

ПРИНЯТА
Педагогическим советом АНО ОШ ЦПМ
(протокол от 28 августа 2023 г. № 73)

УТВЕРЖДЕНА
приказом директора АНО ОШ ЦПМ
от 29 августа 2023 г. № 408

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебного предмета «Астрономия»
для обучающихся 10–11 классов

Москва, 2023 год

Планируемые результаты освоения учебного предмета

В результате изучения учебного предмета «Астрономия» на уровне среднего общего образования:

Выпускник на **профильном уровне** научится:

- воспроизводить сведения по истории развития астрономии, ее связях с физикой и математикой;
- использовать полученные ранее знания для объяснения устройства и принципа работы телескопа;
- применять методы астрономических исследований;
- воспроизводить определения терминов и понятий (созвездие, высота и кульминация звезд и Солнца, эклиптика, местное, поясное, летнее и зимнее время);
- объяснять необходимость введения високосных лет и нового календарного стиля;
- объяснять наблюдаемые невооруженным глазом движения звезд и Солнца на различных географических широтах, движение и фазы Луны, причины затмений Луны и Солнца;
- воспроизводить исторические сведения о становлении и развитии гелиоцентрической системы мира;
- воспроизводить определения терминов и понятий (конфигурация планет, синодический и сидерический периоды обращения планет, горизонтальный параллакс, угловые размеры объекта, астрономическая единица);
- вычислять расстояние до планет по горизонтальному параллаксу, а их размеры по угловым размерам и расстоянию;
- объяснять причины возникновения приливов на Земле и возмущений в движении тел Солнечной системы;
- формулировать и обосновывать основные положения современной гипотезы о формировании всех тел Солнечной системы из единого газопылевого облака;
- определять и различать понятия (Солнечная система, планета, ее спутники, планеты земной группы, планеты-гиганты, кольца планет, малые тела, астероиды, планеты-карлики, кометы, метеориты, метеоры, болиды, метеориты);
- перечислять существенные различия природы двух групп планет и объяснять причины их возникновения;
- объяснять механизм парникового эффекта и его значение для формирования и сохранения уникальной природы Земли;
- объяснять сущность астероидно-кометной опасности, возможности и способы ее предотвращения.
- определять и различать понятия (звезда, модель звезды, светимость, парсек, световой год);
- характеризовать физическое состояние вещества Солнца и звезд и источники их энергии;
- объяснять механизм возникновения на Солнце грануляции и пятен;
- вычислять расстояние до звезд по годичному параллаксу;
- называть основные отличительные особенности звезд различных последовательностей на диаграмме «спектр – светимость»;
- объяснять причины изменения светимости переменных звезд;

- описывать механизм вспышек Новых и Сверхновых;
- оценивать время существования звезд в зависимости от их массы;
- объяснять смысл понятий (космология, Вселенная, модель Вселенной, Большой взрыв, реликтовое излучение);
- определять расстояние до звездных скоплений и галактик по цефеидам на основе зависимости «период – светимость»;
- распознавать типы галактик (спиральные, эллиптические, неправильные);
- сравнивать выводы А. Эйнштейна и А.А. Фридмана относительно модели Вселенной;
- обосновывать справедливость модели Фридмана результатами наблюдений «красного смещения» в спектрах галактик;
- формулировать закон Хаббла;
- определять расстояние до галактик на основе закона Хаббла; по светимости Сверхновых;
- оценивать возраст Вселенной на основе постоянной Хаббла;
- обосновывать свою точку зрения о возможности существования внеземных цивилизаций и их контактов с нами.

Выпускник на **профильном уровне** получит возможность научиться:

- отличать исследования в гуманитарных областях от исследований в естественных науках;
- углубить и развить представления о истории науки;
- познакомиться с новейшими разработками в области науки и технологий;
- решать задачи, находящиеся на стыке нескольких учебных дисциплин (межпредметные задачи);
- использовать основной алгоритм исследования при решении своих учебно-познавательных задач;
- применять звездную карту для поиска на небе определенных созвездий и звезд;
- формулировать законы Кеплера, определять массы планет на основе третьего (уточненного) закона Кеплера;
- описывать особенности движения тел Солнечной системы под действием сил тяготения по орбитам с различным эксцентриситетом;
- характеризовать особенности движения и маневров космических аппаратов для исследования тел Солнечной системы;
- описывать природу Луны и объяснять причины ее отличия от Земли;
- проводить сравнение Меркурия, Венеры и Марса с Землей по рельефу поверхности и составу атмосфер, указывать следы эволюционных изменений природы этих планет;
- описывать характерные особенности природы планет-гигантов, их спутников и колец;
- характеризовать природу малых тел Солнечной системы и объяснять причины их значительных различий;
- описывать явления метеора и болида, объяснять процессы, которые происходят при движении тел, влетающих в атмосферу планеты с космической скоростью;
- описывать последствия падения на Землю крупных метеоритов;
- описывать внутреннее строение Солнца и способы передачи энергии из центра к поверхности;

- описывать наблюдаемые проявления солнечной активности и их влияние на Землю;
- сравнивать модели различных типов звезд с моделью Солнца;
- описывать этапы формирования и эволюции звезды;
- характеризовать физические особенности объектов, возникающих на конечной стадии эволюции звезд: белых карликов, нейтронных звезд и черных дыр;
- характеризовать основные параметры Галактики (размеры, состав, структура и кинематика);
- интерпретировать обнаружение реликтового излучения как свидетельство в пользу гипотезы Горячей Вселенной;
- классифицировать основные периоды эволюции Вселенной с момента начала ее расширения – Большого взрыва;
- интерпретировать современные данные об ускорении расширения Вселенной как результата действия антитяготения «темной энергии» – вида материи, природа которой еще неизвестна;
- систематизировать знания о методах исследования и современном состоянии проблемы существования жизни во Вселенной.

Содержание учебного предмета

Раздел 1. Повторение.

Тема 1.1. Системы небесных координат.

Градусная и часовая мера угла. Широта и долгота на поверхности Земли. Полюса, экватор, параллели и меридианы. Понятие небесной сферы. Зенит, надир, полюсы мира. Стороны горизонта, небесный меридиан. Изменение вида звездного неба в течение суток и в течение года. 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, её величина у горизонта. 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.

Тема 1.2. Видимое движение Солнца, Луны и планет.

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. Синодический и сидерический период планеты. Внутренние и внешние планеты. Конфигурации и условия видимости планет. 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.

Тема 1.3. Основы летоисчисления и измерения времени.

Прямое восхождение светила и звездное время. Соотношение звездных и солнечных суток. Местное солнечное время. Всемирное время. Часовые пояса и зоны, гражданское (административное) время, линия перемены дат. 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.

Тема 1.4. Основы небесной механики.

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.

Раздел 2. Звездная астрономия.

Тема 2.1. 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).

Тема 2.2. 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.

Тема 2.3. 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.

Тема 2.4. 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.

Тема 2.5. 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.

Тема 2.6. Солнце.

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

Тема 2.7. Движение звезд.

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

Тема 2.8. 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.

Тема 2.9. 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.

Тема 2.10. 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.

Тема 2.11. Основы галактической астрономии.

Представление о строении нашей Галактики. Движение Солнца в Галактике.

Раздел 3. Астрономическая оптика.

Тема 3.1. Схемы и принципы работы телескопов.

Линзы и зеркала, простейшие оптические схемы телескопов. Построение изображений, фокусное расстояние. Угловое увеличение, масштаб изображения. Выходной зрачок, равнозрачковое увеличение. Представление об ограничении разрешающей способности телескопа (качественно), атмосферное ограничение. Вид различных небесных объектов в телескоп. Представление о приемниках излучения. Монтiroвки.

Тема 3.2. Разрешающая и проникающая способность.

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).

Тема 3.3. 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.

Раздел 4. Небесная механика.

Тема 4.1. 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. Перигей и апогей, скорость движения в этих точках. Параболическая (вторая космическая) скорость. Эксцентриситет и скорости в перигее параболы и гиперболы.

Тема 4.2. 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.

Тема 4.3. 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. Покрывания Луной звезд и планет, условия их наблюдений. Либрации Луны.

Тема 4.4. 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).

Раздел 5. Небесная сфера.

Тема 5.1. Аберрация света и поправки к координатам светил.

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

Тема 5.2. Прецессия оси вращения Земли.

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

Раздел 6. Астрофизика.

Тема 6.1. 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.

Тема 6.2. Основы спектрального анализа.

Спектр излучения. Понятие спектральной линии излучения и поглощения, линейчатый и непрерывный спектр. Спектр атома водорода и водородоподобных ионов. Виды задания спектра.

Тема 6.3. Спектр излучения звезд.

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

Тема 6.4. 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.

Тема 6.5. 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.

Тема 6.6. 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.

Тема 6.7. 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.

Тема 6.8. 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.

Тема 6.9. 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.

Тема 6.10. 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.

Раздел 7. Небесная сфера (часть 2).

Тема 7.1. 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.

Тема 7.2. 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.

Раздел 8. Небесная механика (часть 2).

Тема 8.1. 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).

Тема 8.2. Движение систем с переменной массой.

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.

Раздел 9. Астрофизика (часть 2).

Тема 9.1. Формула Планка.

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

Тема 9.2. Гидростатическое равновесие звезд.

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

Тема 9.3. 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.

Тема 9.4. 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.

Тема 9.5. 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.

Тематическое планирование учебного предмета

Раздел / тема	Количество ак. ч.
10 класс	
Раздел 1. Повторение	24
Тема 1.1. Системы небесных координат	6
Тема 1.2. Видимое движение Солнца, Луны и планет	6
Тема 1.3. Основы летоисчисления и измерения времени	6
Тема 1.4. Основы небесной механики	6
Раздел 2. Звездная астрономия	58
Тема 2.1. Энергия излучения	6
Тема 2.2. Шкала звездных величин	6
Тема 2.3. Зависимость звездной величины от расстояния	6
Тема 2.4. Электромагнитные волны	6
Тема 2.5. Излучение абсолютно чёрного тела	6
Тема 2.6. Солнце	4
Тема 2.7. Движение звезд	4
Тема 2.8. Двойные и затменные переменные звезды	6
Тема 2.9. Планеты и экзопланеты	6
Тема 2.10. Звездные скопления	4
Тема 2.11. Основы галактической астрономии	4
Раздел 3. Астрономическая оптика	24
Тема 3.1. Схемы и принципы работы телескопов	6
Тема 3.2. Разрешающая и проникающая способность	12
Тема 3.3. Основные приёмники излучения	6
Раздел 4. Небесная механика	24
Тема 4.1. Законы Кеплера, движение по эллипсу	6
Тема 4.2. Небесная механика в Солнечной системе	6
Тема 4.3. Система Солнце – Земля – Луна	6
Тема 4.4. Задача двух тел и звездная динамика	6
Раздел 5. Небесная сфера	10
Тема 5.1. Аберрация света и поправки к координатам светил	6
Тема 5.2. Прецессия оси вращения Земли	4
Повторение и обобщение пройденного в 10 классе	28
Звездная астрономия	10
Астрономическая оптика	6
Небесная механика	6
Небесная сфера	6
ИТОГО в 10 классе	168
11 класс	
Раздел 6. Астрофизика	50
Тема 6.1. Квантовая природа света	6
Тема 6.2. Основы спектрального анализа	4

Тема 6.3. Спектр излучения звезд	6
Тема 6.4. Классификация звезд	6
Тема 6.5. Механизмы энерговыделения звезд	6
Тема 6.6. Эволюция нормальных звезд	6
Тема 6.7. Пульсирующие переменные звезды	4
Тема 6.8. Поздние стадии эволюции звезд	4
Тема 6.9. Межзвездная среда	4
Тема 6.10. Галактики и основы космологии	4
Раздел 7. Небесная сфера (часть 2)	16
Тема 7.1. Суточные пути светил (общий случай)	12
Тема 7.2. Галактическая система координат	4
Раздел 8. Небесная механика (часть 2)	12
Тема 8.1. Движение в поле тяжести двух и более тел	6
Тема 8.2. Движение систем с переменной массой	6
Раздел 9. Астрофизика (часть 2)	22
Тема 9.1. Формула Планка	4
Тема 9.2. Гидростатическое равновесие звезд	4
Тема 9.3. Основы спектроскопии	6
Тема 9.4. Физика атмосфер планет	4
Тема 9.5. Основы теории относительности	4
Повторение и обобщение пройденного в 10 – 11 классах	68
Повторение пройденного в 10 классе («Звездная астрономия», «Астрономическая оптика», «Небесная механика», «Небесная сфера»)	18
Астрофизика	24
Небесная сфера (часть 2)	8
Небесная механика (часть 2)	6
Астрофизика (часть 2)	12
ИТОГО в 11 классе	168
ИТОГО за 2 года обучения	336