

# Методическая программа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть 1. Общие принципы составления программы	2
Часть 2. Тематический список вопросов	3
Глава 1. Начальный цикл	
Уровень I	
Раздел 1. Классическая астрономия	4
Раздел 2. Строение Вселенной	4
Уровень II	
Раздел 3. Небесная сфера (часть 1)	5
Уровень III	
Раздел 4. Небесная сфера (часть 2)	6
Уровень IV	
Раздел 5. Кинематика Солнечной системы	7
Уровень V	
Раздел 6. Небесная механика	8
Раздел 7. Астрономическая оптика	8
Глава 2. Базовый цикл	
Уровень VI	
Раздел 8. Звездная астрономия	9
Раздел 9. Астрономическая оптика	10
Уровень VII	
Раздел 10. Небесная механика	11
Раздел 11. Небесная сфера	11
Уровень VIII	
Раздел 12. Основы астрофизики	13
Глава 3. Углубленный цикл	
Уровень IX	
Раздел 13. Небесная сфера	15
Уровень X	
Раздел 14. Небесная механика	16
Раздел 15. Астрофизика и космология	16

## ЧАСТЬ 1. Общие принципы составления программы

Настоящая программа определяет список вопросов и тем, которые могут быть затронуты в заданиях того или иного этапа в разных классах обучения. Программа может быть использована составлена для проведения занятий по астрономии со школьниками 5-11 классов в рамках подготовки к этапам Всероссийской олимпиады школьников по астрономии. Программа указывает темы, но не оговаривает уровень сложности заданий различных этапов олимпиады.

Основным принципом построения программы является последовательное и непрерывное прохождение школьником ее разделов в рамках подготовки, вне зависимости от его результатов на Всероссийской олимпиаде в том или ином учебном году. Каждый переход к последующему этапу предусматривает глубокое освоение одного или двух новых разделов, выстроенных в соответствии с логикой изучения курса астрономии на трех циклах - начальном, базовом и углубленном, с минимизацией частоты смены тем. Таким образом, подготовка будет наилучшим образом способствовать не только практике решений олимпиадных заданий, но и общему астрономическому образованию школьника.

Имея непрерывную структуру прохождения разделов и уровней, естественную для изучения предмета, программа характеризуется "диагональным" соответствием с определенными этапами Всероссийской олимпиады, описанным в следующем разделе. В связи с этим, на ранних этапах олимпиады не встречаются трудные вопросы поздних этапов олимпиады предыдущих лет обучения. При переходе обучающегося в следующий класс вопросы смещаются в раннюю сторону на один этап.

Определенные вопросы данного перечня требуют углубленной подготовки по физике и математике. В этом случае соответствующие аспекты смежных дисциплин указываются в конце раздела.

В комплект заданий, предлагаемых участникам на том или ином этапе, могут входить как задания текущего уровня, соответствующие указанным разделам программы, так и связанные с ранее изученными разделами. Возможно также включение заданий, охватывающих несколько таких тем.

*Таблица.* Уровни и разделы тематического списка вопросов, соответствующие разным этапам Всероссийской олимпиады в разных возрастных параллелях. Вопросы начального цикла выделены желтым фоном, вопросы базового цикла - зеленым фоном, вопросы углубленного цикла - красным фоном.

Этап олимпиады	Школьный	Муниципальный	Региональный	Заключительный
5-6 классы	I (1, 2)			
7 класс	II (3)	III (4)		
8 класс	III (4)	IV (5)		
9 класс	IV (5)	V (6, 7)	VI (8, 9)	VII (10, 11)
10 класс	V (6, 7)	VI (8, 9)	VII (10, 11)	VIII(12), IX (13)
11 класс	VI (8, 9)	VII (10, 11)	VIII (12)	X (14, 15)

*Обоснование распределения.* Приведенная "диагональная" структура распределения позволяет сохранить последовательность освещения тем участником вне зависимости от результатов его выступления на олимпиаде в том или ином учебном году. Это важно для прохождения всех этапов, в том числе заключительного. На региональном и заключительном этапах рассматриваются темы не ниже базового цикла, При этом задания, связанные с темами углубленного цикла (разделы 13-15), приводятся только на заключительном этапе в 10 и 11 классах.

# ЧАСТЬ 2. Тематический список вопросов

## ГЛАВА 1. Начальный цикл

### УРОВЕНЬ I

5-6 класс, школьный этап		
--------------------------	--	--

#### Раздел 1. Классическая астрономия

##### §1.1. Звездное небо

Объекты, наблюдаемые на дневном и ночном небе: Солнце, Луна, звезды, планеты, искусственные спутники Земли, метеоры, кометы, Млечный путь, туманности, галактики. Созвездия, наиболее яркие звезды и характерные объекты неба Земли, характерные условия их видимости в России и других странах мира. Ориентирование по Полярной звезде. Некоторые яркие звезды и другие объекты, видимые из Северного и Южного полушария Земли.

##### §1.2. Земля, ее свойства и движение

Три базовых факта о Земле: шарообразная форма, вращение вокруг своей оси и вокруг Солнца. Форма и размеры Земли. Смена времен года, равноденствия и солнцестояния. Основные единицы времени: солнечные сутки и тропический год. Видимый путь Солнца по небу, зодиакальные созвездия.

##### §1.3. Луна, ее свойства и движение

Движение Луны вокруг Земли и осевое вращение Луны. Смена фаз Луны. Синодический месяц. Основные типы солнечных и лунных затмений, условия их наступления.

#### Раздел 2. Строение Вселенной

##### §2.1. Солнце и планеты

Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы мира. Строение Солнечной системы: Солнце; планеты и их спутники; карликовые планеты; астероиды, кометы и другие малые тела. Астрономическая единица. Расстояние от Солнца, строение и (качественно) физические характеристики планет. Наблюдение планет, их видимое отличие от звезд. Крупнейшие спутники планет. Искусственные объекты космоса: спутники, зонды, автоматические межпланетные станции. Исследование ближнего космоса.

##### §2.2. Звезды и расстояния до них

Характерные расстояния до ближайших звезд в сравнении с масштабами Солнечной системы, принципы измерения расстояния. Скорость света, световой год, его связь с астрономической единицей. Характеристики звезд: масса, радиус, температура. Представление о двойных звездах и экзопланетах. Звездные скопления, их основные свойства.

##### §2.3. Объекты далекого космоса

Каталог Мессье, его самые известные объекты. Туманности. Галактики, их основные свойства и типы. Представление о расстояниях до галактик и масштабах Вселенной.

##### Смежные вопросы физики

Понятия массы и плотности. Объем и плотность шарообразного тела. Прямолинейное распространение света, понятие о преломлении света.

## **УРОВЕНЬ II**

7 класс, школьный этап		
------------------------	--	--

### **Раздел 3. Небесная сфера (часть 1)**

#### **§3.1. Географические координаты**

Градусная и часовая мера угла. Широта и долгота на поверхности Земли. Полюса, экватор, параллели и меридианы. Географическое положение континентов и крупнейших стран мира (качественно). Фигура Земли. Экваториальный и полярный радиусы. Длина окружности экватора, меридиана.

#### **§3.2. Горизонтальные координаты на небесной сфере**

Понятие небесной сферы. Основные точки на небесной сфере: зенит, надир, полюсы мира. Стороны горизонта, небесный меридиан. Изменение вида звездного неба в течение суток и в течение года. Подвижная карта звездного неба. Суточное движение небесных светил, восход, заход, кульминация. Высота и астрономический азимут светила. Полюс мира, его высота над горизонтом. Истинный и математический горизонт. Представление об атмосферной рефракции, ее величина у горизонта.

#### **Смежные вопросы математики**

Градусная и часовая мера угла. Понятие сферы, большие и малые круги. Формула для длины окружности. Теорема о равенстве углов со взаимно перпендикулярными сторонами.

## **УРОВЕНЬ III**

7 класс, муниципальный этап

8 класс, школьный этап

### **Раздел 4. Небесная сфера (часть 2)**

#### **§4.1. Угловые измерения на небе**

Угловые расстояния между небесными объектами. Угловые размеры объекта, их связь с линейными размерами (при известном расстоянии; малые углы).

#### **§4.2. Параллакс и геометрические способы измерений расстояний**

Определение радиуса Земли из астрономических наблюдений. Зависимость расстояния до видимого горизонта и его положения от высоты наблюдения на Земле. Общее понятие параллакса. Геометрический метод определения расстояния до астрономических объектов. Горизонтальный и годичный параллакс. Парсек, его связь с астрономической единицей и световым годом. Характерные значения суточного параллакса близких объектов (Солнца, Луны, искусственных спутников Земли) и годичного параллакса ближайших звезд. Влияние суточного параллакса близких светил на их высоту над горизонтом.

#### **§4.3. Экваториальные координаты на небесной сфере**

Большие и малые круги небесной сферы, принципы построения систем сферических координат. Склонение и часовой угол. Высоты светил в верхней и нижней кульминации для любой точки Земли, незаходящие и невосходящие светила. Угол между линиями небесного экватора и горизонтом в точке их пересечения в зависимости от широты места. Выражения для углового расстояния между двумя точками неба для элементарных случаев (близкие точки, точки на горизонте или экваторе, на одном азимуте, меридиане или круге склонения). Стереографическая проекция.

#### **§4.4. Экваториальные координаты и время**

Прямое восхождение светила и звездное время. Соотношение звездных и солнечных суток. Местное солнечное время. Всемирное время, поясное и декретное время. Часовые пояса и зоны, гражданское (административное) время, линия перемены дат. Сезонный перевод часов. Юлианские дни.

#### **§4.5. Видимое движение Солнца и эклиптические координаты**

Эклиптика, ее положение в экваториальной системе координат. Полюса эклиптики, их положение на небе. Гелиоцентрическая система координат в Солнечной системе. Тропики и полярные круги на Земле. Изменение склонения Солнца в течение года, полярный день, полярная ночь. Климатические и астрономические пояса Земли. Гелиоцентрическая система координат в Солнечной системе.

#### **§4.6. Основы летоисчисления и измерения времени**

Календарные год, месяц и сутки, их соотношение с тропическим годом, синодическим месяцем и солнечными сутками. Системы различных календарей. Високосный год, юлианский и григорианский календарь. Солнечные часы.

#### **Смежные вопросы математики**

Радианная и часовая мера угла. Угловой размер тела. Прямоугольный треугольник. Теорема Пифагора. Элементы тригонометрии. Стандартная запись числа. Математические операции со степенями. Пользование непрограммируемым инженерным калькулятором.

## **УРОВЕНЬ IV**

8 класс, муниципальный этап

9 класс, школьный этап

### **Раздел 5. Кинематика Солнечной системы**

#### **§5.1. Кинематика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит)**

Упрощенная запись III закона Кеплера для круговой орбиты (как эмпирический факт). Угловая и линейная скорость планеты относительно Солнца. Синодический и сидерический период планеты. Внутренние и внешние планеты. Конфигурации и условия видимости планет.

#### **§5.2. Малые тела Солнечной системы (приближение круговых орбит)**

Движение карликовых и малых планет (в предположении круговой орбиты). Представление о движении комет и метеорных потоках. Внешние области Солнечной системы. Пояс Койпера, облако Оорта.

#### **§5.3. Движение Луны и спутников планет (приближение круговых орбит)**

Синодический и сидерический периоды Луны, их связь. Солнечные и лунные затмения. Величина фазы, продолжительность, стадии затмения. Характерные расстояния и периоды обращения спутников планет. Определение скорости света на основе анализа движения спутников планет.

**Смежные вопросы математики.** Подобие треугольников. Возведение в степень, квадратные и кубические корни.

**Смежные вопросы физики.** Понятие периода движения по окружности, угловой скорости равномерного кругового движения. Прямолинейное распространение света.

## **УРОВЕНЬ V**

9 класс, муниципальный этап

10 класс, школьный этап

### **Раздел 6. Небесная механика**

#### **§6.1. Закон всемирного тяготения, движение по круговой орбите**

Закон всемирного тяготения. Ускорение свободного падения и сила тяжести на различных небесных телах. Круговая (первая космическая) и угловая скорость. Вес и невесомость. Связь атмосферного давления на поверхности планеты и силы тяжести, оценка массы атмосферы.

#### **§6.2. Механика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит)**

Период обращения, выражение III закона Кеплера в обобщенной формулировке для круговых орбит. Линейная скорость планеты относительно Земли. Петлеобразное движение планет, геоцентрическая угловая скорость планеты на небе в момент основных конфигураций.

#### **§6.3. Движение искусственных спутников и Луны вокруг Земли (приближение круговой орбиты). Движение спутников планет**

Приливы, их периодичность. Искусственные спутники Земли на низких орбитах, их видимое движение на небе. Торможение спутников в атмосферах планет. Геостационарные спутники.

#### **Смежные вопросы математики**

Сложение и вычитание векторов.

#### **Смежные вопросы физики**

Закон всемирного тяготения, законы Ньютона. Сила тяжести, вес тела. Величина ускорения свободного падения, центростремительного ускорения. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Законы Ньютона. Первая космическая (круговая) скорость.

### **Раздел 7. Астрономическая оптика**

#### **§7.1. Схемы и принципы работы телескопов**

Линзы и зеркала, простейшие оптические схемы телескопов - рефракторов и рефлекторов. Построение изображений, фокусное расстояние. Угловое увеличение, масштаб изображения, разрешающая способность телескопа. Выходной зрачок, равнозрачковое увеличение. Представление об ограничении разрешающей способности телескопа (качественно), атмосферное ограничение разрешающей способности. Вид различных небесных объектов в телескоп. Представление о приемниках излучения (глаз, ПЗС-матрица и т.д.). Некоторые виды монтировок (альт-азимутальная, экваториальная).

#### **Смежные вопросы физики**

Законы геометрической оптики. Отражение и преломление света на границе двух сред. Плоские и сферические зеркала, линзы. Построение изображений.

## ГЛАВА 2. Базовый цикл

### УРОВЕНЬ VI

9 класс, региональный этап

10 класс, муниципальный этап

11 класс, школьный этап

#### Раздел 8. Звездная астрономия

##### §8.1. Энергия излучения

Понятия мощности излучения (светимости), энергетического потока излучения, плотности потока излучения, освещенности, яркости. Убывание плотности потока излучения обратно пропорционально квадрату расстояния (без учета поглощения).

##### §8.2. Шкала звездных величин

Видимая звездная величина. Формула Погсона. Видимые звездные величины наиболее ярких звезд и планет. Поверхностная яркость, ее независимость от расстояния, звездная величина фона ночного неба.

##### §8.3. Зависимость звездной величины от расстояния

Зависимость звездной величины от расстояния до объекта в отсутствие поглощения. Модуль расстояния. Изменение видимой яркости планет при их движении вокруг Солнца (без учета фазы, случай круговых орбит). Абсолютная звездная величина звезды, абсолютная звездная величина тел Солнечной системы.

##### §8.4. Электромагнитные волны

Длина волны, период и частота, скорость распространения в вакууме и в среде, показатель преломления. Диапазоны электромагнитных волн. Видимый свет, длины волн и цвета. Прозрачность земной атмосферы для различных диапазонов электромагнитных волн.

##### §8.5. Излучение абсолютно черного тела

Закон Стефана-Больцмана. Эффективная температура и радиус звезды. Светимость звезды и освещенность от нее, связь с абсолютной и видимой звездной величиной.

##### §8.6. Солнце

Строение и химический состав. Поверхность Солнца, пятна, их температура и время жизни. Циклы солнечной активности. Вращение Солнца. Солнечная постоянная.

##### §8.7. Движение звезд

Эффект Доплера. Лучевая и трансверсальная скорость звезды. Собственное движение и параллакс звезды.

##### §8.8. Двойные и затменные переменные звезды

Движение двух тел сопоставимой массы для случая круговых орбит. Центр масс. Обобщенный III закон Кеплера для кругового движения. Затменные переменные звезды, главный и вторичный минимум, их глубина и длительность.

##### §8.9. Планеты и экзопланеты

Сферическое и геометрическое альbedo. Зона обитаемости. Качественное понятие о парниковом эффекте. Движение экзопланет вокруг звезд для случая круговых орбит. Транзиты экзопланет, их временные и фотометрические свойства, условия наблюдения.

### **§8.10. Звездные скопления**

Характеристики и наблюдаемые свойства рассеянных и шаровых звездных скоплений и входящих в них звезд. Расположение скоплений на небе. Метод группового параллакса определения расстояний до скоплений.

### **§8.11. Основы галактической астрономии**

Представление о строении нашей Галактики. Движение Солнца в Галактике.

#### **Смежные вопросы математики**

Логарифмическое исчисление. Площадь поверхности сферы. Телесный угол. Приближенные вычисления. Правила округления, число значащих цифр. Степенная запись и приближенные вычисления с большими и малыми числами. Анализ графиков.

#### **Смежные вопросы физики.**

Общее понятие энергии, мощности, потока энергии, плотности потока энергии, яркости, освещенности. Понятие об электромагнитных волнах, длина волны, период и частота, скорость распространения, диапазоны электромагнитных волн. Понятие об абсолютно черном теле. Виды теплопередачи. Эффект Доплера. Понятие центра масс.

## **Раздел 9. Астрономическая оптика**

### **§9.1. Ограничение разрешающей способности телескопа**

Понятие о дифракции. Дифракционное ограничение разрешающей способности телескопа.

### **§9.2. Светосила и проникающая способность телескопа**

Относительное отверстие телескопа, его проникающая способность. Видимый блеск точечных и протяженных источников при наблюдении в телескоп. Представление об ограничениях на проникающую способность телескопа (фон ночного неба).

### **§9.3. Основные приемники излучения**

Свойства и строение человеческого глаза. Дневное и ночное зрение. Равнозрачковое увеличение телескопа. Фотоаппараты. Диафрагма, время экспозиции. ПЗС-матрицы, строение и принципы работы. Отношение сигнал/шум. Аберрации оптики. Виньетирование, глубина резкости.

#### **Смежные вопросы физики**

Понятие об интерференции и дифракции. Пределы применимости геометрической оптики. Понятие о дифракции света. Свойства и строение человеческого глаза. Аберрации оптики.

## **УРОВЕНЬ VII**

<b>9 класс, заключительный этап</b>	<b>10 класс, региональный этап</b>	<b>11 класс, муниципальный этап</b>
-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

### **Раздел 10. Небесная механика**

#### **§10.1. Законы Кеплера, движение по эллипсу**

Эллипс, его характеристики – большая и малая оси, эксцентриситет. Три закона Кеплера для случая большой центральной массы. Потенциальная энергия взаимодействия точечных масс. Импульс и момент импульса. Перицентр и апоцентр, скорость движения в этих точках. Параболическая (вторая космическая) скорость. Эксцентриситет и скорости в перицентре параболы и гиперболы.

#### **§10.2. Небесная механика в Солнечной системе**

Характеристики орбит планет, карликовых планет и астероидов. Кометы, их движение в Солнечной системе. Геоцентрическая и гелиоцентрическая скорость. Метеорные потоки, радианты. Межпланетные перелеты по траектории Цандера-Гомана. Великие противостояния Марса. Фаза произвольного освещенного шара, равенство линейной и площадной фазы. Изменение видимой яркости планет и комет по ходу их движения для случая эллиптических орбит с учетом фазы. Движение спутников планет. Третья космическая скорость, гравитационная связанность системы.

#### **§10.3. Система Солнце – Земля – Луна**

Характеристики орбиты Луны, перигей и апогей. Солнечные и лунные затмения для случая произвольных расстояний до Солнца и Луны. Кольцеобразно-полные затмения Солнца. Покрытия Луной звезд и планет, условия их наблюдений. Либрации Луны.

#### **§10.4. Задача двух тел и звездная динамика**

Распространение законов Кеплера на случай произвольных масс. Обобщенный III закон Кеплера для эллиптического движения. Приведенная масса. Доплеровский метод открытия и анализа двойных систем и экзопланет. Элементы орбит двойных звезд и экзопланет (элементарные случаи). Восстановление характеристик орбит двойных звезд из наблюдений (элементарные случаи). Движение звезд в поле центрально-симметричных масс (звездных скоплений, центров галактик).

#### **Смежные вопросы математики**

Эллипс, связь различных характеристик эллипса. Площадь эллипса. Понятие о параболе и гиперболе. Теоремы синусов и косинусов. Сложение и вычитание векторов. Формулы приближенного вычисления для малых параметров.

#### **Смежные вопросы физики**

Импульс, момент инерции, момент импульса. Потенциальная энергия взаимодействия точечных масс. Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса для случая точечных масс. Космические скорости. Движение в поле сферически-симметричной массы.

### **Раздел 11. Небесная сфера**

#### **§11.1. Уравнение времени**

Истинное и среднее Солнце. Истинное и среднее солнечное время, уравнение времени, его характерные значения на протяжении года. Аналемма.

### **§11.2. Аберрация света и поправки к координатам светил**

Топоцентрические и геоцентрические координаты. Изменение видимых положений светил вследствие движения Земли. Параллактический и абберационный эллипсы звезд на разных эклиптических широтах. Поправки к гелиоцентрическим координатам и лучевым скоростям звезд.

### **§11.3. Прецессия оси вращения Земли**

Предварение равноденствий, звездный (сидерический) и тропический год, их соотношение. Изменение экваториальных и эклиптических координат звезд вследствие прецессии. Нутация (качественно).

### **Смежные вопросы математики**

Работа с графиками и таблицами. Линейная аппроксимация, определение коэффициентов линейной зависимости. Оценка погрешностей прямых и косвенных измерений. Понятие о среднеквадратическом отклонении.

### **Смежные вопросы физики**

Момент силы, момент импульса, импульс момента силы. Основное уравнение динамики вращательного движения.

## **УРОВЕНЬ VIII**

10 класс, заключительный этап

11 класс, региональный этап

### **Раздел 12. Элементы астрофизики**

#### **§12.1. Квантовая природа света**

Квантово-механическая модель атома. Понятие об энергетических уровнях электронов. Квантовые и волновые свойства света. Фотоны, фотоэффект. Энергия и импульс квантов, связь с частотой и длиной волны. Давление света. Эффект Пойнтинга-Робертсона.

#### **§12.2. Основы спектрального анализа**

Спектр излучения. Понятие спектральной линии излучения и поглощения, линейчатый и непрерывный спектр. Спектр атома водорода и водородоподобных ионов. Виды задания спектра (как функции частоты или длины волны).

#### **§12.3. Спектр излучения звезд**

Характерный вид спектра излучения абсолютно черного тела. Закон смещения Вина. Фотометрические системы UBVR<sub>I</sub>, показатели цвета. Цветовая температура. Боллометрическая звездная величина, боллометрическая поправка. Потемнение дисков звезд к краю.

#### **§12.4. Классификация звезд**

Спектральные классы звезд, их связь с эффективной температурой. Классы светимости звезд (сверхгиганты, гиганты, карлики). Диаграммы «спектр-светимость» и «цвет-светимость» (Герцшпрунга-Рассела), главная последовательность. Соотношение «масса-светимость» для звезд главной последовательности.

#### **§12.5. Ядерная физика и механизмы энерговыделения звезд**

Динамическая, тепловая и ядерная шкалы, их характерные времена. Связь массы и энергии покоя. Дефект массы, энергия связи и зависимость удельной энергии связи от числа нуклонов. Синтез и распад, выделение энергии (качественно). Законы сохранения заряда и энергии в ядерных реакциях. Свойства элементарных частиц. Условия протекания термоядерных реакций в недрах звёзд, протон-протонный цикл. Нейтрино.

#### **§12.6. Эволюция нормальных звезд**

Звездообразование, его области в Галактике. Масса Джинса. Типы звездного населения в галактиках. Стадия главной последовательности. Стадия красного гиганта, синтез тяжелых элементов в ядре. Равновесие и перенос энергии в звездах. Эволюционные треки маломассивных и массивных звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рассела, вид этой диаграммы для звездных скоплений, определение их возраста по положению "точки поворота". Звездные ассоциации.

#### **§12.7. Пульсирующие переменные звезды**

Цефеиды, их характеристики. Зависимость «период-светимость», определение расстояний. Представление о полосе неустойчивости на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Звезды типа RR Лиры, долгопериодические переменные звезды.

#### **§12.8. Поздние стадии эволюции звезд**

Белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры. Пределы Чандрасекара, Оппенгеймера-Волкова. Гравитационный радиус. Новые звезды. Сверхновые звезды, их классификация и основные свойства. Планетарные туманности и остатки вспышек сверхновых. Пульсары.

### **§12.9. Межзвездная среда**

Плотность, температура и химический состав межзвездной среды. Пылевые облака. Области H I и H II. Молекулярные облака. Линия 21 см. Газовые и диффузные туманности.

### **§12.10. Галактики и основы космологии**

Классификация и наблюдательные свойства галактик. Местная группа галактик. Типы звездного населения. Сверхмассивные черные дыры в галактиках, активные ядра галактик, квазары. Закон Хаббла, красное смещение.

### **Смежные вопросы математики**

Производная функции. Исследование функций на основе производной, геометрический смысл производной.

### **Смежные вопросы физики**

Квантовые и волновые свойства света. Фотоны. Энергия и импульс фотонов. Внешний фотоэффект. Давление света. Квантово-механическая модель атома. Постулаты Бора. Стационарные состояния атома. Понятие об энергетических уровнях электронов в атоме. Виды спектров. Спектральный анализ. Спектр атома водорода и водородоподобных ионов. Связь массы и энергии. Дефект массы, энергия связи и удельная энергия связи. Законы сохранения в ядерной физике. Синтез и распад ядер. Термоядерные реакции. Основные свойства элементарных частиц (электрон, протон, нейтрон, фотон, нейтрино). Свойства идеального газа. Понятие о температуре, давлении газа, концентрации частиц.

## ГЛАВА 3. Углубленный цикл

### УРОВЕНЬ IX

10 класс, заключительный этап		
-------------------------------	--	--

#### Раздел 13. Небесная сфера

##### §13.1. Суточные пути светил (общий случай)

Основы сферической тригонометрии. Параллактический треугольник. Преобразования горизонтальных, экваториальных и эклиптических координат. Вычисление углового расстояния между точками небесной сферы для произвольного случая. Азимуты и часовые углы восхода и захода светил для произвольного склонения и широты.

##### §13.2. Система Солнце-Земля-Луна (общий случай)

Вращение линии узлов и линии аписид лунной орбиты, тропический, аномалистический и драконический месяцы. Наклон лунной орбиты к эклиптике, условия для наступления солнечных и лунных затмений различных типов. Циклы затмений, сарос. Серии покрытий Луной звезд и планет. Предельная эклиптическая широта и расстояние от узла для наступления затмений различных типов, покрытия звезды или планеты.

##### §13.3. Движение близких тел в небе Земли (общий случай)

Видимый путь Луны и искусственных спутников в небе Земли. Триангуляция близких объектов (спутников, метеоров). Учет несферичности Земли. Основы современных систем спутниковой навигации.

##### §13.4. Галактическая система координат

Основные точки и большие круги, преобразования в другие системы небесных координат. Положение центра Галактики и галактических полюсов в небе Земли. Характерные положения различных типов небесных объектов в галактической системе координат.

##### Смежные вопросы математики

Основы сферической тригонометрии, сферические теоремы синусов и косинусов. Площадь шарового слоя, участка сферы. Линейная аппроксимация, определение ее коэффициентов.

## **УРОВЕНЬ X**

11 класс, заключительный этап		
-------------------------------	--	--

### **Раздел 14. Небесная механика**

#### **§14.1. Элементы орбит**

Пространственное положение орбиты, кеплеровы элементы, основные точки и направления. Элементы параболической и гиперболической орбиты. Эксцентриситет, прицельный параметр и угол между асимптотами гиперболы. Орбиты двойных звезд и экзопланет в проекции на небесную сферу (общий случай).

#### **§14.2. Движение в поле тяжести двух и более тел**

Точки Лагранжа. Приливное ускорение. Сфера Хилла, полость Роша. Представление об устойчивости систем. Изменение орбит малых планет и комет при сближении с большими планетами, активные и пассивные гравитационные маневры. Высота приливов (элементарная теория). Приливное разрушение спутников (элементарная теория). Приливное трение (качественное представление).

#### **§14.3. Движение систем с переменной массой и энергией**

Уравнения Циолковского и Мещерского. Теорема о вириале для гравитационно-связанных систем. Движение спутников в атмосферах планет, движение тел около звезд с сильным звездным ветром. Эволюция тесных двойных систем. Понятие о гравитационных волнах.

#### **Смежные вопросы математики**

Парабола и гипербола, их геометрические свойства и характеристики. Понятие производной функции, ее геометрический и физический смысл.

### **Раздел 15. Астрофизика и космология**

#### **§15.1. Формула Планка**

Спектральная мощность излучения единицы поверхности. Формула Планка, приближения Релея-Джинса и Вина, область их применимости. Яркостная температура. Закон Кирхгофа.

#### **§15.2. Гидростатическое равновесие звезд.**

Взаимодействие излучения с зарядами. Гидростатическое равновесие звезд, предел светимости Эддингтона.

#### **§15.3. Основы спектроскопии**

Интерференция и дифракция. Дисперсия света, спектральные приборы (призма, дифракционная решетка). Спектральное разрешение. Спектры различных астрономических объектов. Влияние температуры среды на ширину спектральной линии.

#### **§15.4. Перенос излучения в среде**

Преломление света и атмосферная рефракция для произвольного положения объекта. Спектральная зависимость преломления, "зеленый луч". Влияние преломления на яркостные характеристики объектов. Оптическая толщина. Поглощение и рассеяние света в атмосферах Земли и планет, закон Бугера. Отражение света различными поверхностями, закон Ламберта. Межзвездное поглощение света, его зависимость от длины волны. Избыток цвета, трехцветные диаграммы, звездная величина объекта на заданном расстоянии при наличии поглощения. Метод фотометрического параллакса определения расстояний до звезд.

### **§15.5. Всеволновая астрономия**

Приемники излучения в гамма-, рентгеновской, ультрафиолетовой, инфракрасной и радиоастрономии. Янский. Угловое разрешение радиотелескопов и радиоинтерферометров.

### **§15.6. Физика атмосфер планет**

Тепловой баланс планет и парниковый эффект. Озоновый слой в атмосфере Земли, его оптические свойства. Серебристые облака. Строение атмосфер планет Солнечной системы, представления об атмосферах экзопланет.

### **§15.7. Магнетизм во Вселенной.**

Дипольное магнитное поле. Магнитное поле токового слоя. Магнитное давление. Магнитосферы небесных тел. Энергия магнитного поля и его переход в другие формы энергии.

### **§15.8. Галактика и галактики**

Строение и морфология галактик различных типов. Кривые вращения, темная материя. Функции светимости звезд, начальная функция масс, отношение "масса/светимость". Соотношения Талли-Фишера и Фабер-Джексона.

### **§15.9. Основы теории относительности**

Принцип относительности, принцип инвариантности скорости света. Преобразования Лоренца, релятивистское сложение скоростей. Сокращение длины и замедление времени. Эффект "светового эхо". Релятивистский эффект Доплера. Гравитационное красное смещение (в слабых полях). Представление о гравитационном линзировании.

### **§15.10. Космология**

Крупномасштабная структура Вселенной. Прошлое и будущее Вселенной. Расширение Вселенной. Масштабный фактор. Модель однородной изотропной Вселенной. Уравнение Фридмана (качественное понимание), эволюция масштабного фактора в рамках ньютоновской физики. Критическая плотность Вселенной. Барионное вещество, темная материя и темная энергия. Реликтовое излучение, его свойства.

### **Смежные вопросы математики**

Интегрирование простейших функций и его геометрический смысл. Приложение дифференциальных уравнений в задачах по физике и астрономии.

### **Смежные вопросы физики**

Волновые свойства света. Понятие об интерференции, дифракции, дисперсии света. Магнитное поле. Магнитная индукция. Сила Ампера. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Основы специальной теории относительности. Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистское сокращение длины и замедление времени.