устный опрос в конце занятия
2.	Давление	20	10	10	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
3.	Рычаги	20	10	10	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
4.	Механическая работа	16	8	8	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
5.	Зачет за 1 полугодие	4	0	4	Зачет по билетам
6.	Механическая энергия Закон сохранения энергии	12	6	6	Беседа по теме, решение экспериментальных задач

7.	Тепловые явления	52	20	32	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
8.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	8	4	4	Предзащита проекта
9.	Защита проектов	4	0	4	Презентация проекта
10.	Зачет за 2 полугодие	4	0	4	Зачет по билетам

Учебный план 3 года обучения

№ п/п	Название раздела, темы	Количество часов			Формы контроля
		Всего	Теория	Практика	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	6	2	4	Устный опрос в конце занятия
2.	Повторение. Методы измерений	6	2	4	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
3.	Электрические явления	90	42	48	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
4.	Зачет за 1 полугодие	6	0	6	Зачет по билетам
5.	Световые явления	84	42	42	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
6.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	12	0	12	Предзащита проекта
7.	Защита проектов	6	0	6	Презентация проекта
8.	Зачет за 2 полугодие	6	0	6	Зачет по билетам

Учебный план 4 года обучения

№ п/п	Название раздела, темы	Количество часов			Формы контроля
		Всего	Теория	Практика	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	6	2	4	Устный опрос в конце занятия
2.	Повторение. Методы измерений	30	12	18	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
3.	Повторение. Тепловые явления	12	6	6	Беседа по теме, решение экспериментальных задач

4.	Повторение. Электрические явления	42	12	30	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
5.	Зачет за 1 полугодие	6	0	6	Зачет по билетам
6.	МКТ и термодинамика	96	42	54	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
7.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	12	0	12	Предзащита проекта
8.	Защита проектов	6	0	6	Презентация проекта
9.	Зачет за 2 полугодие	6	0	6	Зачет по билетам

Учебный план 5 года обучения

№ п/п	Название раздела, темы	Количество часов			Формы контроля
		Всего	Теория	Практика	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	6	2	4	Устный опрос в конце занятия
2.	Обработка экспериментальных данных	6	3	3	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
3.	Конденсаторы. Свойства RC-цепей постоянного тока	48	18	30	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
4.	Нелинейные электрические элементы	30	12	18	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
5.	Зачет за 1 полугодие	6	0	6	Зачет по билетам
6.	Переменный ток. Свойства RC-цепей переменного тока	30	12	18	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
7.	Магнетизм. Электромагнитная индукция	36	12	24	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
8.	Свойства RLC-цепей переменного тока	30	12	18	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
9.	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	12	0	12	Предзащита проекта
10.	Защита проектов	6	0	6	Презентация проекта
11.	Зачет за 2 полугодие	6	0	6	Зачет по билетам

Учебный план 6 года обучения

№ п/п	Название раздела, темы	Количество часов	Формы контроля
-------	------------------------	------------------	----------------

		Всего	Теория	Практика	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	6	2	4	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
2.	Обработка экспериментальных данных	6	3	3	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
3.	Механические колебания	18	6	12	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
4.	Геометрическая оптика	30	12	18	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
5.	Фотометрия	30	12	18	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
6.	Зачет за 1 полугодие	6	0	6	Зачет по билетам
7.	Волновая оптика	18	6	12	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
8.	Квантовая физика	24	12	12	Беседа по теме, решение экспериментальных задач
9.	Олимпиадный практикум	42	0	42	Решение экспериментальных задач
10.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	24	0	24	Предзащита проекта
11.	Защита проектов	6	0	6	Презентация проекта
12.	Зачет за 2 полугодие	6	0	6	Зачет по билетам

10. Календарный учебный график

Год обучения	Дата начала обучения по программе	Дата окончания обучения по программе	Всего учебных недель	Количество учебных часов	Режим занятий
1 год	1 сентября	25 мая	36	144	4 ч в неделю
2 год	1 сентября	25 мая	36	144	4 ч в неделю
3 год	1 сентября	25 мая	36	216	6 ч в неделю
4 год	1 сентября	25 мая	36	216	6 ч в неделю
5 год	1 сентября	25 мая	36	216	6 ч в неделю
6 год	1 сентября	25 мая	36	216	6 ч в неделю

11. Рабочая программа

1 год

Описание содержания

№	Название раздела	Содержание раздела (теория и практика)	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Формирование групп	Т.	Инструктаж по технике безопасности. Знакомство с правилами поведения в физической лаборатории. Ознакомление с понятиями “Измерение”, “Погрешность”.
		П.	Определение цены деления измерительного прибора, расчет погрешности измерения
2.	Измерения	Т.	Виды погрешностей. Метод рядов. Метод границ. Объем тела (определение). Объем куба, прямоугольного параллелепипеда, шара, цилиндра. Площадь (определение). Площадь квадрата, прямоугольника, круга, овала. Правила измерения объема с помощью мензурки. Правила взвешивания на рычажных весах. Правила перевода единиц сложных размерностей.
		П.	Измерение объема металлического шарика. Задачи на расчет массы, плотности, объема
3.	Масса, объем, плотность	Т.	Плотность вещества (определение, формула). Средняя плотность (определение, формула). Изменение плотности при нагревании и охлаждении. Плотность веществ в твёрдом, жидком, газообразном состоянии. Вода и висмут – особенность отвердевания.
		П.	Измерение плотности металлического шарика. Измерение плотности пластилина. Измерение плотности жидкости. Задачи на расчет массы, плотности, объема
4.	Зачет за 1 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания
5.	Силы в природе	Т.	Сила тяжести (определение, формула). Закон Галилея. Сила тяжести на Луне, планетах солнечной системы. Сила упругости (определение, формула). Закон Гука. Сила реакции опоры, натяжения нити. Вес и способы его изменения. Трение. Виды трения. Сила сухого трения. Закон Кулона-Амонтона
		П.	Измерение жесткости пружины. Построение графиков. Измерение жесткости резинового жгута. Задачи по темам “Сила тяжести”, “Сила упругости”. Измерение силы трения. Определения коэффициента трения. Установления зависимости величины силы трения от площади поверхности. Решение задач по теме.

6.	Сила Архимеда	Т.	Выталкивающая сила (определение, формула, точка приложения, направление). Закон Архимеда. Плавание тела (определение, примеры). Условие плавания тела.
		П.	Решение задач по теме Измерение выталкивающей силы. Измерение плотности тела методом гидростатического взвешивания. Измерение плотности плавающей линейки
7.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	Т.	Правила оформления результатов работы. Навыки публичного выступления
		П.	Предзащита проекта
8.	Защита проектов	Т.	-
		П.	Презентация проекта
9.	Зачет за 2 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания

Календарно-тематическое планирование

№	Неделя	Раздел, тема	Количество часов
Сентябрь			
1.	1	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Формирование групп	4
2.		Измерения	28
2.1.	2	Виды погрешностей	4
2.2.	3	Метод рядов	4
2.3.	4	Правила измерения объёма	4
Октябрь			
2.4.	1	Плотность. Метод границ	4
2.5.	2	Число Пифагора	4
2.6.	3	Олимпиадный практикум	4
2.7.	4	Переводы единиц для сложных размерностей	4
Ноябрь			
3.		Масса, объем, плотность	28
3.1.	1	Правила построения графиков	4
3.2.	2	Особые точки на графике	4
3.3.	3	Прямоугольник погрешности	4

3.4.	4	Плавание тела	4
Декабрь			
3.5.	1	Условие плавания тела	4
3.6.	2	Олимпиадный практикум	4
3.7.	3	Олимпиадный практикум	4
4.	4	Зачет за 1 полугодие	4
Январь			
5.		Силы в природе	32
5.1.	1	Сила тяжести	4
5.2.	2	Сила упругости	4
5.3.	3	Закон Гука	4
5.4.	4	Последовательное соединение пружин	4
Февраль			
5.5.	1	Границы применимости Гука	4
5.6.	2	Вес	4
5.7.	3	Сила трения	4
5.8.	4	Закон Кулона-Амонтона	4
Март			
6.		Сила Архимеда	32
6.1.	1	Сила Архимеда	4
6.2.	2	Закон Архимеда	4
6.3.	3	Олимпиадный практикум	4
6.4.	4	Олимпиадный практикум	4
Апрель			
6.5.	1	Олимпиадный практикум	4
6.6.	2	Олимпиадный практикум	4
6.7.	3	Олимпиадный практикум	4
6.8.	4	Олимпиадный практикум	4
Май			
7.		Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	8
7.1.	1	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	4
7.2.	2	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	4
8.	3	Защита проектов	4
9.	4	Зачет за 2 полугодие	4

2 год

Описание содержания

№	Название раздела	Содержание раздела (теория и практика)	
1.	Вводное занятие.	Т.	Инструктаж по технике безопасности.

	Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	П.	Сдача летней серии
2.	Давление	Т.	Сила давления (определение). Давление твердого тела (определение, формула). Способы изменения давления (примеры) и их применение. Сходство и различие в возникновении давления твёрдых тел, жидкостей и газов. Гидростатическое давление (определение, формула). Сходство и различие в возникновении давления твёрдых тел, жидкостей и газов. Гидростатический парадокс. Опыт Паскаля. Сила гидростатического давления (определение, формула). Атмосферное давление. Изменение атмосферного давления с высотой. Барометр-анероид (устройство, принцип действия).
		П.	Измерение давления цилиндра. Измерение давления человека. Решение задач по теме Исследовать зависимость давления постоянной массы газа от его объема при постоянной температуре. Определить величину атмосферного давления. Решение задач по теме
3.	Рычаги	Т.	Равновесие рычага под действием сил. Равновесие рычага под действием нескольких сил. Рычаги 1 и 2 родов. Правило моментов.
		П.	Измерение массы купюры 100 руб. Измерение плотности цилиндра. Измерение плотности неизвестной жидкости. Измерение плотности линейки. Измерение массы линейки и объема гайки. Гидростатическое взвешивание при помощи рычага. Решение задач по теме.
4.	Механическая работа	Т.	Работа силы (определение, формула). Примеры механического движения, при котором работа силы положительная, отрицательная, равна нулю. Работа силы тяжести при спуске (подъеме) по наклонной плоскости и по произвольной траектории (вывод формулы). КПД. К.П.Д. блока, рычага и наклонной плоскости. Работа сил при равномерном подъеме бруска по наклонной плоскости.
		П.	Получение зависимости КПД наклонной плоскости от угла наклона Решение задач по теме.
5.	Зачет за 1 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы.
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания.

6.	Механическая энергия. Закон сохранения энергии	Т.	<p>Кинетическая энергия тела (определение, формула). Теорема о кинетической энергии (формулировка, вывод по желанию).</p> <p>Потенциальная энергия пары взаимодействующих тел (определение, формулы для взаимодействия с Землей вблизи ее поверхности, пружиной, водой, планетой). Теорема о потенциальной энергии (формулировка, доказательство).</p> <p>Механическая энергия (формула). Закон сохранения механической энергии для замкнутых систем.</p>
		П.	<p>Проверка закона сохранения энергии М.Т. несколькими способами.</p> <p>Решение задач по теме.</p>
7.	Тепловые явления	Т.	<p>Атом. Молекула. Примеры простых и сложных веществ (по три примера). Основные положения МКТ (формулировка). Экспериментальные подтверждения каждого положения (по три примера). Строение твёрдых, жидких и газообразных веществ. Объяснение свойств веществ в разных агрегатных состояниях с точки зрения МКТ.</p> <p>Внутренняя энергия тела (определение, формула). Сравнение внутренней энергии вещества в твёрдом, жидком и газообразном состояниях. Изменение внутренней энергии при нагревании/охлаждении, плавлении/отвердевании, кипении/конденсации (формулы).</p> <p>Уравнение теплового баланса (формулировка, доказательство). Превращение механической энергии во внутреннюю. Первое начало термодинамики (без вывода). Превращение внутренней энергии в механическую. Второе начало термодинамики (без вывода). Примеры выполнения первого и второго начал ТД.</p> <p>Температура. Температурные шкалы. Способы изменения внутренней энергии тела (перечислить, привести примеры). Скорость теплопередачи (закон Ньютона-Рихмана). Ощущения «горячо-холодно» с точки зрения теплопередачи. Тепловая мощность (определение, единицы измерения). КПД теплового процесса (формула). Горение (определение, примеры). Удельная теплота сгорания топлива (определение, примеры). Устройство и принцип действия тепловых двигателей (ДВС, двигатель Стирлинга). КПД теплового двигателя.</p>
		П.	<p>Определение средней скорости движения молекул водяного пара в воздухе при комнатной температуре.</p> <p>Построение графика зависимости температуры воды от времени.</p> <p>Наблюдение остывания воды.</p> <p>Измерение тепловой мощности электрической плитки.</p> <p>Измерение удельной теплоты кипения воды.</p> <p>Измерение удельной теплоты плавления льда.</p> <p>Измерение удельной теплоёмкости металлического цилиндра.</p> <p>Проверка уравнения теплового баланса.</p> <p>Решение задач по теме.</p>

8.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	Т.	Правила оформления результатов работы. Навыки публичного выступления
		П.	Предзащита проекта
9.	Защита проектов	Т.	-
		П.	Презентация проекта.
10.	Зачет за 2 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы.
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания.

Календарно-тематическое планирование

№	Неделя	Раздел, тема	Количество часов
Сентябрь			
1.	1	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	4
2.		Давление	20
2.1.	2	Давление твердых тел	4
2.2.	3	Давление жидкостей	4
2.3.	4	Гидростатический парадокс	4
Октябрь			
2.4.	1	Молекулярное строение твердых тел, жидкостей и газов	4
2.5.	2	Атмосферное давление. Газовые законы	4
3.		Рычаги	20
3.1.	3	Момент силы	4
3.2.	4	Рычаг первого рода	4
Ноябрь			
3.3.	1	Рычаг второго рода	4
3.4.	2	Гидростатическое взвешивание с рычагом	4
3.5.	3	Олимпиадный практикум	4
4.		Механическая работа	16
4.1.	4	Работа постоянных сил	4
Декабрь			
4.2.	1	Работа переменных сил	4
4.3.	2	Работа силы упругости	4
4.4.	3	Простые механизмы	4
5.	4	Зачет за 1 полугодие	4
Январь			
6.		Механическая энергия. Закон сохранения энергии	12
6.1.	1	Механическая энергия	4
6.2.	2	Олимпиадный практикум	4

6.3.	3	Олимпиадный практикум	4
7.		Тепловые явления	52
7.1.	4	Внутренняя энергия и температура	4
Февраль			
7.2.	1	Тепловые потери. Мгновенная мощность	4
7.3.	2	Закон Ньютона-Рихмана	4
7.4.	3	Фазовые переходы	4
7.5.	4	Графики фазовых переходов	4
Март			
7.6.	1	Горение	4
7.7.	2	Олимпиадный практикум	4
7.8.	3	Олимпиадный практикум	4
7.9.	4	Олимпиадный практикум	4
Апрель			
7.10.	1	Олимпиадный практикум	4
7.11.	2	Олимпиадный практикум	4
7.12.	3	Олимпиадный практикум	4
7.13.	4	Олимпиадный практикум	4
Май			
8.		Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	8
8.1.	1	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	4
8.2.	2	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	4
9.	3	Защита проектов	4
10.	4	Зачет за 2 полугодие	4

3 год

Описание содержания

№	Название раздела	Содержание раздела (теория и практика)	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	Т.	Инструктаж по технике безопасности.
		П.	Сдача летней серии.
2.	Повторение. Методы измерений	Т.	Основные методы измерений в физическом эксперименте. Методы обработки экспериментальных данных. Теория погрешностей.
		П.	Нахождение отношения размеров малых тел (диаметра булавок).
3.	Электрические явления	Т.	Заряд (определение, виды, примеры). Закон Кулона (формула, чертеж). Взаимодействие зарядов.

		<p>Электрическое поле (определение). Графическое изображение электрического поля. Напряженность поля (определение, формула). Электрическое поле точечного заряда и бесконечной равномерно заряженной пластины. Сила тока (определение, формула). Напряжение (определение, формула). Сопротивление и проводимость (определение, формула). Удельное сопротивление и удельная проводимость. Связь сопротивления и проводимости с геометрическими размерами. Резистор с подвижным контактом и способы его включения в цепь. Устройство и принцип действия гальванического элемента. ЭДС (определение, формула). Закон Ома для полной цепи.</p> <p>Последовательное, параллельное соединение резисторов. Соединения звездой и треугольником. Соединение типа «мост». Закон Ома для участка цепи. Законы последовательного и параллельного соединения резисторов в цепи постоянного тока.</p> <p>В.А.Х. Линейные и нелинейные элементы. В.А.Х. резистора, диода, лампочки и гальванического элемента. Определение сопротивления и проводимости линейного элемента по В.А.Х. Дифференциальное сопротивление нелинейного элемента и способ его определения по В.А.Х.</p> <p>Электрическая цепь и электрическая схема (определения). Условные обозначения элементов электрической цепи (примеры). Виды источников питания электрических цепей и их условные обозначения на схемах. Электро-механическая, -гидродинамическая и -тепловая аналогии. Строение атома. Сходство и различие в строении проводников, полупроводников и диэлектриков. Правила измерения мультиметром. Правила техники безопасности при измерении электрических величин.</p>
		<p>П. Оценка количества избыточных электронов при электризации металлического шарика.</p> <p>Проверка законов последовательного соединения.</p> <p>Проверка законов параллельного соединения.</p> <p>Измерение сопротивления резистора.</p> <p>Снятие ВАХ резистора и определение его сопротивления по ВАХ.</p> <p>Снятие ВАХ гальванического элемента и определение его внутреннего сопротивления и ЭДС по ВАХ.</p> <p>Снятие ВАХ лампочки и определение ее сопротивления в холодном и горячем состояниях.</p> <p>Снятие ВАХ светодиода. Дифференциальное сопротивление диода при положительных и отрицательных напряжениях.</p> <p>Решение задач по теме.</p>
4.	Зачет за 1 полугодие	<p>Т. Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы.</p>

		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания.
5.	Световые явления	Т.	<p>Источники света (виды, примеры), световой луч (определение). Скорость света в вакууме и в веществе. Теорема Ферма. Закон распространения света в оптически однородной среде. Тень и полутень (построение). Зоны видности (построение).</p> <p>Зеркала (виды, примеры). Закон отражения света. Построение изображения в плоском зеркале с помощью циркуля и линейки без делений. Зоны видности (построение).</p> <p>Абсолютный показатель преломления света. Относительный показатель преломления. Закон преломления света. Построение преломленного луча с помощью циркуля и линейки. Образование миражей. Искажение расстояний до предметов при наблюдениях из воздуха в воду и из воды в воздух (вывод формул). Видимый (угловой) размер. Радианная мера угла. Суточный и годовой параллакс. Астрономическая единица и парсек. Определение размеров тел солнечной системы и расстояний до далеких звезд (вывод формул).</p> <p>Линзы (виды, примеры). Тонкая линза. Фокус (определение). Оптическая сила (формула). Формула (Гаусса и Ньютона) тонкой линзы. Правило знаков. Типы изображений. Увеличение линзы (определение, формула). Графики $\Gamma(d)$ для собирающей и рассеивающей линзы.</p> <p>Устройство и принцип действия микроскопа. Устройство и принцип действия телескопов Галилея и Кеплера. Правила техники безопасности при работе с лазером и наблюдениями за Солнцем.</p>
		П.	<p>Измерение абсолютного показателя преломления стекла, из которого изготовлен круглый полуцилиндр, с помощью источника света.</p> <p>Измерение абсолютного показателя преломления стекла, из которого изготовлена плоско-параллельная пластинка, с помощью источника света.</p> <p>Измерение абсолютного показателя преломления стекла, из которого изготовлен круглый полуцилиндр, путем наблюдения полного внутреннего отражения света.</p> <p>Измерение абсолютного показателя преломления стекла, из которого изготовлена плоско-параллельная пластинка, без источника света.</p> <p>Измерение абсолютного показателя преломления воды с помощью источника света.</p> <p>Измерение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы с помощью получения действительного изображения на экране.</p> <p>Измерение фокусного расстояния и оптической силы рассеивающей линзы с помощью короткофокусной собирающей линзы.</p> <p>Измерение фокусного расстояния и оптической силы</p>

			рассеивающей линзы с помощью длиннофокусной собирающей линзы. Решение задач по теме.
6.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	Т.	Правила оформления результатов работы. Навыки публичного выступления
		П.	Предзащита проекта
7.	Защита проектов	Т.	-
		П.	Презентация проекта.
8.	Зачет за 2 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания

Календарно-тематическое планирование

№	Неделя	Раздел, тема	Количество часов
Сентябрь			
1.	1	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	6
2.	2	Повторение. Методы измерений	6
3.		Электрические явления	90
3.1.	3	Электрическое сопротивление	6
3.2.	4	Удельное сопротивление	6
Октябрь			
3.3.	1	Эквивалентные схемы. Звезда и треугольник.	6
3.4.	2	Электрическое поле. Напряженность. Потенциальная энергия. Потенциал	6
3.5.	3	Напряжение. ЭДС. Источники тока и напряжения. Закон Ома	6
3.6.	4	Расстановка токов. Симметрия	6
Ноябрь			
3.7.	1	Закон Ома для полной цепи. В.А.Х. резистора.	6
3.8.	2	В.А.Х. резистора.	6
3.9.	3	ВАХ нелинейных элементов и смешанные соединения. Дифференциальное и статическое сопротивления	6
3.10	4	Диод	6
Декабрь			
3.11	1	Мощность тока.	6
3.12	2	Олимпиадный практикум	6
3.13	3	Олимпиадный практикум	6
3.14	4	Зачет за 1 полугодие	6
Январь			
3.15	1	Реальные измерительные приборы.	6
3.16	2	Правила Кирхгофа	6

4.		Световые явления	84
4.1.	3	Световые явления. Прямолинейное распространение света в однородной среде.	6
4.2.	4	Угловой (видимый) размер. Тень	6
Февраль			
4.3.	1	Закон отражения света. Плоское зеркало	6
4.4.	2	Закон преломления света.	6
4.5.	3	Методы измерения показателя преломления	6
4.6.	4	Виды линз. Формула тонкой линзы	6
Март			
4.7.	1	Система линз	6
4.8.	2	Система «линза + зеркало»	6
4.9.	3	Микроскоп и телескоп.	6
4.10.	4	Олимпиадный практикум	6
Апрель			
4.11.	1	Олимпиадный практикум	6
4.12.	2	Олимпиадный практикум	6
4.13.	3	Олимпиадный практикум	6
4.14.	4	Олимпиадный практикум	6
Май			
5.		Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	12
5.1.	1	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
5.2.	2	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
6.	3	Защита проектов	6
7.	4	Зачет за 2 полугодие	6

4 год

Описание содержания

№	Название раздела	Содержание раздела (теория и практика)	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ	Т.	Инструктаж по технике безопасности.
		П.	Сдача летней серии.
2.	Повторение. Методы измерений	Т.	Абсолютная и относительная погрешности. Правила вычисления погрешности косвенных измерений. Основные правила построения графиков экспериментальных зависимостей.
		П.	Определение ускорения свободного падения (с помощью нитяного маятника). Задания на обработку экспериментальных данных (линеаризация, нахождение погрешности по графику).
3.	Повторение. Тепловые явления	Т.	Уравнение теплового баланса Закон Ньютона-Рихмана.

		П.	Выполнение заданий экспериментальных туров региональных и заключительных этапов Всероссийской олимпиады школьников. Решение задач по теме.
4.	Повторение. Электрические явления	Т.	Методы расчета электрических цепей. Электрический ток в электролитах. Нелинейные элементы.
		П.	Выполнение заданий экспериментальных туров региональных и заключительных этапов Всероссийской олимпиады школьников. Решение задач по теме.
5.	Зачет за 1 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы.
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания.
6.	МКТ и термодинамика	Т.	Основные положения МКТ и их опытное обоснование. Масса атома, относительная атомная масса. Масса молекулы, относительная молекулярная масса. Молярная масса. Количество вещества однокомпонентной смеси. Удельный объем. Число Авогадро. Число Лошмидта. Модель идеального газа. Опыт Штерна. Основное уравнение МКТ идеального газа (вывод). Закон Авогадро. Закон Дальтона. Средняя молярная масса. Количество вещества при диссоциации. Принцип Ле-Шателье. Формула Вант-Гоффа. Термодинамическая система и её параметры. Квазистатический процесс. Уравнение Менделеева-Клапейрона для идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса для реального газа. Связь между малыми относительными изменениями ТД параметров идеального газа (вывод). Изотермический, изохорный, изобарный, адиабатный процессы. Графики изо процессов. Законы Бойля-Мариотта, Шарля, Гей-Люссака. Уравнение Пуассона. Внутренняя энергия идеального газа. Истечение газа в пустоту. Истечение газа в атмосферу. Первое начало термодинамики (формулировка). Молярная теплоёмкость в изотермическом, изобарном, изохорном, адиабатном и произвольном процессах. Формула Майера. Политропный процесс. Физический смысл площади под графиком $p(V)$. Физический смысл площади под графиком $c(T)$. Водяной пар. Насыщенный и ненасыщенный водяной пар. Изотерма, изохора, изобара водяного пара. Сухой и влажный воздух. Абсолютная и относительная влажность воздуха. Точка росы. Способы измерения влажности.
		П.	Исследование изотермического процесса. Исследование изобарного процесса.

			Исследование изохорного процесса. Измерение массовой доли воды и льда в смеси. Измерение диаметра иглы. Измерение коэффициента обтекаемости тела. Решение задач по теме.
7.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	Т.	Правила оформления результатов работы. Навыки публичного выступления
		П.	Предзащита проекта
8.	Защита проектов	Т.	-
		П.	Презентация проекта.
9.	Зачет за 2 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы.
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания.

Календарно-тематическое планирование

№	Неделя	Раздел, тема	Количество часов
Сентябрь			
1.	1	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	6
2.		Повторение. Методы измерений	30
2.1.	2	Методы уменьшения погрешности	6
2.2.	3	Виды погрешностей. Расчет абсолютной и относительной погрешности	6
2.3.	4	Графики. Методы линеаризации	6
Октябрь			
2.4.	1	Приёмы измерений	6
2.5.	2	Разложение сил	6
3.		Повторение. Тепловые явления	12
3.1.	3	Уравнение теплового баланса	6
3.2.	4	Закон Ньютона-Рихмана	6
Ноябрь			
4.		Повторение. Электрические явления	42
4.1.	1	Методы расчета электрических цепей	6
4.2.	2	Электрический ток в электролитах	6
4.3.	3	Нелинейные элементы	6
4.4.	4	Олимпиадный практикум	6
Декабрь			
4.5.	1	Олимпиадный практикум	6
4.6.	2	Олимпиадный практикум	6
4.7.	3	Олимпиадный практикум	6
5.	4	Зачет за 1 полугодие	6

Январь			
6.		МКТ и термодинамика	96
6.1.	1	Основные положения МКТ	6
6.2.	2	Газовые законы. Уравнение Менделеева-Клапейрона	6
6.3.	3	Изотермический, изобарный, изохорный процессы	6
6.4.	4	Графики изо процессов	6
Февраль			
6.5.	1	Осмоз	6
6.6.	2	Начала термодинамики. Теплоемкость	6
6.7.	3	Полиτροпные процессы	6
6.8.	4	Виды деформаций. Диаграмма напряжений. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона. Коэффициент жёсткости	6
Март			
6.9.	1	Молекулярная картина теплового расширения. Линейное и объемное расширение	6
6.10.	2	Поверхностная энергия, коэффициент поверхностного натяжения	6
6.11.	3	Смачивание, капиллярность. Давление Лапласа	6
6.12.	4	Олимпиадный практикум	6
Апрель			
6.13.	1	Олимпиадный практикум	6
6.14.	2	Олимпиадный практикум	6
6.15.	3	Олимпиадный практикум	6
6.16.	4	Олимпиадный практикум	6
Май			
7.		Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	12
7.1.	1	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
7.2.	2	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
8.	3	Защита проектов	6
9.	4	Зачет за 2 полугодие	6

5 год

Описание содержания

№	Название раздела	Содержание раздела (теория и практика)	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ	Т.	Инструктаж по технике безопасности.
		П.	Сдача летней серии.
2.	Обработка экспериментальных данных	Т.	Десятичный и натуральный логарифм и его применение для вычисления степени числа. Логарифмическая и полулогарифмическая шкала.
		П.	Псевдоэксперимент с использованием логарифмирования при линейризации.

3.	Конденсаторы. Свойства RC-цепей постоянного тока	Т.	<p>Заряд (определение, виды, примеры). Свободные и связанные заряды. Сходство и различие в строении проводников, полупроводников и диэлектриков. Электрическое поле внутри заряженных проводников и диэлектриков. Индуцированный заряд на пластинах конденсатора. Поляризационный заряд диэлектрика вблизи пластин конденсатора.</p> <p>Электрическое поле (определение). Графическое изображение электрического поля. Напряженность поля (определение, формула). Теорема Гаусса (формулировка). Электрическое поле точечного заряда, равномерно заряженной сферы и бесконечной равномерно заряженной пластины (вывод).</p> <p>Электрический потенциал (определение, формула). Графическое изображение потенциала поля. Потенциал точечного заряда, равномерно заряженной сферы и бесконечной равномерно заряженной пластины (вывод).</p> <p>Электрическая ёмкость проводника (определение, формула, единица измерения). Ёмкость системы проводников. Конденсатор (определение, виды, примеры). Связь ёмкости плоского конденсатора с геометрическими размерами (вывод). Последовательное, параллельное соединение конденсаторов. Соединения звездой и треугольником. Соединение типа «мост». Закон сохранения заряда для изолированного узла. Законы последовательного и параллельного соединения конденсаторов в цепи постоянного напряжения. Соединения предварительно заряженных конденсаторов. Переходные процессы в цепи с конденсатором (З.С.Э.). Зависимость силы тока зарядки и разрядки конденсатора от времени (вывод формул, графики).</p>
		П.	<p>Измерение заряда и ёмкости конденсатора в цепи постоянного напряжения.</p> <p>Измерение сопротивления утечки электролитического конденсатора.</p> <p>Решение задач по теме.</p>
4.	Нелинейные электрические элементы	Т.	<p>В.А.Х. Линейные и нелинейные элементы. В.А.Х. резистора, диода (идеального, идеального с напряжением открытия, идеализированного, реального), лампочки и гальванического элемента. Определение сопротивления и проводимости линейного элемента по В.А.Х. Дифференциальное и статическое сопротивления нелинейного элемента и способ их определения по В.А.Х.</p>
		П.	<p>Экспериментальное получение и исследование ВАХ различных нелинейных элементов.</p> <p>Решение задач по теме.</p>
5.	Зачет за 1 полугодие	Т.	<p>Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы.</p>
		П.	<p>Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и</p>

			экспериментальные задания.
6.	Переменный ток. Свойства RC-цепей переменного тока	Т.	<p>Переменный электрический ток (определение). Аналитический, графический, диаграммный и символический способы задания силы тока и напряжения в цепи переменного тока при а) последовательном; б) параллельном соединении элементов.</p> <p>Резистор в цепи переменного тока (схема цепи, вывод формул четырьмя способами). Действующие значения тока и напряжения (вывод). Мощность цепи с резистором (формула).</p> <p>Конденсатор в цепи переменного тока (схема цепи, вывод формул четырьмя способами). Мощность цепи с конденсатором (формула).</p> <p>Параллельное и последовательное соединения конденсатора и резистора в цепи переменного тока (схема цепи, вывод формул четырьмя способами). Активная, реактивная и полная мощности (определение, связь между ними).</p> <p>А.Ч.Х. Дифференциаторы и интеграторы. Фильтры низких и высоких частот и их применения.</p> <p>Техника безопасности при измерениях на переменном токе.</p> <p>Комплексные числа. Формы записи, их эквивалентность. Операции с комплексными числами и их свойства.</p>
		П.	<p>Измерение реактивного сопротивления и ёмкости конденсатора в цепи переменного тока.</p> <p>Измерение действующего и амплитудного значений переменного напряжения.</p> <p>Измерение коэффициента мощности цепи переменного тока.</p>
7.	Магнетизм. Электромагнитная индукция	Т.	<p>Магнитное поле. Вектор магнитной индукции. Взаимодействие постоянных магнитов. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Самоиндукция. Индуктивность. Катушка индуктивности. Энергия магнитного поля катушки.</p>
		П.	<p>Изучение взаимодействия постоянных магнитов. Исследование магнитного поля катушки с током. Исследование магнитного поля Земли. Экспериментальное определение индуктивности катушки. Решение задач по теме.</p>
8.	Свойства RLC-цепей переменного тока	Т.	<p>Резистор в цепи переменного тока (сила тока, напряжение, мощность).</p> <p>Конденсатор в цепи переменного тока (сила тока, напряжение, мощность).</p> <p>Дроссель сопротивление в цепи переменного тока (сила тока, напряжение, мощность).</p> <p>Последовательная и параллельная RLC-цепь. Фильтры.</p>
		П.	Экспериментальное исследование RLC-цепей

			постоянного и переменного тока. Решение задач по теме.
9.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	Т.	Правила оформления результатов работы. Навыки публичного выступления
		П.	Предзащита проекта
10.	Защита проектов	Т.	-
		П.	Презентация проекта.
11.	Зачет за 2 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы.
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания.

Календарно-тематическое планирование

№	Неделя	Раздел, тема	Количество часов
Сентябрь			
1.	1	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Прием летней серии	6
2.	2	Обработка экспериментальных данных	6
3.		Конденсаторы. Свойства RC-цепей постоянного тока	48
3.1.	3	Электрическое поле. Проводники в электрическом поле	6
3.2.	4	Диэлектрики в электрическом поле	6
Октябрь			
3.3.	1	Электрическая ёмкость уединенного проводника. Ёмкость системы проводников	6
3.4.	2	Последовательное соединение конденсаторов. Параллельное соединение конденсаторов	6
3.5.	3	Правила Кирхгофа для цепей с конденсаторами	6
3.6.	4	Переходные процессы в цепях с конденсаторами	6
Ноябрь			
3.7.	1	Законы коммутации	6
3.8.	2	Конденсатор с утечкой	6
4.		Нелинейные электрические элементы	30
4.1.	3	Ток в вакууме. Термоэлектронная эмиссия. ВАХ вакуумных ламп	6
4.2.	4	Полупроводник. Чистая и примесная проводимость	6
Декабрь			
4.3.	1	Полупроводниковый диод	6
4.4.	2	Полупроводниковый транзистор	6
4.5.	3	Переменный электрический ток	6
5.	4	Зачет за 1 полугодие	6
Январь			
6.		Переменный ток. Свойства RC-цепей переменного тока	30

6.1.	1	Резистор в цепи переменного тока	6
6.2.	2	Конденсатор в цепи переменного тока	6
6.3.	3	Последовательное и параллельное соединение конденсатора и резистора в цепи переменного тока	6
6.4.	4	Амплитудно-частотная характеристика. Фильтры	6
Февраль			
6.5.	1	Олимпиадный практикум	6
7.		Магнетизм. Электромагнитная индукция	36
7.1.	2	Магнитное поле. Индукция магнитного поля	6
7.2.	3	Магнитный диполь. Взаимодействие постоянных магнитов	6
7.3.	4	Действие магнитного поля на проводник с током	6
Март			
7.4.	1	Электромагнитная индукция	6
7.5.	2	Самоиндукция. Индуктивность	6
7.6.	3	Переходные процессы в цепи с дросселем	6
8.		Свойства RLC-цепей переменного тока	30
8.1.	4	Дроссель в цепи ПТ	6
Апрель			
8.2.	1	Смешанные RLC-цепи. Резонанс	6
8.3.	2	Мощность в цепи ПТ	6
8.4.	3	Олимпиадный практикум	6
8.5.	4	Олимпиадный практикум	6
Май			
9.		Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	12
9.1.	1	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
9.2.	2	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
10.	3	Защита проектов	6
11.	4	Зачет за 2 полугодие	6

6 год

Описание содержания

№	Название раздела	Содержание раздела (теория и практика)	
1.	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ	Т.	Инструктаж по технике безопасности.
		П.	Сдача летней серии.
2.	Обработка экспериментальных данных	Т.	Метод наименьших квадратов. Коэффициенты Стьюдента. Линеаризация.
		П.	Псевдоэксперимент на обработку данных.
3.	Механические колебания	Т.	Математический маятник. Физический маятник. Уравнение свободных колебаний, его решение. Биения. Фигуры Лиссажу. Вынужденные колебания. Уравнение вынужденных колебаний, его решение.

		П.	Исследование маятника Максвелла. Исследование пружинного маятника. Исследования колебаний во взаимноперпендикулярных направлениях.
4.	Геометрическая оптика	Т.	Принцип Ферма. Образование тени и полутени. Законы отражения света. Плоское зеркало. Системы плоских зеркал. Сферическое зеркало. Построение изображений в сферических зеркалах. Законы преломления света. Тонкие линзы. Построение изображений в тонких линзах. Прохождение света через системы линз и зеркал.
		П.	Экспериментальное определение оптической силы собирающих и рассеивающих линз, систем линз. Применение формулы Бесселя. Решение задач по теме.
5.	Фотометрия	Т.	Поляризация света. Закон Маллюса. Свойства поляроидов. Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта-Бэра. Первый и второй законы освещенности.
		П.	Изучение работы фотоэлектрического преобразователя Проверка закона поглощения света Изучение зависимости освещенности объекта от расстояния до источника тока Изучение зависимости освещенности от угла падения световых лучей
6.	Зачет за 1 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания
7.	Волновая оптика	Т.	Интерференция света (определение, примеры). Интерференция на щели и на двух отверстиях. Дифракция света. Дифракционная решетка. Дисперсия света. Спектры и спектральные аппараты. Виды спектров. Спектральный анализ. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучения. Рентгеновские лучи. Виды излучений. Источники света.
		П.	Определение длины волны лазера с помощью дифракционной решетки. Определение длины волны лазера в опыте Юнга. Исследование отражающей поверхности с помощью лазера. Проверка закона Малюса. Изучение зависимости освещенности объекта от расстояния до источника света.

8.	Квантовая физика	Т.	тоэффект. Теория фотоэффекта. Фотоны. вление света. Опыт Лебедева. Эффект Комптона Строение атома. Опыты Резерфорда. Квантовые постулаты Бора. Модель атома водорода по Бору. Лазеры Квантовые свойства частиц микромира. Волна Де Бройля. Энергия, импульс фотонов. Давление света. Дифракция электронов.
		П.	Определение постоянной Планка. Построение камеры Вильсона. Определение свойств частиц по трекам. Решение задач по теме.
9.	Олимпиадный практикум	Т.	-
		П.	Выполнение заданий экспериментальных туров региональных и заключительных этапов Всероссийской олимпиады школьников
10.	Подготовка к защите проектных и исследовательских работ	Т.	Правила оформления результатов работы. Навыки публичного выступления
		П.	Предзащита проекта
11.	Защита проектов	Т.	-
		П.	Презентация проекта
12.	Зачет за 2 полугодие	Т.	Устный зачет по билетам, включающий в себя теоретические вопросы
		П.	Устный зачет по билетам, включающий в себя задачи и экспериментальные задания

Календарно-тематическое планирование

№	Неделя	Раздел, тема	Количество часов
Сентябрь			
1.	1	Вводное занятие. Инструктаж по ТБ. Летнее задание	6
2.	2	Обработка экспериментальных данных	6
3.		Механические колебания	18
3.1.	3	Математический маятник. Физический маятник	6
3.2.	4	Биения. Фигуры Лиссажу	6
Октябрь			
3.3.	1	Уравнение вынужденных колебаний	6
4.		Геометрическая оптика	30
4.1.	2	Отражение света. Плоские и сферические зеркала. Движение изображения в зеркале	6
4.2.	3	Преломление света на плоских поверхностях. Преломление	6

		на сферических поверхностях	
4.3.	4	Тонкие линзы. Движение изображения в линзе	6
Ноябрь			
4.4.	1	Системы линз и зеркал	6
4.5.	2	Глаз. Лупа. Очки. Камера-обскура. Фотоаппарат. Микроскоп и телескоп	6
5.		Фотометрия	30
5.1.	3	Устройство и принцип действия полупроводникового фоторезистора	6
5.2.	4	Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта-Бэра	6
Декабрь			
5.3.	1	Первый и второй законы освещенности	6
5.4.	2	Поляризация света. Свойства поляроидов	6
5.5.	3	Олимпиадный практикум	6
6.	4	Зачет за 1 полугодие	6
Январь			
7.		Волновая оптика	18
7.1.	1	Интерференция света	6
7.2.	2	Дифракция света. Дифракционная решетка	6
7.3.	3	Дисперсия света. Дифракция на кристаллах	6
8.		Квантовая физика	24
8.1.	4	Атом водорода по Бору	6
Февраль			
8.2.	1	Формула Эйнштейна для фотоэффекта	6
8.3.	2	Уравнение радиоактивного распада	6
8.4.	3	Элементарные частицы и их классификация	6
9.		Олимпиадный практикум	42
9.1.	4	Олимпиадный практикум	6
Март			
9.2.	1	Олимпиадный практикум	6
9.3.	2	Олимпиадный практикум	6
9.4.	3	Олимпиадный практикум	6
9.5.	4	Олимпиадный практикум	6
Апрель			
9.6.	1	Олимпиадный практикум	6
9.7.	2	Олимпиадный практикум	6
10.		Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	24
10.1.	3	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
10.2.	4	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
Май			
10.3.	1	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
10.4.	2	Подготовка к защите исследовательских и проектных работ	6
11.	3	Защита проектов	6
12.	4	Зачет за 2 полугодие	6

12. Оценочные и методические материалы:

Педагогические методики и технологии

Занятия по данной программе предполагают сочетание двух основных форм работы: лекционную и практическую. Семинарская часть занятия включает в себя различные технологии критического мышления, технологии, связанные с большой долей самостоятельной индивидуальной и групповой работы учащихся.

Система контроля результативности обучения:

Входной контроль - *проводится при наборе или на начальном этапе формирования коллектива – изучение отношения ребенка к выбранной деятельности, его способности и достижения в этой области, личностные качества ребенка*

- Вступительная олимпиада;
- Сертификат по итогам предыдущего года обучения;
- Сдача задач летнего домашнего задания;
- Призер (победитель) заключительного этапа олимпиад из Перечня олимпиад Министерства образования и науки;
- Призер (победитель) заключительного или регионального этапа Всероссийской олимпиады им. Дж. К. Максвелла (7-8 классы);
- Призер (победитель) заключительного или регионального этапа Всероссийской школьников по физике (9-11 классы)

Текущий контроль - *проводится в течение года, возможен на каждом занятии*

- Беседа с учащимися по теме занятия (внешний контроль);
- Устная сдача задач решенной серии предыдущего занятия (с элементами взаимоконтроля);
- Письменное решение задач в конце занятия (с элементами самоконтроля)
- Оформление отчета о выполнении экспериментального задания (с элементами самоконтроля)

Промежуточный контроль – *проводится по окончании изучения темы, в конце полугодия, года*

- Мини-олимпиада по изученной теме;
- Успешное участие в олимпиадах по физике за свой класс (год обучения) или старше (по графику мероприятий отборочных туров);
- Успешная сдача зачета в конце первого полугодия, состоящего из двух частей (первая - по теоретическому материалу, вторая - практическая - проверка навыков решения задач и выполнения экспериментальных заданий)
- Участие в физбоях между учащимися городских кружков физики.

Итоговый контроль - *проводится в конце обучения по программе – проверка освоения программы, учет изменений качеств личности каждого ребенка*

- Успешная сдача зачета в конце учебного года, состоящего из двух частей (первая - по теоретическому материалу, вторая - практически по навыкам решения задач и выполнения экспериментальных заданий);

- Удовлетворенность учащихся и родителей знаниями (анкетирование): учащиеся и их родители удовлетворены содержанием и формами занятий, учащиеся и их родители удовлетворены характером взаимоотношений.

Литература для учащихся:

1. Физика. 7 кл.: учеб. для общеобразоват. учреждений / [Н.М. Шахмаев и др.]; под ред. Ю.И. Дика. - 2-е изд. - М.: Мнемозина, 2007. - 144 с.: ил.
2. Физика. 8 кл.: учеб. для общеобразоват. учреждений / Н.М. Шахмаев, А.В. Бунчук. - М.: Мнемозина, 2007. - 240 с.: ил.
3. Физика. 9 кл.: учеб. для общеобразоват. учреждений / Н.М. Шахмаев, А.В. Бунчук. - 4-е изд., стереотип. - М.: Мнемозина, 2011. - 232 с.: ил.
4. Козел С.М. Физика 10-11 кл.: Пособие для учащихся и абитуриентов. В 2-х частях. Часть 1. - М.: Мнемозина, 2010. - 288 с.: ил.
5. Козел С.М. Физика 10-11 кл.: Пособие для учащихся и абитуриентов. В 2-х частях. Часть 2. - М.: Мнемозина, 2010. - 171 с.: ил.
6. Яворский Б.М., Селезнев Ю.А. Физика. Справочное руководство. Для поступающих в вузы. М.: Физматлит, 2006.
7. Уоркер Дж. Физический фейерверк. - 2-е издание. Перевод с английского. / Под редакцией И.Ш. Слободецкого. — М.: Мир, 1988. — 298 с.: ил.
8. Варламов С. Д., Зильберман А. Р., Зинковский В. И. Экспериментальные задачи на уроках физики и физических олимпиадах.—М.: МЦНМО, 2009.—84 с.
9. Ланге В.Н. Экспериментальные физические задачи на смекалку. - М.: Наука, 1974. — 94 с. — (Библиотечка физико-математической школы).
10. Фейнман Ричард Ф. Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман! Биография. — Пер. с англ. Н.А. Зубченко, О.Л. Тиходеевой, М.Шифмана.
11. Сквайрс Дж. Практическая физика. - Учебное издание. / М.: Мир, 1971. — 248 с.: ил.
12. Ланге В.Н. Физические парадоксы и софизмы. Пособие для учащихся. - 3-е изд., перераб. — М.: Просвещение, 1978. — 176 с.

Литература для учителя:

1. Антипин И.Г. Экспериментальные задачи по физике в 6-7 кл. Пособие для учителя. М.: Просвещение, 1974.- 127с.
2. Баканина Л. П., Козел С. М., Белонучкин В. Е. (под ред. Козела С.М.) Сборник задач по физике. Для 10-11 классов с углубленным изучением физики. М.: Просвещение, 2011.

3. Козел С.М., Слободянин В.П. Физика. Всероссийские олимпиады. М.: Просвещение, 2009. Выпуск 1, Выпуск 2, Выпуск 3.
4. Варламов С. Д., Зильберман А. Р., Зинковский В. И. Экспериментальные задачи на уроках физики и физических олимпиадах.—М.: МЦНМО, 2009.—84 с.
5. Слободянюк А.И. Физическая олимпиада: экспериментальный тур. Без выходных данных. — 357 с.
6. Беляев Н.Р., Танатаров И. Введение в теорию приближенных вычислений. - Курс лекций. - М.: МФТИ, 2011. - 203 с.
7. Браверман Э.М. Обучение проведению наблюдений и экспериментов // Физика в школе. – 1985. – №5.
8. Кабардин О.Ф., Орлов В.А. Сборник экспериментальных заданий и практических работ по физике.– М.: АСТ Астрель Транзиткнига, 2005.
9. Каменецкий С.Е., Солодухин Н.А. Модели и аналогии в курсе физики средней школы. – М.: Просвещение, 1982.
10. Кембровский Г.С. Приближенные вычисления, методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в физике. – М.: Оракул, 1997.
11. Осипенко Л.Е., Лавриненко А.В. Организация исследовательской работы школьников: Методические рекомендации.– Мн.: МОИПК и ПКР и СО, 2002.
12. Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике. – М.: Просвещение, 1975.
13. Савенков А.И. Обучение детей умениям и навыкам проведения экспериментов // Одаренный ребенок. – 2003.–№5. – С. 64-75.

Интернет-ресурсы:

Построение графиков онлайн: $y(x)$ <http://yotx.ru/>

1. Расчёт и моделирование физических полей ELCUT <http://elcut.ru/index.htm>
2. Enter what you want to calculate or know about WolframAlfa <http://www.wolframalpha.com/>
3. Оформление экспериментального тура <http://www.physolymp.ru/prepare/experiment/>
4. Полезные материалы и советы специалистов (по материалам сайта Olimpiada.ru) <https://sites.google.com/site/physics239/2014-2015-ucebnyj-god/kruzok-ekfi/poleznye-materialy>
5. Архив журнала “Квант” <http://kvant.mccme.ru/>
6. Журнал “Потенциал” <http://potential.org.ru/>

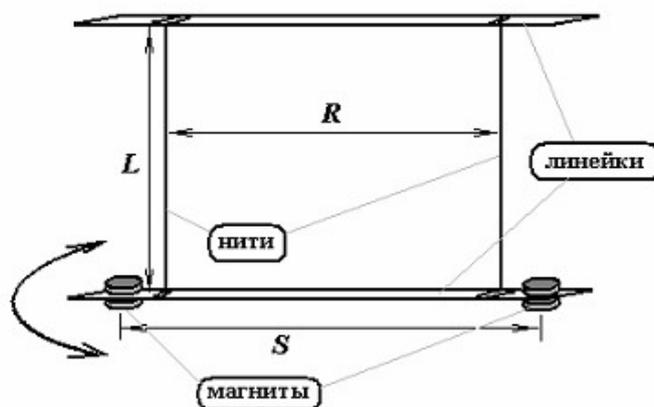
Пример экспериментального задания



Задача 7. Крутильные колебания.

Приборы и оборудование: Линейка ученическая длиной 40 см (2шт), нить, штатив с муфтой, секундомер, магниты керамические.

Закрепите в муфте штатива горизонтально расположенную линейку. С помощью двух нитей привяжите к ней вторую линейку, так, чтобы она также располагалась горизонтально. Линейка, подвешенная на двух параллельных нитях, может совершать крутильные колебания вокруг своей оси и является крутильным маятником. Чтобы колебания меньше затухали, прикрепите к нижней линейке керамические магниты, расположив их симметрично относительно середины линейки. Обозначим: R - расстояние между нитями; L - длины нитей; S - расстояние между центрами магнитов.



Вам необходимо исследовать зависимость периода крутильных колебаний данного маятника от его параметров.

Небольшая подсказка: зависимость периода колебаний от указанных параметров имеет вид

$$T = CR^\alpha L^\beta f(S), \quad (1)$$

где C - постоянный коэффициент, α, β - неизвестные показатели степеней; $f(S)$ - неизвестная функция зависящая от S и не зависящая от R и L .

Задания.

1. Исследуйте зависимость периода колебаний от расстояния между нитями. Определите показатель степени α .
2. Исследуйте зависимость периода колебаний от длины нитей. Определите показатель степени β .
3. Исследуйте зависимость периода колебаний от расстояния между центрами магнитов. Установите вид функции $f(S)$.
4. Качественно объясните полученные зависимости.

Комментарии к условию.

1. Не сложно подобрать оборудование для выполнения этой достаточно интересной задачи: вместо линеек можно использовать любые достаточно тяжелые стержни, магниты можно заменить кусками пластилина.

Обсуждение и решение.

Будем считать, что задача является чисто экспериментальной, и попытаемся определить требуемые зависимости на основании экспериментальных данных.

1. Проведем измерения зависимости периода круглых колебаний от расстояния между нитями (не изменяя при этом длины нитей и положения магнитов). Результаты измерений приведены в Таблице 1.

Таблица 1

$R, \text{ см}$	32	30	28	26	24	22	20	18
$T, \text{ с}$	1,85	1,98	2,05	2,28	2,35	2,60	2,91	3,40
$R, \text{ см}$	16	14	12	10	8	6	4	2
$T, \text{ с}$	3,61	3,80	4,94	5,40	7,18	10,2	15,5	34,0

Построим по этим данным график.

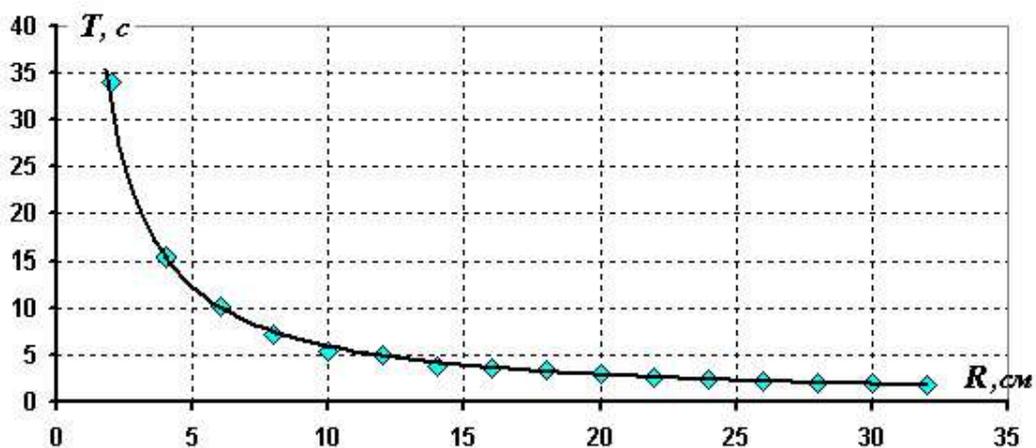


График 1. Зависимость периода колебаний от расстояния между нитями.

Хорошо видно, что при увеличении расстояния между нитями период колебаний убывает, поэтому показатель степени α отрицательный. Но чему он равен? Можно конечно попытаться угадать. Предположим, что $\alpha = -1$, то есть зависимость между периодом колебаний и расстоянием между нитями обратно пропорциональная. Для проверки этой гипотезы, линеаризуем ее, то есть построим

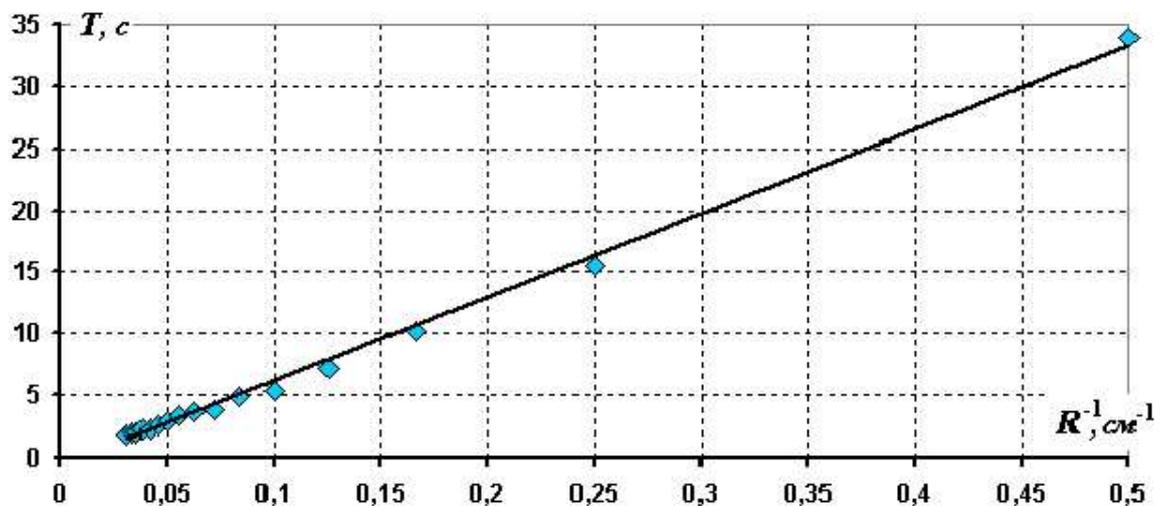


График 2. Обратная зависимость

график зависимости периода колебаний от величины обратной расстоянию $T\left(\frac{1}{R}\right)$.

Кажется, нам сразу повезло, потому что полученная зависимость близка к линейной, что подтверждает сделанное предположение. Однако, где гарантия того, что при другом показателе степени зависимость будет еще «более линейной».

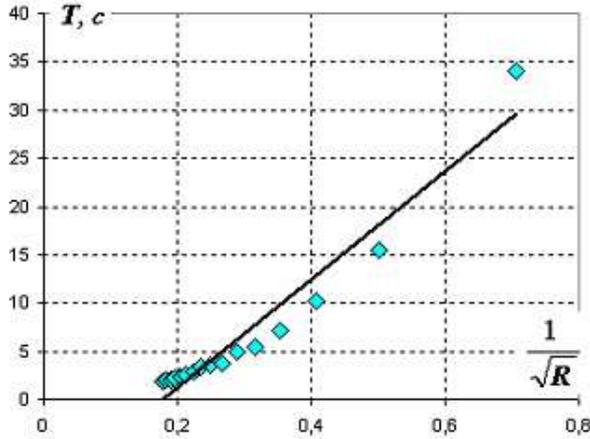


График 3. "Корневая" зависимость.

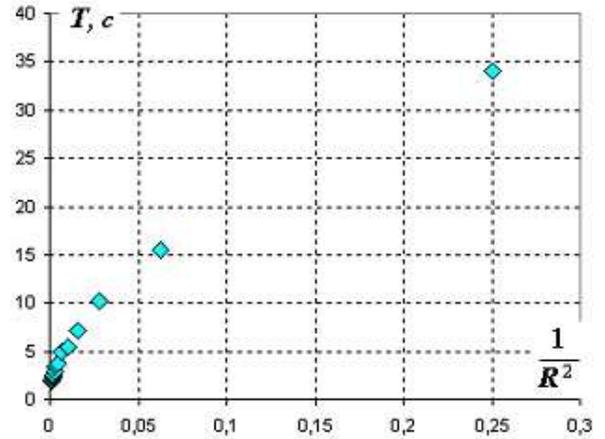


График 4. "Квадратичная зависимость"

Можно, конечно, попробовать⁶ и построить «корневую» $T\left(\frac{1}{\sqrt{R}}\right)$ или «квадратичную» $T\left(\frac{1}{R^2}\right)$ зависимости – они заметно хуже, так как дальше от прямой.

Чтобы не заниматься подбором, надо запомнить, что показатель степени проще всего определяется по графику в логарифмическом масштабе («log-log» scale). Действительно, если известно, что функциональная зависимость имеет вид $T = C_1 R^\alpha$, то ее следует прологарифмировать⁷:

$$\ln T = \ln C_1 + \alpha \ln R, \quad (1)$$

и построить график зависимости $\ln T(\ln R)$. График этой зависимости должен быть линейным, а коэффициент его наклона определяет искомый показатель степени. Поэтому он может быть найден либо непосредственно по графику, либо по методу наименьших квадратов. График исследуемой зависимости в логарифмическом масштабе подтверждает зависимость,

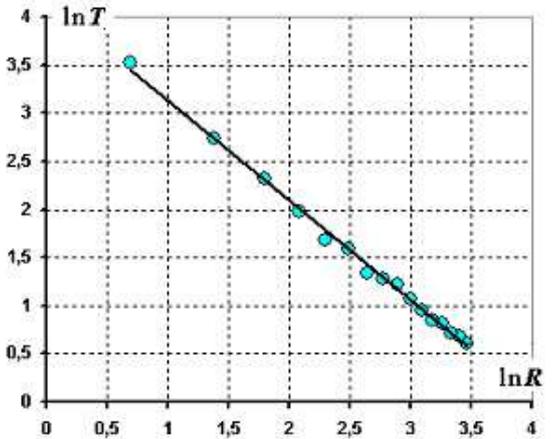


График 5. Логарифмический масштаб

⁶ Только, где взять время? Или компьютер!

⁷ Может быть кого-то пугает логарифм от размерной величины (а кого-то и просто логарифм). Не следует возмущаться – требуемый коэффициент наклона не зависит от выбора единиц измерения: действительно, переход к другим единицам (кратным, дольным) приведет к изменению значения свободного члена $\ln C_1$, но не изменит наклона графика. Поэтому указанная процедура законна и используется повсеместно.

приведенную в условии, так как экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую. Кроме того, непосредственно из графика следует, что коэффициент наклона

$$\frac{\Delta(\ln T)}{\Delta(\ln R)} \approx -1,$$

то есть период крутильных колебаний обратно пропорционален расстоянию между нитями. Для завершения обработки можно с помощью МНК определить коэффициенты линейной зависимости (1). Расчет этих параметров привел к результату $\alpha = -1,04 \pm 0,03$. Таким образом, вывод об обратной зависимости между T и R можно считать обоснованным экспериментально. Строго говоря, -1 чуть-чуть не попадает в указанный диапазон. Но, «природа не терпит сложностей», поэтому лучше признать незначительную ошибку в измерениях, и в качестве окончательного значения признать $\alpha = -1$.

2. Теперь проведем измерения периодов крутильных колебаний при различных значениях длин нитей (при неизменных остальных параметрах).

Таблица 2.

$L, \text{ см}$	69,0	61,0	52,5	49,0	46,0	42,0	37,0	34,0	29,0	25,0	20,0	16,0
$T, \text{ с}$	2,56	2,49	2,30	2,20	2,13	2,00	1,84	1,75	1,66	1,53	1,32	1,18

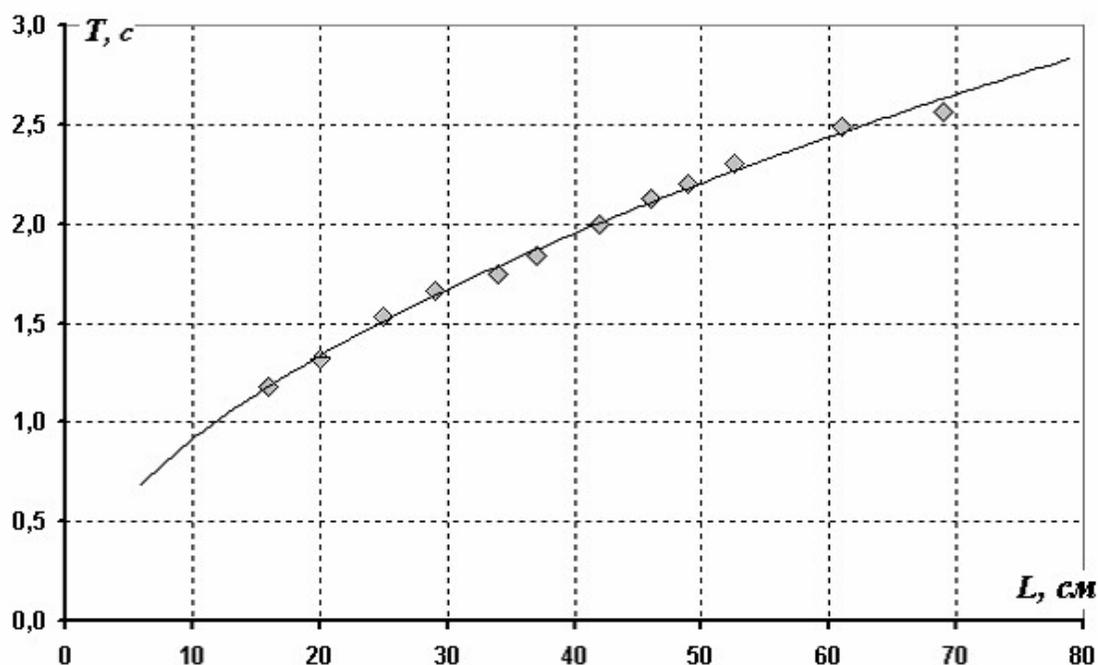


График 1. Зависимость периода колебаний от длины нитей

Нанесем полученные точки на график - опять получена нелинейная зависимость.

Не занимаясь подбором и подгонкой, сразу построим эту зависимость в логарифмическом масштабе. Линейность этого графика подтверждает степенную зависимость между периодом колебаний и длиной нитей. Коэффициент наклона данной прямой близок к $\beta \approx 0,5$, то есть период колебаний пропорционален

квадратному корню из длины нитей. Обработка по МНК дает следующее значение коэффициента наклона (равному показателю степени)

$$\beta = 0,55 \pm 0,03.$$

Не смотря на незначительное отклонение, будем считать, что период колебаний пропорционален корню квадратному из длины нитей

$T = C_2 \sqrt{L}$, тем более, что такая же зависимость справедлива для периода колебаний математического маятника.

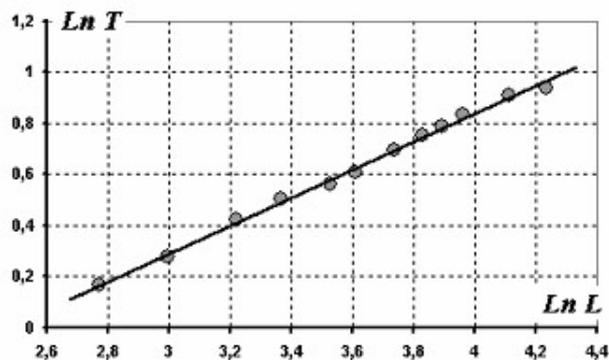


График 2. Логарифмический масштаб

3. Наконец, измерим периоды колебаний при различных положениях грузов – магнитов.

Таблица 3.

$S, \text{ см}$	38	36	34	32	30	28	26
$T, \text{ с}$	3,26	3,02	2,94	2,78	2,60	2,40	2,25
$S, \text{ см}$	24	16	14	12	10	8	6
$T, \text{ с}$	2,10	1,45	1,30	1,17	1,02	0,89	0,77

Построим график полученной зависимости.

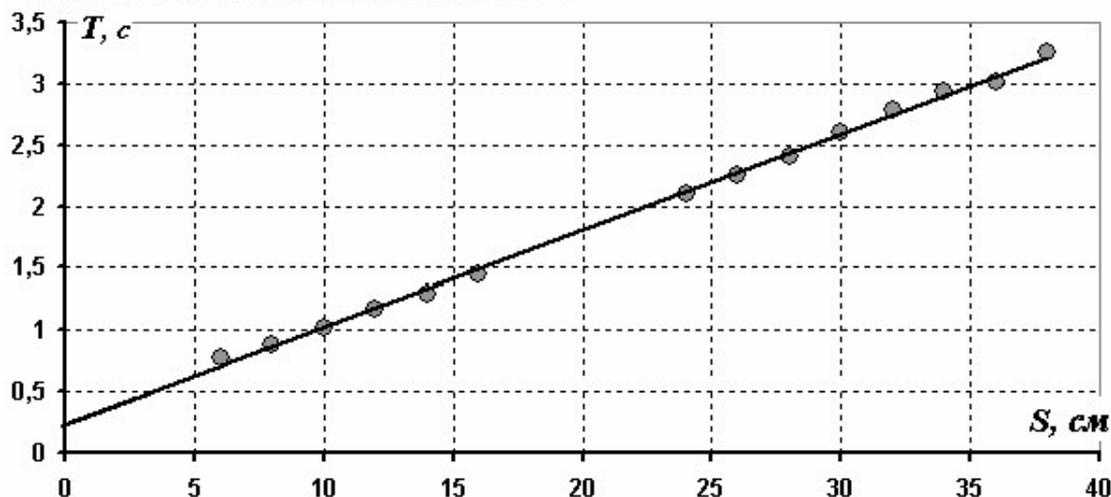


График 1. Зависимость периода колебаний от расстояния между грузами

Может быть и неожиданно, но данная зависимость очень близка к линейной. Анализ по МНК приводит к следующим значениям коэффициентов линейной зависимости $T = aS + b$:

$$a = (7,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-2} \frac{\text{с}}{\text{см}}. \quad (2)$$

$$b = (0,24 \pm 0,05) \text{ с}$$

Важно подчеркнуть, что зависимость близка к линейной, но не является прямо пропорциональной. Действительно, значение свободного члена b значимо отлично от нуля.

Отметим, что вывод об отсутствии пропорциональной зависимости подтверждается и графиком в логарифмическом масштабе, который заметно и систематически отклоняется от прямой линии. Кроме того, коэффициент наклона аппроксимирующей прямой заметно отличается от +1 (рассчитано по МНК): $a = 0,81 \pm 0,04$.

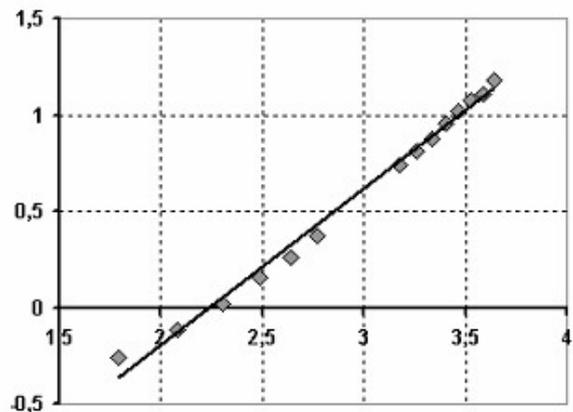


График 2. Логарифмический масштаб

Этот дополнительный расчет показывает, что степенная зависимость не является универсальной, а только для нее удобен логарифмический масштаб. Поэтому *не ленитесь, хотя бы примерно, построить график непосредственно по экспериментальным данным.*

4. Итак, на основании экспериментальных данных мы построили следующую формулу для периода крутильных колебаний

$$T = C \frac{\sqrt{L}}{R} (aS + b), \quad (3)$$

значения параметров определены выше (2).

Попытаемся объяснить полученную формулу⁸. Зависимость от длины нитей, такая же, как и для математического маятника – в данном случае в процессе колебаний нити также отклоняются от вертикали. Поэтому полученный результат понятен.

При уменьшении расстояния между нитями уменьшается высота подъема линейки при ее повороте, иными словами, чем больше расстояние между нитями, тем труднее повернуть линейку – увеличивается «жесткость» маятника, что и должно приводить к уменьшению периода. Также можно отметить, что при расстоянии, между нитями стремящемся к нулю, период должен возрастать до бесконечности (крутильная «жесткость» одной нити стремиться к нулю). Поэтому и зависимость периода от расстояния между нитями качественно понятна.

Сложнее объяснить зависимость периода колебаний от расстояния между грузами. Изменение этого расстояния приводит к увеличению момента инерции маятника. Однако, момент инерции грузов пропорционален квадрату расстояния между ними. Если массы грузов значительно превышают массу линейки (точнее, если можно пренебречь моментом инерции линейки по сравнению с моментом инерции грузов), то период должен быть прямо пропорционален расстоянию между грузами, при условии, что период пропорционален корню из момента инерции:

⁸ Не слишком сложно вывести точную формулу для периода рассматриваемых колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{4JL}{mgR^2}}, \text{ где } J - \text{ момент инерции линейки с грузами. Но сейчас мы проведем только}$$

качественные рассуждения.

если⁹ $T \propto \sqrt{J}$, а $J \propto S^2$, то $T \propto S$.

Полученная экспериментальная зависимость периода от расстояния S слегка отличается от прямо пропорциональной, причиной чего служит момент инерции самой линейки. Следовательно, физически более логично искать эту зависимость в виде

$$T = \sqrt{a_1 S^2 + b_1}. \quad (4)$$

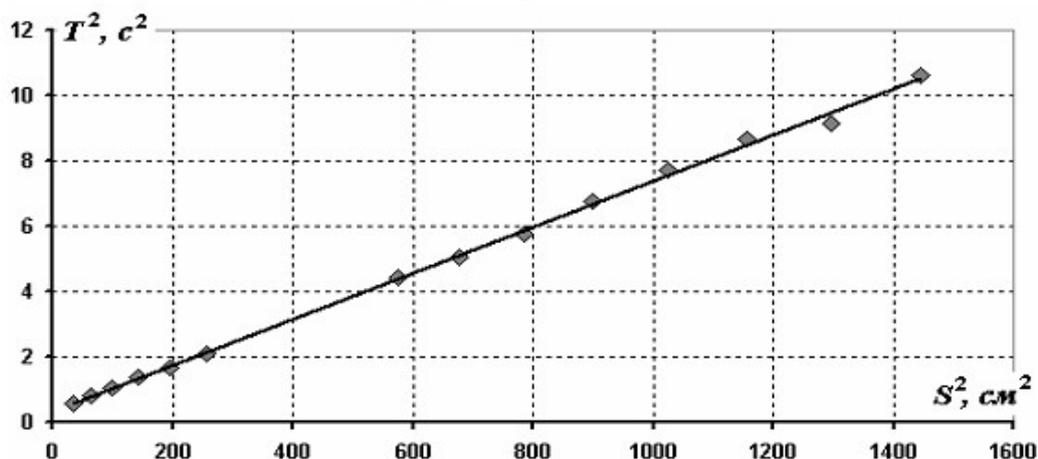


График 3. "Квадратичный" масштаб

Эта зависимость линеаризуется, при возведении ее в квадрат, то есть «квадратичная» зависимость $T^2(S^2)$ должна быть линейна. Проверим это по полученным данным.

Построенный в этом масштабе график также близок к линейному, как и график 1. Однако эта зависимость более обоснована физически. Поэтому следует отдать предпочтение именно зависимости (4). Коэффициенты этой зависимости, рассчитанные по МНК равны

$$a_1 = (7,06 \pm 0,15) \cdot 10^{-3} \frac{\text{с}^2}{\text{см}^2}.$$

$$b_1 = (0,33 \pm 0,12) \text{с}^2$$

Заметим, что $\sqrt{a_1} \approx 0,08 \approx a$ из линейной зависимости.

Окончательно, период крутильных колебаний рассмотренного маятника описывается формулой

$$T = C \frac{\sqrt{L}}{R} \sqrt{aS^2 + b}$$