

# Contents

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Пояснительная часть</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>8 класс (128 часов / 32 нед. по 4ч.)</b>                                   | <b>3</b>  |
| 2.1      | Основы молекулярно-кинетической теории строения вещества (12 часов) . . . . . | 3         |
| 2.2      | Движение и взаимодействие тел (16 часов) . . . . .                            | 4         |
| 2.3      | Давление твердых тел, жидкостей и газов (16 часов) . . . . .                  | 4         |
| 2.4      | Равновесие тел. Работа и мощность (16 часов) . . . . .                        | 4         |
| 2.5      | Тепловые явления (24 часа) . . . . .  | 4         |
| 2.6      | Электромагнитные явления (20 часов) . . . . .                                 | 5         |
| 2.7      | Оптические явления (14 часов) . . . . .                                       | 5         |
| 2.8      | Методы экспериментального исследования изучаемых явлений (12 часов) . . . . . | 6         |
| <b>3</b> | <b>9 класс (128 часов)</b>  | <b>6</b>  |
| 3.1      | Кинематика (30 часов) . . . . .   | 6         |
| 3.2      | Динамика материальной точки (22 часа) . . . . .                               | 7         |
| 3.3      | Законы сохранения в механике (20 часов) . . . . .                             | 7         |
| 3.4      | Статическое равновесие твердого тела и жидкости (10 часов) . . . . .          | 8         |
| 3.5      | Гидродинамика (12 часов) . . . . .  | 8         |
| 3.6      | Механические колебания и волны (26 часов) . . . . .                           | 8         |
| 3.7      | Оценка погрешностей измерений (8 часов) . . . . .                             | 9         |
| <b>4</b> | <b>10 класс (128 часов)</b>   | <b>9</b>  |
| 4.1      | Динамика вращательного движения твердого тела (10 часов) . . . . .            | 9         |
| 4.2      | Молекулярная физика и термодинамика (40 часов) . . . . .                      | 9         |
| 4.3      | Взаимное превращение жидкостей и газов (4 часа) . . . . .                     | 10        |
| 4.4      | Поверхностное натяжение в жидкостях (6 часов) . . . . .                       | 10        |
| 4.5      | Плавление и упругие свойства твердых тел. (6 часов) . . . . .                 | 10        |
| 4.6      | Электростатика (20 часов) . . . . .   | 10        |
| 4.7      | Постоянный электрический ток (12 часов) . . . . .                             | 11        |
| 4.8      | Электрический ток в различных средах (12 часов) . . . . .                     | 11        |
| 4.9      | Магнитное поле токов (12 часов) . . . . .                                     | 11        |
| 4.10     | Экспериментальные методы исследования (6 часов) . . . . .                     | 12        |
| <b>5</b> | <b>11 класс (128 часов)</b>   | <b>12</b> |
| 5.1      | Электродинамика (14 часов) . . . . .  | 12        |
| 5.2      | Электромагнитные колебания, волны и переменный ток (24 часа) . . . . .        | 13        |
| 5.3      | Геометрическая оптика (10 часов) . . . . .                                    | 13        |
| 5.4      | Волновая оптика (18 часов) . . . . .  | 14        |
| 5.5      | Элементы теории относительности (17 часов) . . . . .                          | 14        |
| 5.6      | Квантовая физика (17 часов) . . . . .   | 15        |
| 5.7      | Физика атомного ядра и элементарных частиц (18 часов) . . . . .               | 15        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.8      | Экспериментальные методы исследования (10 часов)         | 16        |
| <b>6</b> | <b>Элементы высшей математики для школьников</b>         | <b>16</b> |
| 6.1      | Векторное и элементы тензорного исчисления               | 16        |
| 6.2      | Элементы матанализа на вещественной оси                  | 17        |
| 6.3      | Элементы многомерного матанализа                         | 18        |
| 6.4      | Элементы теории дифференциальных уравнений               | 18        |
| 6.5      | Элементы алгебры   | 18        |
| 6.6      | Элементы теории вероятностей и математической статистики | 18        |
| 6.7      | Элементы дифференциальной геометрии                      | 19        |
| 6.8      | Теория подобия и физических размерностей                 | 19        |
| 6.9      | Элементы топологии                                       | 19        |

## 1 Пояснительная часть

Настоящая учебная программа составлена для учащихся 8-11 классов очной и заочной форм обучения в региональном научно-образовательном центре "ЛОГОС". Ее отличительные особенности обусловлены основными целями и задачами центра, главная из которых — создание благоприятной учебно- и научно-педагогической среды для выявления и развития талантливых школьников Ярославля и Ярославского региона в области физики и математики. В качестве таких особенностей можно отметить следующие:

1. Сочетание традиционной, уже устоявшейся школьной программы средних общеобразовательных школ с вопросами, относящимися к области современной физики XX века и, как правило, выходящими за рамки стандартных школьных программ;
2. Двухуровневая градация сложности вопросов программы. Вопросы, относящиеся к повышенному уровню сложности, напечатаны обычным (нежирным) шрифтом.
3. Относительно высокая доля часов, отводимых на экспериментальные работы и на вопросы, связанные с обработкой и интерпретацией результатов эксперимента;
4. Усиленная математическая компонента программы. Дополнительные к основной (физической) части программы математические вопросы, вынесены в отдельную вспомогательную программу, различные части которой изучаются параллельно тем разделам физики, в которых они используются.
5. Дублирование некоторых вопросов в различных классах и на разных уровнях сложности.
6. Углубленный характер изучения различных разделов программы, ориентированный на понимание сути и на формирование способности учащегося к самостоятельному научному исследованию.

7. Особый акцент на роли физических законов в наблюдаемых явлениях природы.

С учетом этих особенностей, наша программа, не отрываясь полностью от базовой школьной, позволяет существенно расширить и углубить ее, продемонстрировать работу физических концепций и законов в действии, показать роль физики и математики в современном мире, сформировать навыки самостоятельного физико-математического мышления учащихся и интерес к самостоятельным научным исследованиям, преодолеть разрыв между школьной и ВУЗовской физикой, который часто создает психологические барьеры у будущих студентов во время их обучения на первых курсах университетов.

При составлении программы мы опирались как на лучший отечественный и международный опыт организации учебного процесса с одаренными школьниками, так и на свой 10-летний опыт работы с одаренными школьниками в ЯрЗФТШ. В значительной степени это касается не только содержания учебной программы, но также и ее реализации. В частности, наш опыт показал, что разумное сочетание групповых и индивидуальных форм занятий, гармоничного баланса теории, решения задач и эксперимента, аудиторной и самостоятельной работы, учебных и научных задач в совокупности являются необходимыми компонентами плодотворного учебного процесса. Немаловажную роль в учебном процессе играет и личность преподавателя. Наша программа по своей широте и глубине подразумевает постоянное повышение уровня профессионализма и квалификации преподавателей центра.

Базовая часть программы и значительная часть вопросов повышенного уровня сложности обеспечена разработанными в центре методическими пособиями, которые могут быть использованы не только учащимися, но и учителями при подготовке и планировании уроков и факультативных занятий. Предполагается, что экспериментальная часть программы будет выполняться учащимися на базе лабораторий кафедры общей и теоретической физики ЯГПУ по согласованию с деканатом физико-математического факультета.

## **2 8 класс (128 часов / 32 нед. по 4ч.)**

### **2.1 Основы молекулярно-кинетической теории строения вещества (12 часов)**

**Явления, подтверждающие молекулярное строение вещества:**

- делимость тел;
- тепловое расширение тел;
- уменьшение объема жидкостей при их смешивании.

Представление о размере и массе молекул. Движение молекул. Явление диффузии и броуновское движение. Взаимодействие молекул и атомов.

## 2.2 Движение и взаимодействие тел (16 часов)

Механическое движение. Относительность движения, тело отсчета, система отсчета. Материальная точка (частица). Траектория, путь и перемещение. Равномерное и неравномерное движение. Средняя скорость. Взаимодействие тел. Инерция. Масса и плотность тела. Сила. Силы реакции опор и подвесов. Сила тяжести и вес тела. Равнодействующая, проекция и составляющая. Сложение сил. Деформация тел и сила упругости. Закон Гука. Сила трения. Другие силы в природе. Проблема единства сил и взаимодействий.

## 2.3 Давление твердых тел, жидкостей и газов (16 часов)

Давление, силы давления. Давление твердых тел. Давление газа и его объяснение на основе молекулярно-кинетических представлений. Закон Паскаля. Давление на глубине и его независимость от формы сосуда. Гидростатический парадокс. Сообщающиеся сосуды. Гидравлический пресс. Действие жидкости на погруженное в нее тело. Причина возникновения выталкивающей силы. Закон Архимеда. Условие плавания тел. Атмосферное давление. Равновесие плавающих тел. Воздухоплавание и мореплавание. Физика водолазного костюма.

## 2.4 Равновесие тел. Работа и мощность (16 часов)

Сложение сил, действующих на тело по одной прямой и под углом друг к другу. Равновесие тела, имеющего ось вращения. Момент силы. Правило моментов. Механическая работа. Мощность. Простые механизмы. "Золотое правило" механики. Коэффициент полезного действия. Кинетическая и потенциальная энергии. Закон сохранения механической энергии.

## 2.5 Тепловые явления (24 часа)

Тепловое движение. Внутренняя энергия. Два способа изменения внутренней энергии:

- работа;
- теплопередача.

Виды теплопередачи. Количество теплоты. Удельная теплоемкость вещества. Тепловое расширение. Линейное и объемное расширение и его учет в технике. Энергия топлива. Удельная теплота сгорания. Закон сохранения и превращения энергии. Агрегатные состояния вещества. Плавление и отвердевание кристаллических тел. Удельная теплота плавления. Испарение. Поглощение энергии при испарении и выделение ее при конденсации пара. Кипение. Удельная теплота парообразования. Тепловые двигатели. КПД тепловых двигателей.

## 2.6 Электромагнитные явления (20 часов)

Электризация тел, взаимодействие заряженных тел, два рода зарядов. Электрическое поле. Проводники и диэлектрики. Закон Кулона. Электрический ток. Источники электрического тока, электрическая цепь. Электрическое напряжение, электрическое сопротивление. Закон Ома для участка цепи. Последовательное и параллельное соединение проводников. Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля-Ленца. Магнитное поле прямого тока и катушки с током. Электромагниты. Магнитное поле Земли. Действие магнитного поля на проводник с током. Электроизмерительные приборы и электродвигатели.

## 2.7 Оптические явления (14 часов)

Основные законы геометрической оптики:

- прямолинейность распространения светового луча;
- законы отражения и преломления.

Полное внутреннее отражение. Построение изображений в сферических зеркалах и тонких линзах. Формула тонкой линзы. Фокусное расстояние и оптическая сила линзы. Оптические приборы:

- фотоаппарат;
- проекционный аппарат.
- микроскоп;
- телескоп.

Глаз. Нормальное зрение, близорукость и дальнозоркость. Очки. Луна. Закат Солнца и мираж.

## 2.8 Методы экспериментального исследования изучаемых явлений (12 часов)

Простейшие измерительные приборы и инструменты:

- измерительная линейка;
- рулетка;
- рычажные весы;
- динамометр;
- секундомер;
- термометр;
- источники тока;
- амперметр и вольтметр постоянного тока;
- резисторы;
- постоянные магниты;
- источники света;
- линзы;
- зеркала;
- компас.

Измерение расстояний, промежутков времени, силы, массы, объема тел, определение удельной теплоемкости, измерение силы тока, напряжения, сопротивлений, фокусных расстояний линз, исследование магнитных полей.

## 3 9 класс (128 часов)

### 3.1 Кинематика (30 часов)

Кинематика точки. Основные понятия кинематики:

- материальная точка;
- абсолютно твердое тело.

Прямолинейное равномерное движение точки. Системы отсчета. Различные способы описания движений. Траектория, путь, перемещение и скорость при прямолинейном движении. Средняя скорость, ее различные типы. Мгновенная скорость как производная радиуса-вектора точки по времени. Ускорение. Движение с постоянным ускорением. Графики зависимости пути, скорости и ускорения от времени. Свободное падение тела в поле силы тяжести. Движение точки по окружности. Тангенциальное, нормальное (центростремительное) и полное ускорения. Угловая скорость и угловое ускорение. Кинематика и геометрия вращений. Общее движение и его характеристики. Элементы теории машин и механизмов: поршни, шатуны, кривошипы, валы и шестерни. Относительность движения. Сложение скоростей. Вращающиеся системы отсчета. Движение со связями. Кинематика твердого тела. Качение цилиндра или шара по плоской поверхности. Физика вагонного колеса. Кинематика планет Солнечной системы. Физические основы календаря. Кинематика Галактики.

### 3.2 Динамика материальной точки (22 часа)

Законы Ньютона. Сила и масса. Силы в механике. Сила притяжения со стороны Земли. Вес. Невесомость и перегрузки. Закон всемирного тяготения, гравитационная постоянная. Гравитационное поле. Контактные силы и их природа. Силы реакции опор и подвесов. Сила упругости и сила трения. Деформация и закон Гука. Жесткость пружины. Сухое трение. Силы трения покоя, скольжения и качения. Вязкое трение. Сила сопротивления при движении в жидкостях и газах. Силы инерции. Неинерциальные системы отсчета, движущиеся прямолинейно, и вращающиеся системы отсчета. Прямая и обратная задача механики и ее решение с помощью методов интегрального и дифференциального исчисления. Силы и взаимодействия. Потенциальные и непотенциальные, центральные и нецентральные, массовые, объемные и поверхностные силы. Необычные силы: радиационного трения. Проблема единого описания сил и взаимодействий в физике. Пример: объединение сил инерции и гравитации в ОТО.

### 3.3 Законы сохранения в механике (20 часов)

Импульс материальной точки и системы материальных точек. Центр масс, движение центра масс. Замкнутые системы. Закон сохранения импульса. Реактивное движение. Уравнения Мещерского и Циолковского. Работа и мощность. Работа постоянной силы. Энергия. Законы сохранения энергии в механике. Столкновение шаров как пример применения законов сохранения. Движение спутников и планет в гравитационном поле. Космические полеты. Закон сохранения момента количества движения и его роль в физике.

Связь законов сохранения с симметриями пространства и времени. Законы сохранения полной энергии и незамкнутость механики. Законы сохранения в микромире. Баланс энергии в живых организмах.

### 3.4 Статическое равновесие твердого тела и жидкости (10 часов)

**Условия равновесия твердого тела, имеющего ось вращения. Момент силы. Центр тяжести. Момент силы и векторное произведение.** Статически неопределимые задачи. Пространственные задачи равновесия. Упругое равновесие. Расчет равновесия простейших стержневых конструкций. Работа при вращении. **Давление в жидкостях и газах. Условия равновесия тела, плавающего в жидкости. Центр давления. Устойчивость плавающих тел. Лавины.**

### 3.5 Гидродинамика (12 часов)

*Идеальная жидкость. Кинематическое описание движения жидкости. Давление в движущихся жидкостях и газах. Уравнение неразрывности и уравнение Бернулли. Течение вязкой жидкости. Ламинарное и турбулентное течения. Сила лобового сопротивления и подъемная сила крыла самолета. Потенциальное и бездиссипативное течение. Простейшие задачи математической гидродинамики: обтекание шара, цилиндра, течение по трубе. Ветры. Метели. Океанские течения.*

### 3.6 Механические колебания и волны (26 часов)

**Волны. Колебания пружины. Гармонические колебания. Энергия гармонического осциллятора. Связь гармонических колебаний с равномерным движением по окружности. Математический маятник. Затухающие гармонические колебания. Вынужденные колебания, резонанс. Сложение двух гармонических колебаний. Волновое движение. Характеристики волнового движения. Типы волн. Энергия, переносимая волнами. Математическое описание бегущей волны. Принцип суперпозиции. Отражение волн. Стоячие волны. Поверхностные волны на море. Солитоны. Цунами.**

Звук. Характеристики звука. Интенсивность звука. Источники звука:

- колеблющиеся струны;
- колеблющиеся оболочки и мембраны;
- столбы воздуха.

Скорость распространения звука в различных средах. Эффект Доплера. Эхо и природные сонары. Землетрясения. Связанные системы. Биения.

Нормальные координаты и частоты. Колебания кристаллической решетки. Акустическая и оптическая ветви спектра колебаний твердого тела. Недостаточность классического описания колебаний решетки. Фононы.

### 3.7 Оценка погрешностей измерений (8 часов)

Измерение физических величин. Погрешности измерений. Систематические и случайные погрешности. Оценка границ погрешностей прямых и косвенных измерений.

## 4 10 класс (128 часов)

### 4.1 Динамика вращательного движения твердого тела (10 часов)

Движение твердых и деформируемых тел. Абсолютно твердое тело. Центр масс твердого тела. Импульс тела. Теорема о движении центра масс. Момент силы относительно точки и относительно оси. Момент инерции материальной точки и твердого тела относительно оси. Основное уравнение динамики вращательного движения. Момент импульса материальной точки и твердого тела относительно оси. Закон сохранения момента импульса. Примеры применения закона сохранения момента импульса. Тензорная форма уравнений динамики вращательного движения. Гироскоп. Симметричный и несимметричный волчок. Прецессия и нутация. Устойчивость вращения. Углы Эйлера. Вращение Солнца и планет.

### 4.2 Молекулярная физика и термодинамика (40 часов)

Два подхода к изучению физических явлений:

- молекулярная физика;
- термодинамика.

Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ). Строение газообразных, жидких и твердых тел. Газовые законы и параметры состояния газов. Уравнения состояния идеального газа. МКТ идеального газа. Вывод уравнения состояния идеального газа из МКТ-представлений. Понятие температуры. Распределение молекул по скоростям и потенциальным энергиям и определение параметров состояния газа. Термодинамика. Работа, совершаемая газом, и его внутренняя энергия. Нулевое начало термодинамики. Первое начало термодинамики. Изопрцессы в газах. Теплоемкости газа при постоянном давлении и постоянном объеме. Применение первого начала термодинамики к изопрцессам. Адиабатический процесс и понятие энтропии. Второй закон

**термодинамики. Необратимость процессов в природе и их статистическое истолкование. Циклические процессы. Цикл Карно. Тепловые двигатели. КПД тепловых двигателей.** Третье начало термодинамики. Геометрическая формулировка термодинамики. Термодинамика простых физических систем: стержни, воды, вырожденный электронный газ, фотонный газ. Термодинамика излучения. Физика Солнца. Энтропия, как мера информации. Роль закона возрастания энтропии в живой и неживой природе. Хаос и порядок. Самоорганизующиеся системы. Синергетика.

#### **4.3 Взаимное превращение жидкостей и газов (4 часа)**

**Испарение жидкостей. Равновесие между жидкостью и ее паром. Изотермы реального газа. Критическое состояние и критическая температура. Кипение. Теплота парообразования. Сжижение газов. Влажность воздуха.** Молекулярная картина испарения и конденсации. Кривые равновесия фаз. Химический потенциал. Физика атмосферы. Атмосферы других планет. Туман и облака. Вулканы и гейзеры.

#### **4.4 Поверхностное натяжение в жидкостях (6 часов)**

Молекулярная картина поверхностного слоя жидкостей и причины появления сил поверхностного натяжения. Поверхностная энергия и коэффициент поверхностного натяжения. Смачивание и несмачивание. Давление над искривленной поверхностью жидкости (давление Лапласа). Капиллярные явления. Краевой угол. Механико-геометрическая интерпретация коэффициента поверхностного натяжения. Явление сверхтекучести.

#### **4.5 Плавление и упругие свойства твердых тел. (6 часов)**

**Кристаллические и аморфные твердые тела. Кристаллическая решетка. Жидкие кристаллы. Дефекты в кристаллах. Объяснение механических свойств твердых тел на основании МКТ. Плавление и отвердевание. Теплота плавления. Изменение объема при плавлении и отвердевании. Диаграмма состояния. Тройная точка.** Снег и лед. Модельные потенциалы и связь их параметров с термодинамическими параметрами твердых тел. Фазовые переходы первого и второго рода. Элементы теории упругости твердых тел. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Диаграмма растяжения-сжатия. Упругие и пластические деформации. Простейшие задачи теории упругости и сопромата.

#### **4.6 Электростатика (20 часов)**

**Основной закон электростатики – закон Кулона. Близкодействие**

и действие на расстоянии. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции полей. Линии напряженности электрического поля. Поток вектора напряженности, теорема Гаусса. Поле заряженной плоскости, сферы и шара. Проводники и диэлектрики в электростатическом поле. Поляризация диэлектриков. Работа в электрическом поле. Потенциал электростатического поля и разность потенциалов. Электрическая емкость и конденсаторы. Соединения конденсаторов. Энергия заряженных конденсаторов и проводников. Применение конденсаторов. Элементы математической физики. Дифференциальная формулировка законов электростатики. Уравнение Лапласа и Пуассона. Методы решения задач электростатики. Составные заряженные системы. Мультипольное разложение потенциала. Емкостные и потенциальные коэффициенты.

#### 4.7 Постоянный электрический ток (12 часов)

Электрический ток – условия его существования. Сила и плотность тока. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводника. Зависимость сопротивления от температуры. Суперпроводимость. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца. Электрические цепи, последовательное и параллельное соединение проводников. ЭДС. Гальванические элементы и аккумуляторы. Закон Ома для полной цепи. Расчет сложных электрических цепей. Два закона Кирхгофа. Элементарная теория гальванического элемента. Электронная теория вещества Друде-Лоренца.

#### 4.8 Электрический ток в различных средах (12 часов)

Электрическая проводимость различных веществ. Электрическая проводимость металлов. Электрический ток в растворах и расплавах электролитов. Закон электролиза и его технические приложения. Электрический ток в газах. Несамостоятельный и самостоятельный разряды. Плазма. Электрический ток в вакууме, диоды и триоды. Электронные пучки и электронно-лучевая трубка. Электрический ток в полупроводниках. Собственная и примесная проводимость. Электронно-дырочный (p-n) переход, полупроводниковый диод и транзистор. Термистор и фоторезистор и их применения. Элементарные представления о зонной структуре твердых кристаллических тел. Электронные и дырочные состояния. Экситоны и поляроны.

#### 4.9 Магнитное поле токов (12 часов)

Магнитные взаимодействия. Вектор магнитной индукции, линии магнитной индукции, поток магнитной индукции. Магнитное по-

ле проводников с током различной конфигурации:

- закон Био-Савара-Лапласа;
- закон Ампера.

Системы единиц для магнитных взаимодействий. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Применения силы Лоренца:

- ускоритель;
- МГД – генератор;
- эффект Холла.

Магнитное поле Земли, планет, Солнца и Галактики. Магнитные бури. Полярные сияния. Ферромагнетики. Температура Кюри.

#### 4.10 Экспериментальные методы исследования (6 часов)

Измерительные приборы:

- источники постоянного и переменного тока;
- амперметры и вольтметры;
- резисторы;
- электромагниты;
- осциллограф;
- вакуумные и полупроводниковые диоды и триоды;
- лампы накаливания.

Снятие вольт-амперных характеристик ламп накаливания, диодов и триодов, исследование электрических цепей с линейными и нелинейными приемниками, исследование магнитных полей, изучение осциллографа.

### 5 11 класс (128 часов)

#### 5.1 Электродинамика (14 часов)

Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Вихревое электрическое поле. ЭДС индукции в движущихся проводниках. Индукционные токи в массивных проводниках. Самоиндукция.

Индуктивность. Энергия магнитного потока. Магнитные свойства веществ. Магнитная проницаемость. Три класса магнитных веществ. Объяснение пара и диамагнетизма. Ферромагнетики. Природа Ферромагнетизма. Атомный парамагнетизм Ланжевена и Бриллюэна. Магнетизм сверхпроводников. Магноны.

## 5.2 Электромагнитные колебания, волны и переменный ток (24 часа)

Электрические колебания. Свободные и вынужденные колебания. Колебательный контур. Формула Томсона. Переменный электрический ток. Действующее значение силы тока и напряжения. Резистор, катушка и конденсатор в цепи переменного тока. Закон Ома для цепи переменного тока. Мощность. Резонанс в электрической цепи. Ламповый генератор и генератор на транзисторе. Генератор электрического тока. Трансформатор. Выпрямление переменного тока. Трехфазный ток. Передача и использование электрической энергии. Электромагнитные волны. Энергия, переносимая электромагнитными волнами. Спектр электромагнитных волн. Излучение электромагнитных волн. Принципы радиосвязи. Амплитудная модуляция и детектирование колебаний. Радиолокация. Понятие о телевидении. Развитие средств радиосвязи. Поляризация волн. Комплексное представление колебаний. Излучение абсолютно черного тела. Коэффициенты поглощения и отражения. Представление о квантах электромагнитного поля - фотонах. Физика грозовой тучи и молнии. Шаровая молния.

## 5.3 Геометрическая оптика (10 часов)

Принцип Ферма и вывод законов геометрической оптики из принципа Ферма. Преломление света и дисперсия световых волн. Построение изображений и хода лучей при преломлении света. Линзы. Собирающие и рассеивающие линзы изображения в линзах. Сферические зеркала и изображения в сферических зеркалах. Фокусное расстояние и оптическая сила системы двух линз. Человеческий глаз как оптическая система. Оптические приборы, увеличивающие угол зрения:

- лупа;
- микроскоп;
- телескоп.

Гравитационные линзы. Непараксиальные оптические системы. Радуга и гало.

## 5.4 Волновая оптика (18 часов)

Световая волна и интенсивность света. Интерференция света. Экспериментальные методы наблюдения интерференции света:

- бипризма Френеля;
- зеркала Френеля.

Расчет интерференционной картины. Интерференция света при отражении от тонких пленок:

- полосы равного наклона;
- полосы равной толщины.

Кольца Ньютона. Дифракция света. Явление дифракции. Принцип Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля. Экспериментальные методы наблюдения дифракции:

- дифракция от круглого экрана;
- дифракция на щели;
- дифракционная решетка.

Поляризация света. Способы получения и наблюдения поляризации. Поляризация при отражении и преломлении (закон Брюстера). Поляризация при двойном лучепреломлении. Прохождение света через систему поляризаторов (закон Малюса). Оптически активные среды. Оптическая активность вращающейся Вселенной. Живой свет.

## 5.5 Элементы теории относительности (17 часов)

Границы применимости классической механики. Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Закон сложения скоростей. 4-мерное пространство-время и 4-мерный интервал. Инвариантность интервала в разных системах отсчета. Основные кинематические следствия теории относительности:

- предельный характер скорости света;
- относительность одновременности;
- замедление времени;
- сокращение длины.

Причинная структура пространства-времени в СТО. Понятие мировой линии и мировой трубки. Идея 4-мерной ковариантности. Релятивистская динамика. Релятивистский импульс. Основное уравнение релятивистской динамики. Связь массы и энергии. Связь между энергией и импульсом частицы. Общая ковариантность в ОТО. Метрика и кривизна. Уравнения Эйнштейна и их физический смысл.

## 5.6 Квантовая физика (17 часов)

Экспериментальные основания квантовой теории. Тепловое излучение. Объяснение теплового излучения с точки зрения классической физики. Ультрафиолетовая катастрофа. Гипотеза Планка. Фотоэлектрический эффект и его законы. Фотон, его энергия и импульс. Эффект Комптона. Давление света. Опыты Лебедева. Волновые и квантовые свойства света. Физика атома. Рассеяние  $\alpha$  – частиц и модель атома Резерфорда. Проблема устойчивости атомов. Опыты Франка и Герца. Закономерности в атомных спектрах и попытки их объяснения. Теплоемкости многоатомных газов и твердых тел. Закон Дюлонга и Пти и замораживание степеней свободы. Основные положения квантовой теории. Принцип дополнительности. Соотношение неопределенностей. Вероятностный характер описания микроявлений. Волновые свойства электрона. Корпускулярно-волновой дуализм. Длина волны де Бройля. Импульс электромагнитной волны. Правило квантования. Квантование гармонического осциллятора, частицы в ящике и атома водорода. Стационарные состояния. Спектры атомов, спектральный анализ. Понятие волновой функции. Волновые функции гармонического осциллятора и атома водорода в основных состояниях. Спин электрона. Многоэлектронные атомы. Вынужденное излучение. Лазеры и их применение. Понятие о нелинейной оптике. Уравнение Шредингера. Квантовая механика и теория относительности. Квантовое рассеяние частиц. Макроскопические квантовые эффекты. Квантовые жидкости и кристаллы.

## 5.7 Физика атомного ядра и элементарных частиц (18 часов)

*Состав атомного ядра. Изотопы. Ядерные силы. Энергия связи атомных ядер. Спектр энергетических состояний атомного ядра. Ядерные спектры. Гамма – излучение. Эффект Мессбауэра. Радиоактивность. Радиоактивные превращения ядер. Альфа – бета – распад. Нейтрино. Искусственная радиоактивность. Позитрон. Экспериментальные методы регистрации заряженных частиц. Закон радиоактивного распада. Ядерные реакции. Энергетический выход ядерных реакций. Деление ядра урана. Ядерный реактор. Термоядерные реакции. Создание и удержание высокотемпературной плазмы. Проблемы ядерной энергетики. Элементарные частицы. Античастицы. Взаимное превращение элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия. Классификация элементарных частиц. Лептоны. Андроны, кварки, глюоны. Современные проблемы физики элементарных частиц. Фундаментальные симметрии в природе: ароматическая, калибровочная, цветовая. Поиск новых частиц. Измерение массы нейтрино. Элементарные частицы и космология. Геометризация взаимодействий. Многомерные модели Калуцы-Клейна. Некоммутативный*

мир. Суперсимметрия. Квантовая гравитация.

## 5.8 Экспериментальные методы исследования (10 часов)

Приборы и оборудование:

- микроамперметры;
- ваттметры;
- звуковые генераторы переменного тока;
- осциллографы;
- лазеры;
- дифракционные решетки;
- монохроматор;
- ртутная лампа;
- фотометр.

Исследование спектров водородной и ртутной лампы, определение длины волны света из наблюдение интерференционной и дифракционной картины, определение силы света источников излучения, исследование цепей переменного тока, содержащих резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности.

## 6 Элементы высшей математики для школьников

Разделы изучаются по мере необходимости на очных занятиях в аудитории или путем самостоятельного изучения литературы параллельно основной программе по физике. Предлагаемая дополнительная программа по высшей математике, в основном, ориентирована на учащихся, имеющих склонность к самостоятельной научной работе.

### 6.1 Векторное и элементы тензорного исчисления

Векторы и линейные операции с ними. Геометрический и физический смысл линейных операций. Применение в физике: относительное движение, равновесие материальной точки, нахождение равнодействующей, разложение сил и движений, закон сохранения импульса.

Скалярное произведение векторов. Его геометрический смысл и различные формы представлений. Проекция и составляющая. Угол между

векторами. Применение в физике: работа и мощность силы, проектирование векторных уравнений.

Системы координат. Декартова система координат. Координатные линии и поверхности. Ортогональные системы координат: цилиндрическая и сферическая. Координатная форма записи скалярного произведения. Роль систем координат в физике.

Векторное и смешанное произведение векторов. Их свойства и применение в физике: вращательное равновесие твердых тел, моменты сил, работа при вращении, сила Лоренца, вычисление объемов.

Понятие векторного поля. Однородное векторное поле. Скалярное поле и потенциальное векторное поле. Поток и циркуляция векторного поля. Дифференциальные характеристики векторного поля: дивергенция и ротор. Основные теоремы векторного анализа: теоремы Гаусса и Стокса. Векторные поля как дифференциальные операторы. Скалярные и векторные поля в физике: поле скоростей жидкости и газа, электрическое и магнитные поля, гравитационное поле в ньютоновской теории гравитации, поле температуры.

Формы, их геометрический смысл. Координатные формы. Внешнее произведение форм. Поля форм. Внешнее дифференцирование форм. Примеры форм в физике: работа, векторный потенциал, форма тепла в термодинамике.

Понятие тензора. Бескоординатное и координатное представление тензоров. Основные операции с тензорами: линейные операции, тензорное и внутреннее произведение тензоров. Свертка. Дуальное сопряжение тензоров. Примеры тензоров в физике: тензор инерции, тензоры момента импульса и момента силы, тензоры диэлектрической и магнитной проницаемости, геометрические тензоры: метрика и кривизна.

## 6.2 Элементы матанализа на вещественной оси.

Отображения, функции. Непрерывность и дифференцируемость. Дифференциал и производная и ее свойства. Производные элементарных функций. Нахождение скорости по перемещению с помощью дифференцирования. Высшие производные. Ускорение как производная скорости. Вектор-функция и ее производные.

Понятие первообразной. Первообразная и неопределенный интеграл. Первообразные элементарных функций. Нахождение закона движения по скорости.

Понятие плотности аддитивной величины. Интегральная сумма и определенный интеграл. Формула Ньютона-Лейбница. Вычисление длин, площадей, объемов, координат центров масс простых фигур. Принцип суперпозиции и его интегральная формулировка.

Понятие бесконечной последовательности и ее предела. Понятие ряда и функционального ряда и их сходимости. Степенные ряды, ряды Тейлора и Маклорена и их применение в физике. Тригонометрические ряды. Ряд Фурье и гармонический анализ.

Качественный анализ и построение графиков. Графики в других системах координат.

### **6.3 Элементы многомерного матанализа.**

Понятие функции многих переменных. Непрерывность и дифференцируемость. Частные производные и дифференциал. Производная по направлению и градиент. неявная функция. Свойства графика функции многих переменных. Сечения, линии уровня, кривые, лежащие на графике. Некоторые физические приложения многомерного матанализа.

### **6.4 Элементы теории дифференциальных уравнений.**

Понятие дифференциального уравнения и физические примеры приводящие к ним. Уравнение колебаний и волновое уравнение как примеры обыкновенного дифференциального уравнения и уравнения в частных производных. Начальные и граничные (краевые) условия. Некоторые элементарные методы решения дифференциальных уравнений: метод разделения переменных. Специальные функции как решения классов дифференциальных уравнений второго порядка. Системы дифференциальных уравнений. Нелинейные дифференциальные уравнения.

### **6.5 Элементы алгебры.**

Общее понятие алгебры. Примеры: вещественные числа, векторное сложение и произведение, булева алгебра.

Алгебраические поля. Примеры: вещественные числа. Поле комплексных чисел. Определение, различные формы представления. Приложения комплексных чисел в математике и в физике: основная теорема алгебры и комплексный гармонический анализ.

Алгебра матриц. Важнейшие свойства и характеристики матриц: размерность, симметрия, ранг, след и определитель. Матрицы в математике и физике: решение систем линейных уравнений и матричная формулировка физических законов.

Алгебра кватернионов. Применение кватернионов для описания 3-мерных вращений.

Группы. Группы симметрии и их роль в современной физике.

### **6.6 Элементы теории вероятностей и математической статистики.**

Элементарные методы обработки экспериментальных данных. Вычисление абсолютных и относительных погрешностей результатов эксперимента. Формула переноса погрешностей. Графическое представление экспериментальных данных.

Случайная величина и ее характеристики. Классическое исчисление вероятностей. Функция распределения случайной величины. Биноминальное распределение. Распределение Пуассона. Нормальное распределение. Физические примеры: распределение Максвелла, функции распределения, встречающиеся в различных физических задачах.

Элементы математической статистики. Выборочные характеристики случайной величины. Точечные и интервальные оценки. Статистические критерии оценки гипотез. Критерии Стьюдента, Пирсона, Фишера и их применение для обработки экспериментальных данных. Доверительная вероятность и уровень значимости. Аппроксимация экспериментальных таблиц методом наименьших квадратов.

### **6.7 Элементы дифференциальной геометрии.**

Кривые в 3-мерном пространстве. Их описание и основные характеристики – кривизна и кручение. Соприкасающаяся окружность. Критерий плоской кривой. Уравнения Френе.

Поверхности. Нормаль и касательная плоскость. Кривизна в двумерном направлении. Главные кривизны. Средняя и гауссова кривизна. Внутренняя и внешняя геометрия поверхности. Первая и вторая фундаментальные формы поверхности.

Элементы римановой геометрии. Метрика, связность, кривизна, ковариантная производная. Элементы СТО и ОТО.

### **6.8 Теория подобия и физических размерностей.**

Понятие и природа физической размерности. Понятие определяющих экспериментов. Различные системы единиц, их происхождение, особенности и взаимоотношение.

Методы размерности в физике.  $\pi$ -теорема и ее применение в различных задачах. Физическое подобие на примере чисел Маха, Рейнольдса, Фруда, Прандтля.

Методы подобия. Задачи на метод подобия. Третий закон Кеплера как следствие симметрии уравнений динамики относительно преобразований подобия.

### **6.9 Элементы топологии.**

Предмет и основные идеи топологии. Топология в физике. Топологические пространства и их гомеоморфизмы. Основные классы гомеоморфных топологических пространств:  $R^n$ ,  $S^n$ ,  $T^n$ ,  $RP^n$ ,  $N_n$  и их применение в физике. Топологическая классификация вихрей в ферромагнетиках и дисклинаций в нематиках. Топология в космологии. Открытый, плоский и замкнутый миры Фридмана. Физика и топология узлов.