



# АСТРОНОМИЯ

2017

# Место учебного предмета «Астрономия» в учебном плане

Астрономия будет являться обязательным предметом на уровне среднего общего образования.

Учебным планом предусмотрено изучение астрономии в объеме 35 часов в течение одного учебного года в 10 или в 11 классе.

Выбор класса для изучения астрономии осуществляется образовательной организацией.

# **Цели изучения курса астрономии**

**Основная цель курса астрономии – сформировать целостное представление о строении и эволюции Вселенной, отражающее современную астрономическую картину мира.**

**Основными задачами изучения астрономии на уровне среднего общего образования являются:**

- понимание роли астрономии для развития цивилизации, формировании научного мировоззрения, развитии космической деятельности человечества;
- понимание особенностей методов научного познания в астрономии; формирование представлений о месте Земли и Человечества во Вселенной;
- объяснение причин наблюдаемых астрономических явлений;
- формирование интереса к изучению астрономии и развитие представлений о возможных сферах будущей профессиональной деятельности, связанных с астрономией.

# Обязательный минимум содержания основных образовательных программ

## Предмет астрономии

Роль астрономии в развитии цивилизации. Эволюция взглядов человека на Вселенную.

Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы. Особенности методов познания в астрономии. Практическое применение астрономических исследований. История развития отечественной космонавтики. Первый искусственный спутник Земли, полет Ю.А.Гагарина.

Достижения современной космонавтики.

## Основы практической астрономии

НЕБЕСНАЯ СФЕРА. ОСОБЫЕ ТОЧКИ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ. НЕБЕСНЫЕ КООРДИНАТЫ.

Звездная карта, созвездия, использование компьютерных приложений для отображения звездного неба. Видимая звездная величина. Суточное движение светил. СВЯЗЬ ВИДИМОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА НЕБЕ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ НАБЛЮДАТЕЛЯ.

Движение Земли вокруг Солнца. Видимое движение и фазы Луны. Солнечные и лунные затмения. Время и календарь.

## Законы движения небесных тел

Структура и масштабы Солнечной системы. Конфигурация и условия видимости планет. Методы определения расстояний до тел Солнечной системы и их размеров. НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА. ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС НЕБЕСНЫХ ТЕЛ. ДВИЖЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ.

## Солнечная система

Происхождение Солнечной системы. Система Земля – Луна. Планеты земной группы.

Планеты-гиганты. Спутники и кольца планет. Малые тела Солнечной системы.

АСТЕРОИДНАЯ ОПАСНОСТЬ.

## **Методы астрономических исследований**

Электромагнитное излучение, космические лучи и гравитационные волны как источник информации о природе и свойствах небесных тел. Наземные и космические телескопы, принцип их работы. Космические аппараты. Спектральный анализ. Эффект Доплера. ЗАКОН СМЕЩЕНИЯ ВИНА. ЗАКОН СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА.

### **Звезды**

Звезды: основные физико-химические характеристики и их взаимная связь. Разнообразие звездных характеристик и их закономерности. Определение расстояния до звезд, параллакс. ДВОЙНЫЕ И КРАТНЫЕ ЗВЕЗДЫ. Внесолнечные планеты. ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ. Внутреннее строение и источники энергии звезд. Происхождение химических элементов. ПЕРЕМЕННЫЕ И НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЗВЕЗДЫ. КОРИЧНЕВЫЕ КАРЛИКИ. Эволюция звезд, ее этапы и конечные стадии.

Строение Солнца, солнечной атмосферы. Проявления солнечной активности: пятна, вспышки, протуберанцы. Число Вольфа. РОЛЬ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СОЛНЦЕ. Солнечно-земные связи.

### **Наша Галактика – Млечный Путь**

Состав и структура Галактики. ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ. Межзвездный газ и пыль. Вращение Галактики. ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ.

### **Галактики. Строение и эволюция Вселенной**

Открытие других галактик. Многообразие галактик и их основные характеристики. Сверхмассивные черные дыры и активность галактик. Основы космологии. Красное смещение. Закон Хаббла. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ. Большой Взрыв. Реликтовое излучение. ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ.



❑ Рассчитан на 36 часов изучения в 10–11 классах

❑ Комплект возможно применять:

- в качестве модуля «Астрономия» при изучении физики и естествознания
- в качестве самостоятельного курса
- для организации дополнительного образования учащихся

## Состав УМК:

- ❑ Учебник + ЭФУ
- ❑ Методические рекомендации
- ❑ Сборник задач и упражнений (Готовится к выпуску. III квартал 2017 г.)

На учебник в 2016 году получены положительные экспертные заключения по итогам научной, педагогической (РАО) и общественной экспертизы (РКС)

До формирования нового федерального перечня УМК целесообразно использовать в качестве учебных пособий (Ст.18, п.4 ФЗ от 29.12.2012 №273-ФЗ)

# ОБ АВТОРЕ

## Чаругин Виктор Максимович

профессор астрофизики,  
доктор физ.-мат. наук,  
профессор кафедры теоретической физики Института физики, технологии и  
информационных систем МПГУ,  
академик-секретарь отделения «Физика, астрономия и астрофизика» РАКЦ,  
методист высшей категории,  
автор около 280 научных работ, книг, брошюр, учебников для вузов и школ.

### Профессиональная деятельность

Читает лекции по астрономии, астрофизике, космологии и др.

Занимается теорией и практикой преподавания астрономии в современной школе.

Руководит единственной в России аспирантурой по направлению «Методика преподавания астрономии».

Под его руководством защищено 6 кандидатских и одна докторская диссертации.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
---------------	---

### Глава I. ВВЕДЕНИЕ В АСТРОНОМИЮ

1. Структура и масштабы Вселенной.....	7
2. Далёкие глубины Вселенной.....	12
Подведём итоги.....	14

### Глава II. АСТРОМЕТРИЯ

3. Звёздное небо.....	16
4. Небесные координаты.....	20
5. Видимое движение планет и Солнца.....	22
6. Движение Луны и затмения.....	24
7. Время и календарь.....	28
Подведём итоги.....	32

### Глава III. НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

8. Система мира.....	34
9. Законы движения планет.....	40
10. Космические скорости.....	44
11. Межпланетные полёты.....	46
Подведём итоги.....	48

### Глава IV. СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

12. Современные представления о Солнечной системе.....	50
13. Планета Земля.....	52
14. Луна и её влияние на Землю.....	56
15. Планеты земной группы.....	60
16. Планеты-гиганты. Планеты-карлики.....	64
17. Малые тела Солнечной системы.....	68
18. Современные представления о происхождении Солнечной системы.....	72
Подведём итоги.....	74

### Глава V. АСТРОФИЗИКА И ЗВЁЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ

19. Методы астрофизических исследований.....	76
20. Солнце.....	80
21. Внутреннее строение и источник энергии Солнца.....	86
22. Основные характеристики звёзд.....	91
23. Внутреннее строение звёзд.....	94
24. Белые карлики, нейтронные звёзды, пульсары, чёрные дыры.....	95
25. Двойные, кратные и переменные звёзды.....	98
26. Новые и сверхновые звёзды.....	100
27. Эволюция звёзд: рождение, жизнь и смерть звёзд.....	103
Подведём итоги.....	106

- ❑ Курс ориентирован на новые методы исследования Вселенной с помощью гравитационно-волновых и нейтринных телескопов
- ❑ Ученики смогут найти описание сложных астрономических явлений и подходы к решению современных астрономических проблем на базе знакомых школьникам физических законов
- ❑ Особое внимание уделяется современным достижениям и открытиям в области астрономии
- ❑ В первую очередь это относится к открытию ускоренного расширения Вселенной и большого числа экзопланет, поиску и связям с внеземными цивилизациями

# УМК по астрономии В.М. Чаругина

<b>Глава VI. МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ — НАША ГАЛАКТИКА</b>	
28. Газ и пыль в галактике .....	108
29. Рассеянные и шаровые звёздные скопления .....	110
30. Сверхмассивная чёрная дыра в центре Млечного Пути .....	112
Подведём итоги .....	114
<b>Глава VII. ГАЛАКТИКИ</b>	
31. Классификация галактик .....	116
32. Активные галактики и квазары .....	120
33. Скопления галактик .....	122
Подведём итоги .....	124
<b>Глава VIII. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ</b>	
34. Конечность и бесконечность Вселенной — парадоксы классической космологии .....	126
35. Расширяющаяся Вселенная .....	128
36. Модель горячей Вселенной и реликтовое излучение .....	132
Подведём итоги .....	134
<b>Глава IX. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ</b>	
37. Ускоренное расширение Вселенной и тёмная энергия .....	136
38. Обнаружение планет около других звёзд .....	138
39. Поиск жизни и разума во Вселенной .....	140
Подведём итоги .....	142
Заключение .....	143

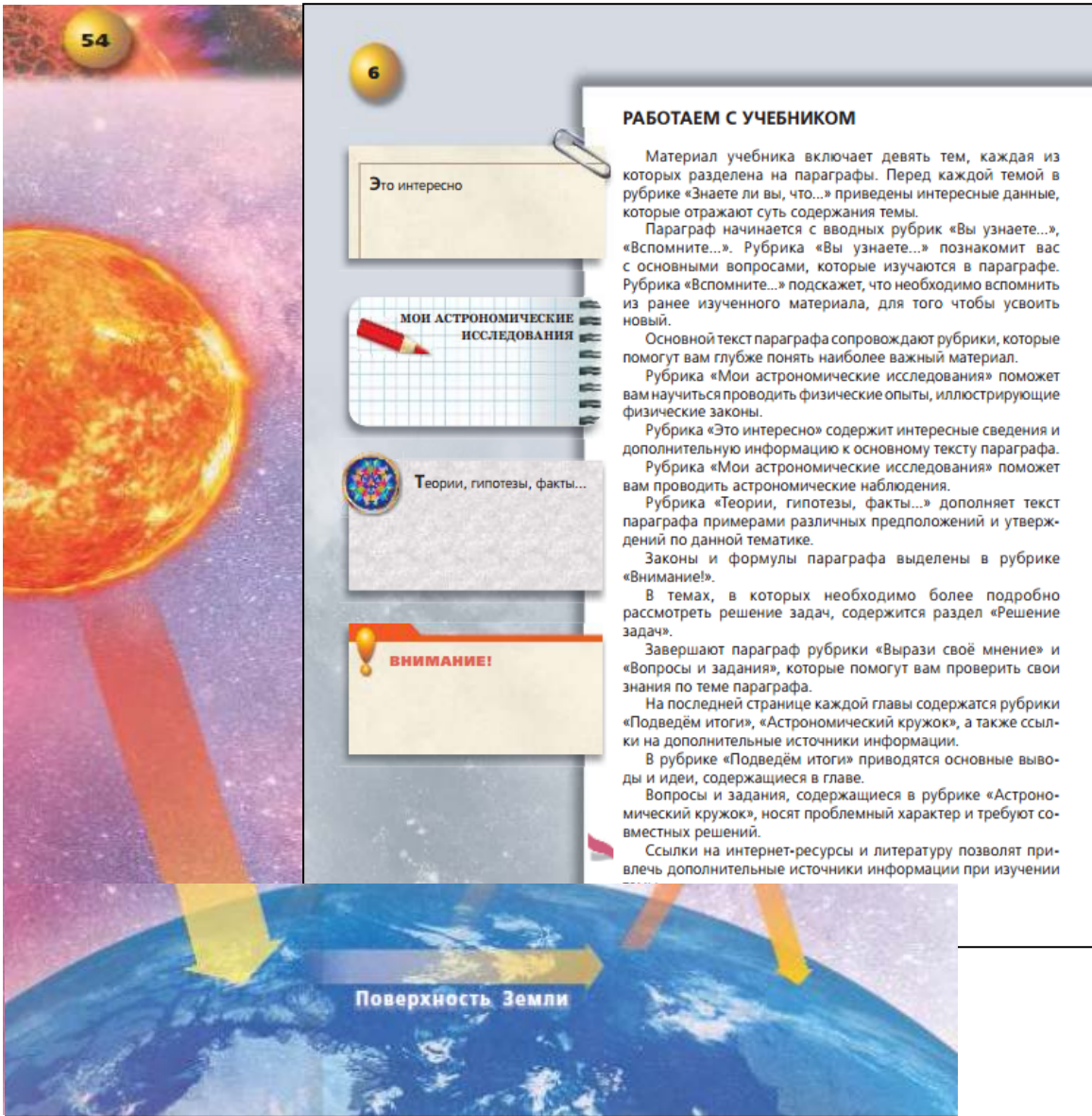
Курс ориентирован на новые методы исследования Вселенной с помощью гравитационно-волновых и нейтринных телескопов.

Ученики смогут найти описание сложных астрономических явлений и подходы к решению современных астрономических проблем на базе знакомых школьникам физических законов.

Особое внимание уделяется современным достижениям и открытиям в области астрономии.

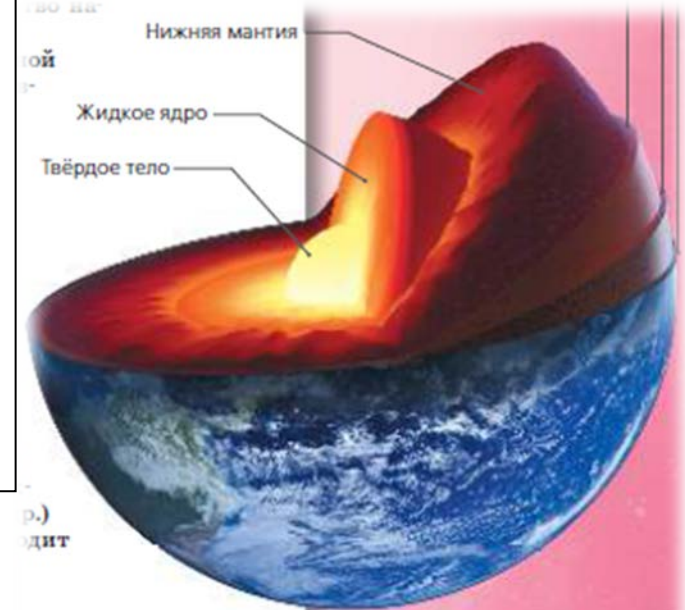
В первую очередь это относится к открытию ускоренного расширения Вселенной и большого числа экзопланет, поиску и связям с внеземными цивилизациями

# Подробная навигация по учебнику



## Отличительные особенности УМК:

- ❑ в новом, современном формате учебной литературы
- ❑ большое количество иллюстративного материала.



# УМК по астрономии В.М. Чаругина

## Подведём итоги

### Глава 5

### АСТРОФИЗИКА И ЗВЁЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ

- МЕТОДЫ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
- СОЛНЦЕ
- ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ СОЛНЦА
- ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЁЗД
- ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗВЁЗД
- БЕЛЫЕ КАРЛИКИ, НЕЙТРОННЫЕ ЗВЁЗДЫ, ПУЛЬСАРЫ, ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ
- ДВОЙНЫЕ, КРАТНЫЕ И ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ
- НОВЫЕ И СВЕРХНОВЫЕ ЗВЁЗДЫ
- ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД

### Основное содержание (параграфы)

### Краткое введение («ярлык») темы

### ГЛАВА 5

### АСТРОФИЗИКА И ЗВЁЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ

#### ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ, ЧТО...

Самая холодная известная звезда — это коричневый карлик «CFRDSIR 1458+108», имеющий температуру всего около 100 °С.

Самая горячая известная звезда — это голубой сверхгигант, находящийся в нашей Галактике под названием «Дзета Кормы». Её температура более 42 000 °С.

### Дополнительные источники информации

Астронет  
<http://www.astronet.ru>

Элементы: Популярный сайт  
о фундаментальной науке  
<http://elementy.ru/>

Популярная механика  
<http://popmech.ru>

### Дискуссионные вопросы

### ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Солнечная система простирается почти до границы облака Оорта и кончается там, где притяжение Солнца сравнивается с притяжением соседних звёзд.
- Планеты земной группы имеют меньшие массы, размеры, состоят из тяжёлых химических элементов, расположены ближе к Солнцу, медленно вращаются, имеют мало спутников, а планеты-гиганты наоборот.
- Большая часть замёрзших комет находится за орбитой Нептуна в поясе Койпера и облаке Оорта.
- Планеты земной группы Меркурий, Венера и Марс по внутреннему строению похожи на Землю.
- Планеты-гиганты имеют большие массы и состоят в основном из лёгких химических элементов водорода и гелия, удерживают вокруг себя по несколько десятков спутников, быстро вращаются, обладают сильными магнитными полями и все имеют гигантские кольца вокруг себя.
- За орбитой Нептуна открыт новый класс планет-карликов. К ним относится Плутон, астероид Церера и другие объекты с размерами около 1000 км.
- Между орбитами Марса и Юпитера движутся около 100 000 астероидов. На их движение большое влияние оказывает притяжение Юпитера.
- Кометы, пролетая по вытянутому эллиптическим орбитам вблизи Солнца, нагреваются, испаряются, а под действием давления света и солнечного ветра образуют гигантские хвосты. Вдали от Солнца они остывают, и хвосты у них исчезают.

#### ПОДРОБНЕЕ...

Дагаев М.М. Книга для чтения по астрономии: Пособие для учащихся. — М.: Просвещение, 1980.

Сурдин В.Г. Солнечная система. — М.: Физматлит, 2008.

Энциклопедия для детей. Т.8. Астрономия. — М.: Аванта+, 2013.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Как вы думаете, на Марсе происходят сильные землетрясения? Аргументируйте свой ответ.
- Как вы думаете: если Луна будет приближаться к Земле, что произойдёт и почему?
- Как вы объясните существование железных и каменных метеоритов?
- Вода на поверхности Марса не может находиться в жидком состоянии. Как можно объяснить наличие высохших русел рек на Марсе?

# ФОРМАТ УЧЕБНИКА

## Задачи урока

12

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Где и как работают самые крупные оптические телескопы.
- Как астрономы исследуют гамма-излучение Вселенной.
- Что увидели гравитационно-волновые и нейтринные телескопы.

### ВСПОМНИТЕ:

- Что изучает астрономия?
- Какими способами изучают Вселенную?
- Из каких объектов состоит Вселенная?

## Мотивация к уроку

## Основной текст

## Дополнительная информация

## 2 ДАЛЕКИЕ ГЛУБИНЫ ВСЕЛЕННОЙ

В последние десятилетия современная астрономия нацелена на изучение самых далёких областей Вселенной и изучение детальной структуры небесных тел. Для этого было построено несколько обсерваторий с гигантским телескопами.

**СОВРЕМЕННЫЕ ЗЕМНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ** Следует отметить южную международную астрономическую обсерваторию в Чили. Благодаря тому, что она находится на высоте около 2635 м, удалось существенно уменьшить влияние атмосферы на формирование изображений небесных тел. Очень Большой Телескоп, состоящий из четырёх телескопов диаметром 8,2 м каждый. С помощью компьютерных технологий они могут работать вместе как гигантский интерферометр с угловым разрешением в несколько миллисекунд дуги.

Чувствительные инфракрасные приёмники света позволили проникнуть в центр Млечного Пути через облака газа и пыли, которые непрозрачны для видимого света, изучить движение отдельных звёзд в центре и обнаружить сверхмассивную чёрную дыру в нём.

Два телескопа с объективами по 10,4 м в диаметре установлены на высоте 4154 м в обсерватории на Гавайских островах. Соединённые вместе с помощью компьютерных технологий, телескопы начали работать, как телескоп диаметром 86 м с пространственным разрешением 0,004" (под таким углом будет видна буква «о» в нашем учебнике с расстояния 100 км).

**КОСМИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ** И всё-таки атмосфера ограничивает наблюдения за небесными телами и мешает их проведению. Поэтому астрономы запускают телескопы за пределы земной атмосферы.

Используя длительные экспозиции, удалось заглянуть в далёкое прошлое Вселенной, в эпоху формирования первых галактик. Впервые были получены изображения протогалактик, первых сгустков материи, которые сформировались менее чем через миллиард лет после Большого взрыва.

Очень Большой Телескоп

Первый прямой снимок экзопланеты

### Очень Большой Телескоп

Лазерный луч, показанный на фотографии, помогает увидеть и оценить искажения, вносимые атмосферой, и автоматически учесть их при обработке, тем самым значительно улучшая снимки. На первом прямом снимке экзопланеты она видна на угловом расстоянии 0,778" от своей звезды коричневого карлика, что при расстоянии до этой звезды 230 св. лет соответствует 35 астрономическим единицам.

В настоящее время в космическом пространстве работает российская космическая обсерватория «РадиоАстрон». Совместно с наземными радиотелескопами обсерватория работает как радиointерферометр. Телескоп движется по очень вытянутой орбите с апогеем до 360 000 км. По пространственному разрешению он сравним с радиотелескопом, который имел бы зеркало диаметром от Земли до Луны. «РадиоАстрон» позволяет получить информацию о структуре галактических и внегалактических радиоисточников на угловых масштабах до 8 микросекунд дуги ( $8 \cdot 10^{-6}$ ").

Сейчас в космическом пространстве вокруг Земли вращается гамма-телескоп имени Ферми. Так как гамма-излучение образуется при высокоэнергичных процессах рождения и аннигиляции частиц и античастиц, при ядерных реакциях, то телескоп позволяет исследовать эти процессы в небесных телах. На рисунке показана карта распределения  $\gamma$ -излучения по всему небу, полученная телескопом Ферми. На фотографии неба в  $\gamma$ -лучах выделяется излучение полос Млечного Пути, которое объясняется остатками взрывов сверхновых звёзд, нейтронных звёзд и чёрных дыр, концентрирующихся на плоскости Млечного Пути. Загадкой для астрономов являются два  $\gamma$ -пузыря, протянувшихся перпендикулярно вверх и вниз от центра. Многие астрономы склонны думать, что в  $\gamma$ -излучении себя проявляют необычные свойства тёмной материи.

В настоящее время мы получаем информацию о небесных телах не только в различных диапазонах электромагнитного излучения. Большое развитие получила нейтринная астрономия, с её помощью удалось заглянуть внутрь Солнца и в ядра взрывающихся сверхновых звёзд. Совершенно новое направление представляет гравитационно-волновая астрономия. Её первые успехи связывают с прямым наблюдением гравитационного излучения, которое, по-видимому, образовалось при слиянии двух чёрных дыр.

Бурное развитие современной астрономии связано как с традиционным развитием наземных обсерваторий, так и с запуском телескопов за пределы земной атмосферы и наблюдениям в нетрадиционных для астрономии диапазонах длин волн — инфракрасном, рентгеновском и  $\gamma$ -диапазоне.

Карта распределения  $\gamma$ -излучения

Один из самых крупных космических оптических телескопов с диаметром зеркала 2,4 м — телескоп Хаббла — уже свыше 27 лет работает на высоте 540 км.



«Столпы Творения» в Туманности Орёл. В них рождаются новые звёзды

## Иллюстрации и, как самостоятельный источник информации

## Итоги урока

### ВОПРОСЫ:

- С какими современными телескопами вы познакомились?
- Расскажите о назначении телескопов?

# ФОРМАТ УЧЕБНИКА

## Основной текст

## Дополнительная информация

(каменных и ледяных) обломков различных размеров — от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров, которые, как крошечные спутники, обращаются вокруг планеты. Эта огромная система колец в сравнении со своим диаметром и шириной удивительно тонкая: её толщина не превышает двух километров.



**Образование кольца у Сатурна и других планет-гигантов связано с разрушающим действием приливов на спутники со стороны планеты. Так как сила тяготения со стороны планеты убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, то ближайшая к планете часть спутника сильнее притягивается к планете, а противоположная — слабее. Разница этих сил — приливная сила — стремится растянуть спутник. Чем ближе спутник к планете, тем эта приливная сила больше. На расстоянии от планеты, примерно равном двум её радиусам, приливная сила сравнивается с собственной силой тяжести на поверхности спутника. Спутник разрушается. Это расстояние получило название предела Роша в честь учёного, рассчитавшего его. У Юпитера и Сатурна кольца расположены как раз на границе предела Роша. По-видимому, большой спутник по каким-то причинам сблизился с планетой до этого расстояния и был разрушен.**

**УРАН И НЕПТУН** По своим физическим свойствам Уран и Нептун являются близнецами, как Венера и Земля. Видимая поверхность (диск) каждой планеты представляет собой плотные слои протяжённой атмосферы, состоящей из молекулярного водорода, гелия, метана и аммиака. Измерения показали, что температура видимой поверхности Урана близка к  $-150^{\circ}\text{C}$ , а Нептуна к  $-170^{\circ}\text{C}$  и повышается в глубинных слоях.

Ось вращения Урана наклонена под углом всего  $8^{\circ}$  к плоскости орбиты, но планета вращается в обратном направлении. Уран как бы катится на боку по плоскости своей орбиты. Благодаря этому на Уране тропики расположены почти у полюсов, а полярные области — около экватора.

В 1977 г. с помощью телескопа, установленного на самолёте, было открыто кольцо вокруг Урана.

В 1986 г. автоматическая межпланетная станция «Вояджер-2» сфотографировала с близкого расстояния кольцо Урана, находящееся на среднем расстоянии около 50 000 км

от планеты. Его толщина составляет всего 1 км. Уран окружён также многочисленным семейством спутников.

Радиус Нептуна равен 24 300 км, масса составляет 17,2 земной массы, средняя плотность —  $1729 \text{ кг/м}^3$ .

У Нептуна восемь спутников, самый крупный — Тритон — обращается вокруг планеты в обратном направлении на расстоянии 355 300 км. Нептун также окружён кольцом.

**ПЛАНЕТЫ-КАРЛИКИ** Термин «карликовые планеты» появился в 2006 г. при разработке новой классификации объектов планетных систем, в том числе Солнечной системы. Причиной для этого послужила череда открытий малых планет за пределами орбиты Нептуна в начале XXI в.

К карликовым планетам Солнечной системы на сегодняшний день относятся Церера, Плутон, Хаумеа, Макемаке и Эрида. Эта группа небесных тел пока что остаётся наименее изученной ввиду их удалённости от центра нашей системы.



Эрида



Церера



Макемаке



Плутон



Хаумеа



Плутон

Одна из планет-карликов — Плутон — с момента своего открытия в 1930 г. и до 2006 г. считалась даже девятой планетой Солнечной системы.

О физической природе Плутона известно очень мало. Он вращается вокруг оси в обратном направлении (как Уран и Венера) с периодом  $6^{\text{д}}9^{\text{ч}}4^{\text{м}}$ .

В 1978 г. у Плутона был открыт первый спутник, названный Хароном, отстоящий от планеты на расстоянии 17 000 км. Плутон и Харон всё время повернуты одной стороной друг к другу, так что их периоды обращения вокруг оси и вокруг друг друга одинаковы и равны  $6^{\text{д}}9^{\text{ч}}4^{\text{м}}$ . Плутон и Харон называли двойной планетой. Позже у Плутона были обнаружены ещё 4 спутника.

### ЗАДАНИЯ:

- Измерьте высоту вулканического выброса на спутнике Ио и оцените скорость, с которой вещество выбрасывается из жерла вулкана. Радиус Ио равен 1820 км, масса  $8,9 \cdot 10^{22} \text{ кг}$ .
- Оцените ширину щели Кассини в километрах.

## Иллюстрации и, как самостоятельный источник информации

## Итоги урока

# ФОРМАТ УЧЕБНИКА

## Применение знаний на практике

## Основной текст

84

### МОИ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведите наблюдения за солнечными пятнами.

#### «ПОМОЩНИК»

- Наведите телескоп на Солнце. Ни в коем случае не смотрите в окуляр! Сожжете глаза!
- Спроектируйте изображение Солнца на белый экран и зарисуйте.
- Подсчитайте: полное число пятен  $N$  и число групп пятен  $g$ . Отдельное пятно тоже считается группой.
- Подсчитайте число Вольфа  $W = 10g + M$ , которое характеризует солнечную активность.
- Если возможно, повторите наблюдения через несколько дней. Обратите внимание на перемещение пятен по диску Солнца.

85

излучений, образующихся в более глубоких слоях Солнца, поэтому мы не можем заглянуть в его подфотосферные слои. В фотосфере видна зернистая структура, получившая название грануляции (6).

Характерные угловые размеры гранул, напоминающих по виду рисовые зёрна, составляют 1–2', но линейные их размеры достигают тысяч и более километров. Наблюдения показывают, что грануляция находится в непрерывном движении и изменении. Гранулы живут от 5 до 10 мин, на их месте появляются новые.

Исследование характера движения вещества в гранулах показало, что в центре более яркой и горячей части гранулы происходит подъём из-под фотосферы более горячего вещества и опускание под фотосферу более тёмного и холодного вещества, окаймляющего гранулу. Скорость подъёма и опускания газа составляет около 1 км/с, а разница между температурой горячего и холодного вещества близка к 300 К. Таким образом, грануляция на Солнце указывает на то, что энергия в фотосферу поступает из более глубоких и горячих слоёв Солнца путём конвекции.

На ярком фоне фотосферы наблюдаются тёмные пятна. Размеры солнечных пятен могут достигать свыше 10000 км! Такие крупные пятна хорошо видны даже невооружённым глазом (конечно, только сквозь тёмный светофильтр).

На фоне ослепительно яркой фотосферы пятно нам кажется чёрным. Однако измерения показали, что яркость пятен в 3–4 раза меньше яркости окружающей фотосферы, а их реальный цвет — красноватый. По этим измерениям, используя закон излучения Стефана–Больцмана, легко оценить температуру пятен, которая оказалась около 4000 К.

Наблюдения показали наличие сильного магнитного поля в пятнах. В некоторых пятнах магнитная индукция достигает 0,5 Тл, а в то время как в среднем в фотосфере она составляет  $10^{-4} - 10^{-3}$  Тл.

Сильное магнитное поле пятен является причиной их низкой температуры. Это объясняется тем, что вещество фотосферы представляет собой плазму, состоящую из заряженных частиц. Сильное магнитное поле тормозит движение плазмы, замедляет её конвекцию и тем самым ослабляет поступление тепла из внутренних слоёв Солнца. В результате температура вещества в области пятен уменьшается, и пятна выглядят тёмными на фоне яркой фотосферы.

На рисунке 8 показана фотография Солнца, полученная во время полного солнечного затмения. На снимке хорошо видна внешняя часть солнечной атмосферы — корона, имеющая вид лучистого жемчужного сияния, яркость которого в миллион раз меньше яркости фотосферы. Солнечная корона прослеживается до расстояний в десять и более радиусов Солнца.

Наблюдения показали, что солнечная корона нагрета до температуры около  $2 \cdot 10^6$  К. При такой температуре вещество короны представляет собой полностью ионизованную плазму, которая в основном излучает в рентгеновских лучах.

И действительно, при наблюдениях в рентгеновские телескопы, которые установлены на космических астрономических обсерваториях за пределами земной атмосферы, солнечная корона представляется в полной красе, в то время как поверхность Солнца — её фотосфера — практически не видна.

Во время полных солнечных затмений на краю Солнца во внутренних слоях солнечной короны наблюдаются протуберанцы — струи горячего вещества, имеющие вид выступов и фонтанов (8). Одни из них — спокойные протуберанцы — в течение многих часов висят над солнечной поверхностью, другие — эруптивные (взрывные) — внезапно с огромной скоростью валют над поверхностью, быстро поднимаются до высоты в десятки и даже сотни тысяч километров и также быстро падают вниз (8).

Из короны в межпланетное пространство истекает непрерывный поток частиц (протонов, ядер гелия, ионов, электронов), называемый солнечным ветром. Частицы солнечного ветра покидают солнечную корону со скоростью около 800 км/с, поэтому солнечное притяжение не может их удержать. Вблизи Земли скорость солнечного ветра достигает 400 км/с.

**СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ.** Наблюдения показывают, что число солнечных пятен меняется со временем с периодом около 11 лет.

Когда наблюдается максимальное число пятен, то говорят о максимуме солнечной активности. В годы максимума солнечной активности значительно возрастает число мощных протуберанцев, одновременно с солнечной активностью меняется и форма солнечной короны.

Одним из самых значительных проявлений солнечной активности являются солнечные вспышки, во время которых выделяется колоссальная энергия — в течение десятка минут до  $10^{25}$  Дж энергии.

Наблюдения со спутников установили, что во время солнечных вспышек происходит резкое увеличение ультрафиолетового излучения, появляется мощное рентгеновское и гамма-излучение.

Датчики быстрых заряженных частиц, установленные на искусственных спутниках, показали, что при мощных солнечных вспышках в межпланетное пространство выбрасываются с огромными скоростями, иногда доходящими до 100000 км/с, мириады частиц, обладающих большой кинетической энергией и получивших название солнечных космических лучей. Их основной состав — ядра атомов водорода, гелия, а также электроны.

Вспышки и другие проявления солнечной активности оказывают значительное влияние на биологические земные явления, на физические условия в земной атмосфере и околоземном космическом пространстве. Так, с отсутствием пятен в течение почти 70 лет в XVIII в. связывают с малым ледниковым периодом, наступившим в Европе в то время. Рост деревьев, распространение эпидемий и даже войны подвержены одиннадцатилетнему циклу солнечной активности.



Советский учёный А. Д. Чижевский собрал подробные сведения о периодичности эпидемических заболеваний и сопоставил их с данными о солнечной активности. На основании обнаруженной связи он в 1929 г. предсказал некоторые эпидемии на 35 лет вперёд. Так, семь из восьми предсказанных Чижевским эпидемий гриппа действительно произошли.

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Каков химический состав Солнца?
- Опишите строение солнечной атмосферы.
- Что такое солнечная активность?
- Какие явления на Земле связаны с солнечной активностью?

## Дополнительная информация

## Иллюстрации и, как самостоятельный источник информации

## Итоги урока

# Межпредметные связи

40

9

## ВЫ УЗНАЕТЕ:

- По каким законам движутся планеты.
- Как определить массы планет по элементам их движения.

## ВСПОМНИТЕ:

- Что такое эллипс и каковы его основные элементы?
- Как формулируется закон всемирного тяготения?



Иоганн Кеплер  
(1571—1630)

Немецкий математик, астроном, механик, оптик. Первооткрыватель законов движения планет Солнечной системы.

## ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ

Поместив Землю в центр Солнечной системы, Коперник полагал, что планеты движутся равномерно по окружностям. Но к XVI в. с повышением точности астрономических наблюдений стало ясно, что теория движения планет требует уточнения. Большую роль в этом сыграли наблюдения великого датского астронома Тихо Браге (1546—1601). В течение многих лет он изучал движение планет в специально выстроенной обсерватории. Его наблюдения отличались высокой точностью, несмотря на то что учёный смотрел на небесные тела невооружённым глазом. Телескоп был изобретён только в 1610 г. Наблюдения Тихо Браге были обработаны знаменитым астрономом Иоганном Кеплером.

**ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА** Изучая движение планеты Марс по наблюдениям Тихо Браге и используя расчёты Коперника, Кеплер сначала изобразил орбиты Земли и Марса окружностями с радиусами 1 и 1,52 а.е. Чтобы объяснить неравномерное движение Солнца по эклиптике, Кеплер сместил его из центра земной орбиты на  $1/100$  (0,017) его радиуса. Но многочисленные попытки изобразить орбиту Марса окружностью с центром в Солнце или вне его окончились неудачей: вычисленные положения планеты на небе не совпадали с наблюдаемыми.

Тогда Кеплер отверг многовековое убеждение в круговом равномерном движении планет и стал подбирать для Марса более подходящую форму орбиты. Лучшее решение нашёл эллипс с Солнцем в одном из фокусов и эксцентриситетом  $e = 0,091$ .



Следовательно, принятое Кеплером положение Солнца вне центра круговой орбиты Земли означало, что Земля тоже движется по эллиптической орбите с небольшим эксцентриситетом  $e = 0,017$  и её движение, как и движение Марса, неравномерно.

**Математика**  
(понятие эллипса)

**физика (закон всемирного тяготения)**

**Эллипсом** называют замкнутую кривую линию на плоскости, обладающую следующим свойством: сумма расстояний от каждой её точки до двух данных точек  $F_1$  и  $F_2$ , называемых фокусами, есть величина постоянная.

41

**ПЕРВЫЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА** В 1616 г. Кеплер сформулировал свой первый закон: орбита каждой планеты есть эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Следовательно, орбиты всех планет Солнечной системы имеют один общий фокус, расположенный в центре Солнца.

На рисунке **a** изображена орбита планеты  $M$  в виде эллипса с Солнцем в одном из фокусов  $F_1$ . Центр эллипса находится в точке  $O$ , большая ось  $AP = 2a$ , полуось  $AO = OP = a$ .



Ближайшую к Солнцу точку  $P$  орбиты называют перигелием, а наиболее удалённую точку  $A$  — афелием.

При движении планеты  $M$  вокруг Солнца её гелиоцентрическое расстояние (расстояние от Солнца) равно модулю радиус-вектора  $r = F_1M$ . Перигелийское расстояние  $Q = a(1 - e)$ , афелийское  $q = a(1 + e)$ . Первому закону Кеплера подчиняются также движения комет и астероидов.

В дальнейшем И. Ньютон, используя открытый им Закон всемирного тяготения, дал более общую формулировку рассматриваемого нами закона.

**Первый обобщённый закон Кеплера:** под действием силы притяжения одно небесное тело движется в поле тяготения другого небесного тела по одному из конических сечений — кругу, эллипсу, параболе или гиперболе.

Эксцентриситеты для окружностей  $e = 0$ , для эллипсов  $0 < e < 1$ , для парабол  $e = 1$ , для гипербол  $e > 1$ .

Эллипсы планетных орбит мало отличаются от окружностей.

В Солнечной системе наибольший эксцентриситет имеет орбита Меркурия  $e = 0,2056$ , эксцентриситет орбиты Земли  $e = 0,0167$ .

Знаменитая комета Галлея имеет эксцентриситет орбиты  $e = 0,967$ , в перигелии она подходит к Солнцу на расстояние 0,587 а.е., а в афелии удаляется от Солнца на расстояние 35,3 а.е. — за орбиту Нептуна.



**Эксцентриситетом** называют отношение расстояния между фокусами эллипса к его большей оси (к большому диаметру):

$$e = \frac{F_1F_2}{2a}$$



## МОИ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нарисуйте эллипс. Укажите на рисунке основные элементы этой геометрической фигуры.

### «ПОМОЩНИК»

- Простой способ вычерчивания эллипса следует из его определения. Воткните в фокусы  $F_1$  и  $F_2$  две булавки, наденьте на них нитку со связанными концами.
- Если теперь двигать карандашом по бумаге так, чтобы нитка всё время оставалась натянутой, то получится эллипс.
- Укажите основные элементы полученного эллипса.
- Определите эксцентриситет полученного эллипса.

# Метапредметные результаты

Овладение навыками самостоятельного приобретения новых знаний, организации учебной деятельности, постановки целей, планирования, умение самостоятельно планировать пути достижения целей, в том числе альтернативные;

## ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Каким образом можно приблизительно проследить за эклипкой на звёздном небе?
- Как вы думаете, отличается ли и на сколько продолжительность года в солнечных и звёздных сутках?
- Если бы Луна двигалась точно по эклиптике, то как часто происходили бы солнечные и лунные затмения?
- Подсчитайте, сколько дней проходит от весеннего до осеннего равноденствий и от осеннего до весеннего равноденствий. На сколько отличается продолжительность весны и лета, осени и зимы? На что это указывает?
- Можно ли использовать описания затмений в древности во время каких-то событий для датировки этих событий?

## ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Как вы думаете, если бы вторая космическая скорость для какого-то тела была чуть выше скорости света, можно было бы общаться с жителями такого тела? Аргументируйте свой ответ.
- Как вы думаете, если бы тепловая скорость каких-то молекул в атмосфере планеты превышала вторую космическую скорость, сохранились бы в атмосфере такие молекулы?

## ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Как вы думаете, химический состав Солнца в ядре сильно отличается от химического состава фотосферы? Аргументируйте свой ответ.
- Как оценить температуру поверхности Солнца по непрерывному спектру его излучения?
- Как вы можете объяснить появление тёмных спектральных линий в солнечном спектре с точки зрения атомных процессов?
- Объясните, почему по наблюдениям солнечных нейтрино мы заглядываем в ядро Солнца, а с помощью исследования потоков излучения мы этого сделать не можем.

# Личностные результаты

Сформированность познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей учащихся

«Астрономический блокнот»

38

Когда мы едем на поезде или в автомобиле, то складывается впечатление, что все окружающие предметы движутся нам навстречу. Чем ближе предмет, тем быстрее для него это кажущееся движение, а очень далёкие предметы движутся так медленно, что долгое время кажется, будто они едут вместе с нами, мы видим их в одном и том же направлении. Подобным образом можно охарактеризовать годовичное движение Земли, которое проявляется в кажущемся встречном движении всех небесных тел, а не одного только Солнца. Понятно, что чем дальше светило, тем меньше это смещение, тем труднее его заметить.

**ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИЙ ГОДИЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС** Земля обращается вокруг Солнца, поэтому нам кажется, что близкие звёзды периодически смещаются на фоне далёких звёзд.

Наибольшее в течение года смещение звёзды относительно среднего положения называется годовичным параллаксом. На рисунке видно, что годовичный параллакс — это угол  $\pi$ , под которым звёздный луч со звезды, удалённой на расстояние  $r$ , виден радиусом  $a_0$  земной орбиты:

$$\sin \pi = \frac{a_0}{r}$$

Гелиоцентрический параллакс определяют путём измерения из двух положений Земли на её орбите параллактического смещения звезды на небесной сфере. Ясно, что, если бы Земля стояла на месте, а Солнце обращалось вокруг неё, как в геоцентрической системе мира, такого параллактического смещения звёзд не было бы.

Самая близкая к нам звезда  $\alpha$  Центавра (это тройная звезда, ближайшая в ней — Проксима Центавра) имеет параллакс  $\pi = 0,75''$ . Зная годовичный параллакс звезды, можно найти расстояние до неё.

Видно, что расстояние до звезды

$$r = \frac{a_0}{\sin \pi}$$

где  $a_0 = 1 \text{ а. е.} = 149,6 \text{ млн км}$  — среднее расстояние от Земли до Солнца.

Учитывая, что при малых углах  $\pi$  радианной мере измерения углов  $\sin \pi \approx \pi$ , и что  $1 \text{ рад} = 206\,265''$ , имеем  $r = 206\,265 \cdot a_0 / \pi''$ . Здесь угол  $\pi''$  выражен в секундах дуги.

В астрономии за единицу расстояний до звёзд принята величина 1 парсек =  $1 \text{ пк} = 206\,265 \cdot a_0 = 3 \cdot 10^{13} \text{ м} = 3,26 \text{ св. л.}$

Тогда

$$r_{\text{пк}} = \frac{1}{\pi''}$$

Подставляя в эту формулу параллакс звезды  $\alpha$  Центавра, имеем  $r_{\text{пк}} = 1/\pi'' = 1/0,75 = 1,4 \text{ пк}$ , так что свет от  $\alpha$  Центавра до Земли идёт 4,3 года.

39

Первым, кто попытался измерить параллактическое смещение звёзд и тем самым проверить теорию Коперника, был Тихо Браге. До изобретения телескопа его измерения положения звёзд невооружённым глазом были самыми точными. Путём наблюдений он установил, что смещения звёзд нет и что Коперник не прав. Тихо Браге не предполагал, что звёзды находятся так далеко, что при его точности измерений углов около  $1''$ , определяемой свойствами глаза, он в принципе не смог бы измерить параллаксы звёзд.

Астрономам удалось определить параллаксы некоторых звёзд только в 1840 г. В наше время с помощью космических телескопов возможно измерять параллаксы звёзд до значений менее  $0,001''$ .


Когда мы едем на поезде или в автомобиле, то складывается впечатление, что все окружающие предметы движутся нам навстречу. Чем ближе предмет, тем быстрее для него это кажущееся движение, а очень далёкие предметы движутся так медленно, что долгое время кажется, будто они едут вместе с нами, мы видим их в одном и том же направлении. Подобным образом можно охарактеризовать годовичное движение Земли, которое проявляется в кажущемся встречном движении всех небесных тел, а не одного только Солнца. Понятно, что чем дальше светило, тем меньше это смещение, тем труднее его заметить.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- В чём различие геоцентрической и гелиоцентрической систем мира?
- Максимальное восточное удаление Венеры от Солнца составляет примерно  $46''$ . Чему равно расстояние от Солнца до Венеры в а. е.?
- Нижнее соединение Венеры повторяется через 1 год 7 месяцев. Почему прохождение Венеры по диску Солнца бывает очень редко (через 121,5 года, 105,5 и 8 лет)?

# Личностные результаты

- Убежденность в возможности познания природы, в необходимости разумного использования достижений науки и технологий для дальнейшего развития человеческого общества, уважение к творцам науки и техники, отношение к физике как элементу общественной культуры



чёрные дыры. Поэтому наиболее разработанной моделью квазара является модель с массивной сверхмассивной чёрной дырой, расположенной в центре галактики.

121

Как же определить размеры квазаров? Они настолько малы и расположены так далеко, что ни один телескоп пока не может различить их структуру. Но в оптическом и рентгеновском диапазонах наблюдается сравнительно быстрая переменность с характерным временем  $\Delta t$  около суток. Согласно принципу причинности размер области излучения не может превышать величины

$$c \cdot \Delta t \approx 300\,000 \text{ км/с} \cdot 24 \text{ ч} = 26 \text{ млрд км} = 170 \text{ а. е.},$$

поэтому, как мы видим, квазар имеет размеры, сравнимые с размерами Солнечной системы. И в этом компактном объёме излучается энергия, сравнимая с излучением тысяч миллиардов Солнц. Теперь понятно, почему для описания его природы привлекается сверхмассивная чёрная дыра.

Данное мощное и мощное выделение энергии может быть полностью объяснено выпадением вещества галактики на чёрную дыру. Масса такой чёрной дыры составляет около  $10^6 M_\odot$ , а её радиус —  $3 \cdot 10^6 \text{ км}$ . Находясь в центре галактики с высокой звёздной плотностью, такая чёрная дыра может захватывать целые звёзды.

При падении на чёрную дыру звезда разрушается и формирует диск вокруг неё.


Потенциальная энергия разрушенной звезды переходит в кинетическую и тепловую.

Диск нагревается до миллионов кельвинов и излучает мощное рентгеновское, оптическое и другие виды излучений, формирует направленный выброс вещества со скоростью, близкой к скорости света.

Для обеспечения наблюдаемой светимости квазаров достаточно, чтобы чёрная дыра захватывала хотя бы одну звезду в год.

При высоких плотностях звёзд в ядрах галактик такие частые захваты звёзд чёрной дырой вполне реальны. В обычных галактиках плотность звёзд в ядре низка, поэтому захваты звёзд редки, и мы не видим проявления большой активности чёрных дыр у обычных галактик.


Квазар



**вопросы и задания:**

- Опишите модель квазара.
- Что такое активные галактики?

«Теории, гипотезы, факты»



Как же определили размеры квазаров? Они настолько малы и расположены так далеко, что ни один телескоп пока не может различить их структуру. Но в оптическом и рентгеновском диапазонах наблюдается сравнительно быстрая переменность с характерным временем  $\Delta t$  около суток. Согласно принципу причинности размер области излучения не может превышать величины

$$c \cdot \Delta t \approx 300\,000 \text{ км/с} \cdot 24 \text{ ч} = 26 \text{ млрд км} = 170 \text{ а. е.},$$

поэтому, как мы видим, квазар имеет размеры, сравнимые с размерами Солнечной системы. И в этом компактном объёме излучается энергия, сравнимая с излучением тысяч миллиардов Солнц. Теперь понятно, почему для описания его природы привлекается сверхмассивная чёрная дыра.

# Личностные результаты

- Сформированность познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей учащихся

«Мои астрономические исследования»

24

## 6 ДВИЖЕНИЕ ЛУНЫ И ЗАТМЕНИЯ

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое сидерический месяц и синодический месяц.
- Почему происходят солнечные и лунные затмения.
- Почему затмения Солнца и Луны происходят вблизи узлов лунной орбиты.
- Как предсказывать затмения.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Как движется Солнце по эклиптике?
- Как изменяется положение планет на небесной сфере?

Луна издавна привлекала внимание людей как ближайшее к Земле небесное тело и её естественный спутник. Среднее расстояние от Луны до Земли 384400 км, средняя скорость её движения по орбите составляет 1 км/с. Многие явления на Земле связаны с Луной.

**ДВИЖЕНИЕ ЛУНЫ** Наблюдая несколько вечеров подряд положение Луны среди звёзд, можно заметить, что она смещается по небесной сфере с запада на восток, как и Солнце. Каждый день она восходит и заходит позже, чем накануне, почти на 52 мин. Сдвигается Луна в ту же сторону, что и Солнце, но значительно быстрее: всего за 27,3 суток она описывает полный круг и возвращается в то же место среди звёзд.

Этот промежуток времени равен периоду обращения Луны вокруг Земли; он получил название звёздного или сидерического месяца (периода).

В то же время Луна медленно вращается вокруг своей оси в прямом направлении с периодом, равным сидерическому месяцу, вследствие чего она постоянно повернута к Земле одной стороной. Поэтому с Земли всегда видно одно полушарие Луны. Обратную её сторону впервые удалось увидеть только 7 октября 1959 г., когда советская автоматическая станция «Луна-3» облетела Луну и сфотографировала её обратную сторону, передав снимки на Землю.

Видимый путь Луны среди звёзд представляет собой круг, наклонённый к плоскости эклиптики под углом  $i$ , который составляет примерно  $5^\circ$ . Таким образом, Луна может отклоняться от эклиптики всего на  $5^\circ$ , поэтому она, подобно Солнцу, практически не выходит из пояса зодиакальных созвездий.

Плоскость лунной орбиты пересекается с плоскостью земной орбиты (плоскостью эклиптики) по линии узлов, проходящей через оба лунных узла и центр Земли:  $\Omega$  — восходящий узел лунной орбиты,  $\omega$  — нисходящий узел.

**ФАЗЫ ЛУНЫ** Луна, подобно Земле, представляет собой тёмное непрозрачное шарообразное тело, светящееся отражённым солнечным светом. Солнце всегда освещает приблизительно половину этого шара, другая половина остаётся тёмной. Так как к Земле обычно бывают обращены и часть светлого видимого полушария, и часть тёмного, то Луна большую часть времени кажется нам неполною, представляя ту или иную фазу.

Лунной фазой (от греч. *фазис* — проявление) называется вид Луны на небе.

На рисунке показаны положения Луны относительно Земли и Солнца для различных фаз. Солнце находится очень далеко справа сверху. Так как диаметр Солнца в 400 раз больше лунного и находится оно в 400 раз дальше Луны, то его лучи можно считать параллельными.

Во время новолуния, когда Луна проходит между Землёй и Солнцем, к нам обращена её неосвещённая тёмная сторона. Луна тогда не видна. Когда она передвинется в следующее положение (по стрелке), к нам повернётся узкая полоска светлого полушария (справа). В это время Луна видна в виде узкого серпа, обращённого выпуклостью вправо. Говорят, что мы видим молодую «растущую» Луну, которая появляется в вечерние часы после захода Солнца.

Через неделю после новолуния у Луны видна ровно половина освещённого диска. Мы видим тогда освещённую правую половину лунного диска. Эта фаза называется *первой четвертью*. Затем к нам поворачивается всё большая и большая часть освещённого полушария, пока ещё через неделю не наступит *полнолуние*. В это время Солнце, Луна и Земля находятся почти на одной прямой. После этого Луна начинает убывать: с каждым днём скрывается от наших глаз всё большая часть светлого полушария, и с правой стороны диска появляется всё больший «ушерб».

Через неделю после полнолуния наступает *последняя четверть*: мы видим с Земли освещённую левую половину лунного диска. Наконец, Луна принимает форму серпа, обращённого выпуклостью влево (говорят, что мы видим «старую» Луну; она видна в утренние часы перед восходом Солнца), и вскоре исчезает. Затем опять наступает новолуние.

Интервал времени между двумя последовательными новолуниями составляет 29,5 суток и называется синодическим месяцем (период). Синодический месяц лежит в основе лунного календаря.

**СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ** При движении Луна заслоняет (покрывает) звёзды зодиакальных созвездий, по которым проходит лунный путь. Значительно реже происходят покрытия Луной планет, оказавшихся на небе в непосредственной близости к лунному пути. Периодически Луна частично или полностью заслоняет Солнце — тогда происходит *солнечное затмение*.

25

## Фазы Луны

Первая четверть

Новолуние

Полнолуние

Последняя четверть

Растущая Луна

Стареющая Луна

Орбита Луны

Эклиптика

Лунный путь

Знаки узлов  $\Omega$  и  $\omega$  представляют древние знаки драконов, так как в старину (например, в Древнем Китае) полагали, что в узлах притаились драконы, которые заглатывают Солнце и Луну, если они слишком приблизились к ним. Поэтому во время затмений Солнца люди барабанили, взрывали ракеты, чтобы испугать драконов и спасти Солнце.

## МОИ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведите наблюдения за изменениями фаз Луны. Составьте лунный календарь.

**«ПОМОЩНИК»**

- В течение нескольких дней в одно и то же время понаблюдайте за изменениями фазы Луны, её положения на небесной сфере.
- Опишите свои наблюдения.
- В какой части горизонта расположен серп молодой Луны? В какое время и где восходит полная Луна?

## МОИ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ


Проведите наблюдения за изменениями фаз Луны. Составьте лунный календарь.

**«ПОМОЩНИК»**

- В течение нескольких дней в одно и то же время понаблюдайте за изменениями фазы Луны, её положения на небесной сфере.
- Опишите свои наблюдения.
- В какой части горизонта расположен серп молодой Луны? В какое время и где восходит полная Луна?

# Метапредметные результаты

Овладение навыками самостоятельного приобретения новых знаний, организации учебной деятельности, постановки целей, планирования, умение самостоятельно планировать пути достижения целей, в том числе альтернативные;




**МОИ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Нарисуйте эллипс. Укажите на рисунке основные элементы этой геометрической фигуры.

**«ПОМОЩНИК»**

- Простой способ вычерчивания эллипса следует из его определения. Воткните в фокусы  $F_1$  и  $F_2$  две булавки, наденьте на них нитку со связанными концами.
- Если теперь двигать карандашом по бумаге так, чтобы нитка всё время оставалась натянутой, то получится эллипс.
- Укажите основные элементы полученного эллипса.
- Определите эксцентриситет полученного эллипса.




**МОИ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Составьте план лунной поверхности.

**«ПОМОЩНИК»**

- Используя бинокль или телескоп, определите крупные формы рельефа лунной поверхности.
- Нарисуйте план лунной поверхности в выбранном масштабе.
- Найдите карту Луны и сравните со своим планом. Напишите названия объектов вашего плана.



**МОИ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Проведите наблюдения за солнечными пятнами.

**«ПОМОЩНИК»**

- Наведите телескоп на Солнце. **Ни в коем случае не смотрите в окуляр! Сожжёте глаза!**
- Спроектируйте изображение Солнца на белый экран и зарисуйте.
- Подсчитайте полное число пятен  $N$  и число групп пятен  $g$ . Отдельное пятно тоже считается группой.
- Подсчитайте число Вольфа  $W = 10g + N$ , которое характеризует солнечную активность.
- Если возможно, повторите наблюдения через несколько дней. Обратите внимание на перемещение пятен по диску Солнца.

## Глава 1

# ВВЕДЕНИЕ В АСТРОНОМИЮ

■ СТРУКТУРА И МАСШТАБЫ  
ВСЕЛЕННОЙ

■ ДАЛЁКИЕ ГЛУБИНЫ  
ВСЕЛЕННОЙ

### ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ, ЧТО...

Число звёзд в нашей Галактике Млечный Путь примерно 200 млрд. Вокруг каждой из них, возможно, вращаются планеты, и на некоторых есть жизнь. Во Вселенной существует более чем 100 млрд галактик, и в каждой столько звёзд, как в Млечном Пути или даже больше! Посмотрите, как огромна Вселенная! Ведь в ней  $2 \cdot 10^{22}$  звёзд, а это

20 000 000 000 000 000 000 000!

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что изучает астрономия.
- Каковы методы изучения Вселенной.
- Каковы современные представления о Вселенной.

### ВСПОМНИТЕ:

- Какие вы знаете небесные тела?
- Как называется наша Галактика?

**1** Световой год (св. г.) — путь, который свет проходит за один год. Если скорость света  $c$  — максимальная скорость, известная в природе, равна 300 000 км/с, а число секунд в году

$$t = 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с} = 31560000 \text{ с},$$

$$10^1 \text{ св. г.} = c \cdot t = 9,47 \cdot 10^{17} \text{ км}.$$

Туманность Андромеды



## СТРУКТУРА И МАСШТАБЫ ВСЕЛЕННОЙ

Изучение движения Солнца, Луны, звёзд и других небесных тел играло важную роль в развитии всех цивилизаций на Земле, начиная с самых древних времён.

**НАУКА АСТРОНОМИЯ** Наука о небесных телах получила название астрономия (от древнегреч. слов *астрон* — звезда и *номос* — закон). Она изучает их видимые и действительные движения и законы, определяющие эти движения; форму, размер, массу и рельеф поверхности; природу и физическое состояние небесных тел; взаимодействие между ними, их эволюцию — вероятную прошлую историю и будущее развитие. Астрономы изучают не только отдельные небесные тела, объектом их исследований является вся Вселенная в целом.

**ИЗУЧЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ** Самые крупные из существующих наземных и космических телескопов «заглядывают» в космическое пространство на расстояния свыше десятка миллиардов световых лет. Это означает, что лучам света, излучённым самыми далёкими галактиками и квазарами, требуется свыше десятка миллиардов лет, чтобы дойти до Земли.

Внутри этой, доступной для наблюдений, части Вселенной имеется несколько десятков миллиардов галактик, похожих на нашу Галактику, или на гигантскую спиральную галактику М31, так называемую Туманность Андромеды, или на гигантскую эллиптическую галактику М81 в созвездии Девы. Каждая галактика содержит десятки и сотни миллиардов звёзд, похожих на наше Солнце. Таким образом, полное число звёзд в наблюдаемой части Вселенной составляет порядка  $10^{23}$ .

Полную массу вещества, заключённого в этих звёздах, можно рассчитать, умножив это число на массу Солнца.

Масса Солнца  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$  кг, поэтому масса всех звёзд в видимой части Вселенной составляет примерно  $2 \cdot 10^{53}$  кг. Огромная величина!

Несмотря на большое значение массы звёзд, главное свойство видимой Вселенной — пустота. Действительно, если мы посмотрим в безлунную ночь на небо, то в лучшем случае сможем насчитать около 2—3 тыс. звёзд, рассеянных по небу Северного полушария. С учётом звёзд Южного полушария это составит всего около

4—6 тыс. звёзд. В небольшой школьный телескоп мы смогли бы насчитать около 20—25 тыс. звёзд на небе. При фотографировании неба самыми мощными телескопами удастся зафиксировать до 10 млрд звёзд. Практически все они принадлежат нашей Галактике, которой ещё в древности дали название *Млечный Путь*. Неярких звёзд настолько много и расположены они так близко друг к другу, что, концентрируясь в узкую полосу, вытянувшуюся через всё небо, сливаются в сплошную серебристую полосу Млечного Пути. Складывается впечатление, что небо здесь вплотную заполнено звёздами и между ними нет пустого пространства.

Это впечатление обманчиво. Астрономы измерили расстояние до многих звёзд. Так, расстояние до ближайшей к нам звезды Проксима Центавра составляет 4,2 св. г. (от греч. *проксима* — ближайшая). Она действительно ближайшая к нам из трёх звёзд звёздной системы  $\alpha$  Центавра. Значение «несколько световых лет» характеризует среднее расстояние между звёздами в Млечном Пути. Чтобы почувствовать эти величины, представьте себе Млечный Путь, состоящий из капель вместо звёзд, тогда расстояние между каплями будет примерно 50—100 км, т. е. Млечный Путь представляет собой практически пустоту с вкраплениями звёзд.

Если принять, что среднее расстояние между галактиками сравнимо с расстоянием до ближайшей к нам галактики М31 (Туманность Андромеды), составляющим около 2,5 млн св. лет, то межгалактическое пространство оказывается ещё более пустым.

Теперь мы можем оценить среднюю плотность вещества в видимой Вселенной.

Если представить видимую Вселенную в виде куба с длиной ребра около 10 млрд св. лет и соответственно объёмом  $8,46 \cdot 10^{27}$  м<sup>3</sup> и массой около  $2 \cdot 10^{53}$  кг, то средняя плотность будет равна  $2,4 \cdot 10^{-28}$  кг/м<sup>3</sup>.

Эллиптическая галактика М81 в созвездии Девы

Часть Млечного Пути от созвездия Орла до созвездия Кита

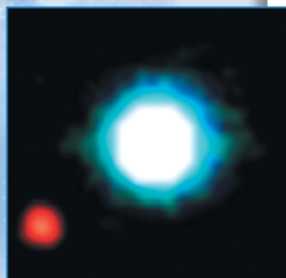


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Где и как работают самые крупные оптические телескопы.
- Как астрономы исследуют  $\gamma$ -излучение Вселенной.
- Что увидели гравитационно-волновые и нейтринные телескопы.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что изучает астрономия?
- Какими способами изучают Вселенную?
- Из каких объектов состоит Вселенная?



Первый пражий снимок экзопланеты

Очень Большой Телескоп Лазерный луч, показанный на фотографии, помогает увидеть и оценить искажения, вносимые атмосферой, и автоматически учесть их при обработке, тем самым значительно улучшая снимки. На первом прямом снимке экзопланеты она видна на угловом расстоянии  $0,778''$  от своей звезды коричневого карлика, что при расстоянии до этой звезды 230 св. лет соответствует 55 астрономическим единицам.

## ДАЛЕКИЕ ГЛУБИНЫ ВСЕЛЕННОЙ

В последние десятилетия современная астрономия нацелена на изучение самых далёких областей Вселенной и изучение детальной структуры небесных тел. Для этого было построено несколько обсерваторий с гигантскими телескопами.

**СОВРЕМЕННЫЕ ЗЕМНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ** Следует отметить южную международную астрономическую обсерваторию в Чили. Благодаря тому, что она находится на высоте около 2635 м, удалось существенно уменьшить влияние атмосферы на формирование изображений небесных тел. Очень Большой Телескоп состоит из четырёх телескопов диаметром 8,2 м каждый. С помощью компьютерных технологий они могут работать вместе как гигантский интерферометр с угловым разрешением в несколько миллизекунд дуги.

Чувствительные инфракрасные приёмники света позволили проникнуть в центр Млечного Пути через облака газа и пыли, которые непрозрачны для видимого света, изучить движение отдельных звёзд в центре и обнаружить сверхмассивную чёрную дыру в нём.

Два телескопа с объективами по 10,4 м в диаметре установлены на высоте 4134 м в обсерватории на Гавайских островах. Соединённые вместе с помощью компьютерных технологий, телескопы начали работать как телескоп диаметром 86 м с пространственным разрешением  $0,004''$  (под таким углом будет видна буква «о» в вашем учебнике с расстояния 100 км).

**КОСМИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ** И всё-таки атмосфера ограничивает наблюдения за небесными телами и мешает их проведению. Поэтому астрономы запускают телескопы за пределы земной атмосферы.

Используя длительные экспозиции, удалось заглянуть в далёкое прошлое Вселенной, в эпоху формирования первых галактик. Впервые были получены изображения протогалактик, первых сгустков материи, которые сформировались менее чем через миллиард лет после Большого взрыва.

Очень Большой Телескоп

В настоящее время в космическом пространстве работает российская космическая обсерватория «РадиоАстрон». Совместно с наземными радиотелескопами обсерватория работает как радиointерферометр. Телескоп движется по очень вытянутой орбите с апогеем до 360 000 км. По пространственному разрешению он сравним с радиотелескопом, который имел бы зеркало диаметром от Земли до Луны. «РадиоАстрон» позволяет получить информацию о структуре галактических и внегалактических радиисточников на угловых масштабах до 8 микросекунд дуги ( $8 \cdot 10^{-6}''$ ).

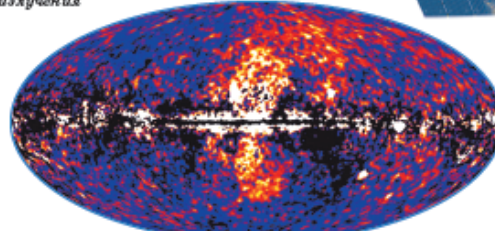
Сейчас в космическом пространстве вокруг Земли вращается  $\gamma$ -телескоп имени Ферми. Так как  $\gamma$ -излучение образуется при высокоэнергичных процессах рождения и аннигиляции частиц и античастиц, при ядерных реакциях, то телескоп позволяет исследовать эти процессы в небесных телах.

На рисунке показана карта распределения  $\gamma$ -излучения по всему небу, полученная телескопом Ферми. На фотографии неба в  $\gamma$ -лучах выделяется излучение полосы Млечного Пути, которое объясняется остатками взрывов сверхновых звёзд, нейтронных звёзд и чёрных дыр, концентрирующихся на плоскости Млечного Пути. Загадкой для астрономов являются два  $\gamma$ -пузыря, протянувшихся перпендикулярно вверх и вниз от центра. Многие астрономы склонны думать, что в  $\gamma$ -излучении себя проявляют необычные свойства тёмной материи.

В настоящее время мы получаем информацию о небесных телах не только в различных диапазонах электромагнитного излучения. Большое развитие получила нейтринная астрономия, с её помощью удалось заглянуть внутрь Солнца и в ядра взрывающихся сверхновых звёзд. Совершенно новое направление представляет гравитационно-волновую астрономию. Её первые успехи связывают с прямым наблюдением гравитационного излучения, которое, по-видимому, образовалось при слиянии двух чёрных дыр.

Бурное развитие современной астрономии связано как с традиционным развитием наземных обсерваторий, так и с запуском телескопов за пределы земной атмосферы и наблюдением в нетрадиционных для астрономии диапазонах длин волн — инфракрасном, рентгеновском и  $\gamma$ -диапазоне.

Карта распределения  $\gamma$ -излучения



Один из самых крупных космических оптических телескопов с диаметром зеркала 2,4 м — телескоп Хаббла — уже свыше 27 лет работает на высоте 540 км.



«Столпы Творения» в туманности Орёл. В них рождаются новые звёзды

**ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:**

- С какими современными телескопами вы познакомились?
- Расскажите о назначении телескопов.

## Глава 9

СОВРЕМЕННЫЕ  
ПРОБЛЕМЫ  
АСТРОНОМИИ

- УСКОРЕННОЕ РАСШИРЕНИЕ  
ВСЕЛЕННОЙ И ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ
- ОБНАРУЖЕНИЕ ПЛАНЕТ  
ОКОЛО ДРУГИХ ЗВЕЗД
- ПОИСК ЖИЗНИ И РАЗУМА  
ВО ВСЕЛЕННОЙ

## ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ, ЧТО...

Вопрос о происхождении жизни, о её разумных формах волновал науку с античных времён. Римский философ Лукреций Кар (98–55 гг. до н.э.) в своей поэме «О природе вещей» писал: «Весь этот видимый мир вовсе не единственный в природе, и мы должны верить, что в других областях пространства имеются другие земли с другими людьми и другими животными».

Астронет  
<http://www.astronet.ru>

Элементы: популярный сайт  
о фундаментальной науке  
<http://elementy.ru/>

Популярная механика  
<http://popmech.ru>

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Наблюдения вспышек сверхновых звёзд в очень далёких галактиках позволили определить расстояния до них независимо от метода красных смещений. Полученное различие в оценках расстояний указывает на ускоренное расширение Вселенной на больших расстояниях. Это говорит о том, что наряду с силой всемирного тяготения между телами во Вселенной действует сила всемирного отталкивания.
- По-видимому, эта сила отталкивания является проявлением особой формы материи, которая называется тёмной энергией. Одним из её свойств является то, что она обладает отрицательным давлением.
- В настоящее время обнаружено свыше 4000 экзопланет, определены их массы и расстояния до звезды, вокруг которой они обращаются. Среди них всего около 40 с массами, сравнимыми с массой Земли, и расположенных на расстояниях от звезды, обеспечивающих комфортные условия для образования и эволюции жизни на ней.
- Для поиска внеземных цивилизаций проводится прослушивание космического пространства, а также посылаются закодированные послания в области Галактики, где, возможно, существует разумная жизнь.

## ПОДРОБНЕЕ...

*Ефремов Ю.Н.* Звёздные острова: Галактики звёзд и Вселенная галактик. — Фрязино: Век 2, 2007.

*Сажин М.В.* Современная космология в популярном изложении. — М.: Едиториал УРСС, 2002.

Энциклопедия для детей. Т.8. Астрономия. — М.: Аванта+, 2013.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Мы говорим, что если экзопланета находится в пределах определённых расстояний от звезды, то на ней возможно возникновение и эволюция жизни. Чем определяются эти условия и пределы расстояний (их ещё называют поясом жизни вокруг звезды)?
- Почему у звёзд спектральных классов O, B и A не стоит искать разумную жизнь?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как тёмная материя увеличивает массу Вселенной.
- Как открыли ускоренное расширение Вселенной.
- Какова природа силы всемирного отталкивания.

**ВСПОМНИТЕ:**

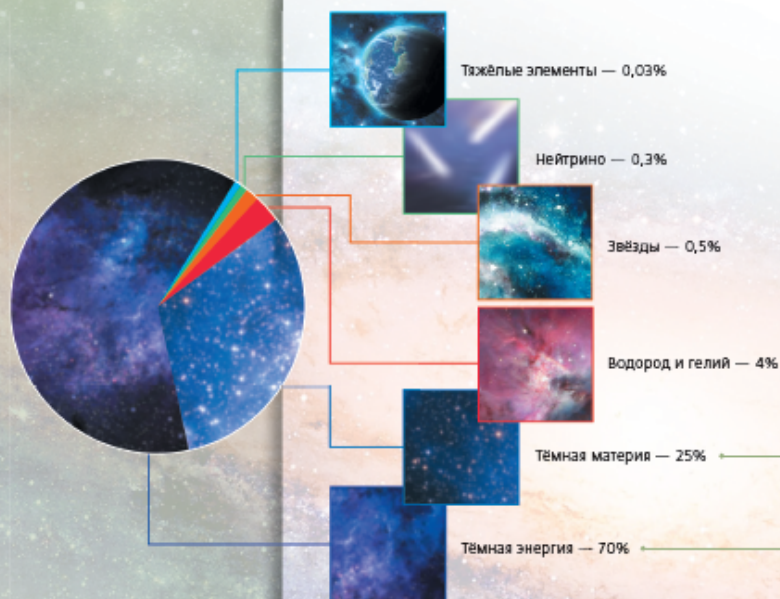
- Какой закон описывает расширение Вселенной?

## УСКОРЕННОЕ РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ И ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Исследуя собственное вращение галактик, астрономы обратили внимание на то, что скорости звёзд, расположенных на периферии галактик, и скорости спутников галактик заметно выше той, которую они имели бы, если бы всё вещество галактики было сосредоточено в звёздах, газе и пыли.

**ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ** Наблюдения указывают на то, что в галактиках имеется не излучающая свет тёмная материя, которая по массе в несколько раз превышает суммарную массу всех звёзд. Это несветящееся вещество не участвует в электромагнитном взаимодействии, слабо проявляется в ядерном и слабом взаимодействиях, поэтому оно себя не обнаруживает. В основном оно участвует в гравитационном взаимодействии.

Природа этой материи пока не ясна, но она вносит основной вклад в массу галактик. Поэтому ранее приведённое значение средней плотности Вселенной нужно увеличить почти в три раза.

**УСКОРЕННОЕ РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ И ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ**

Делать выводы о бесконечном расширении Вселенной пока преждевременно, так как ряд наблюдений указывают на существование во Вселенной более экзотической по свойствам тёмной материи, которая получила название *тёмной энергии*. По своей массе она превышает все другие формы материи и вносит основной вклад в расширение Вселенной.

Проявление тёмной энергии было обнаружено по наблюдениям вспышек сверхновых звёзд в очень далёких галактиках. Удалось независимо от метода измерения расстояния по красному смещению линий в спектрах далёких галактик и закону Хаббла определить расстояние до них. Оказалось, что это расстояние больше, чем даёт закон Хаббла. Отсюда следовало, что на таких расстояниях расширение происходит с ускорением, т. е. во Вселенной проявляется новая сила отталкивания, которая является определяющей в больших масштабах, а на малых расстояниях ею можно пренебречь. Природа тёмной энергии и связанная с ней сила отталкивания пока не известны. Так что, по мнению учёных, средняя плотность Вселенной равна критической плотности и основной вклад в неё вносит тёмная энергия.



Свойство тёмной энергии совершенно необычное, она проявляет себя только в гравитационном взаимодействии и не участвует в слабом ядерном и электромагнитном взаимодействиях. Она проявляет себя как сила отталкивания, пропорциональная расстоянию между телами. Плотность тёмной энергии постоянна во времени. Так как по мере расширения объём Вселенной увеличивается, то плотность обычной и тёмной материи уменьшается (масса этих видов материи не меняется). Поэтому начиная с определённого момента времени масса тёмной энергии будет превышать массу остальных видов материи и она будет оказывать основное влияние на гравитацию Вселенной. Наблюдения показали, что ускоренное расширение показывают галактики, которые находятся на расстоянии около 6 млрд св. лет от нас. Это означает, что тёмная материя и энергия стала преобладать над обычной материей, когда возраст Вселенной был около 7 млрд лет.

Тёмная материя не испускает электромагнитного излучения и потому не доступна для наблюдения. Её можно обнаружить только по её массе, т. е. гравитационному влиянию на другие объекты, в том числе и свет.

Тёмная энергия влияет на скорость расширения Вселенной.

**ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:**

- Что такое тёмная материя и тёмная энергия?
- Полагая, что радиус Вселенной возрастает пропорционально времени, оцените, в какой момент времени от начала Вселенной в расширении стала преобладать тёмная энергия.

## ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Какие наблюдения указывали на существование невидимых спутников у звёзд.
- Какими методами можно обнаружить экзопланеты.
- Какие наблюдения указывали бы на существование жизни на поверхности экзопланет.

## ВСПОМНИТЕ:

- Какими методами проводятся астрономические наблюдения?

## ОБНАРУЖЕНИЕ ПЛАНЕТ ОКОЛО ДРУГИХ ЗВЁЗД

В начале XIX в., изучая собственное движение звёзд, астрономы обратили внимание на то, что движение Сириуса не было прямолинейным, он испытывал периодические отклонения от прямой траектории. Было предположение, что вокруг Сириуса вращается невидимая звезда, которая своим притяжением приводит к видимым колебаниям Сириуса.

**НЕВИДИМЫЕ СПУТНИКИ ЗВЁЗД** Когда для наблюдений стали использовать более мощные телескопы, около Сириуса обнаружили слабую звезду — белый карлик. Это открытие подтолкнуло астрономов к более тщательному исследованию движений звёзд.

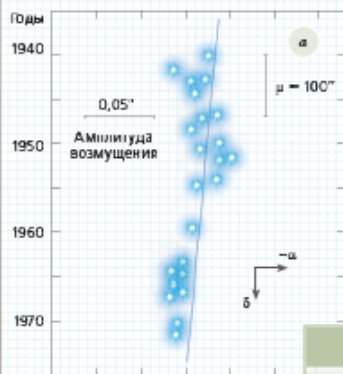
Рассмотрим схему наблюдаемого пути близкой к нам звезды Барнарда за 30 лет (а). Сплошная линия — невозмущённое движение звезды на фоне далёких звёзд. Кружки показывают реальное возмущённое движение, вызванное тёмными спутниками.

Теоретический анализ движения показал существование вокруг неё трёх спутников. Первый находится на расстоянии 1,8 а. е., второй — 2,8 а. е., третий — 4,5 а. е. от звезды Барнарда, а их массы соответственно равны 1,3, 0,6, 0,7 массы Юпитера.

Возможно, вокруг звезды вращаются и менее массивные спутники с массами, сравнимыми с массой Земли, но их влияние на движение звезды настолько мало, что их трудно обнаружить.

Потенциально обитаемые экзопланеты

Название планеты	Индекс подобия (св. лет)	Расстояние (св. лет)	Год открытия
Земля	1,00	0	—
Kepler-438b	0,90	470	2015
Проксима Центавра b	0,87	4,224	2016
Kepler-296e	0,85	1089,6	2014
KOI-3010.01	0,84	1213,4	2011
Gliese 667 Cc	0,84	23,6	2011
Kepler-442b	0,83	1291,6	2015
Kepler-62e	0,86	1199,7	2013
Kepler-452b	0,83	1400	2015
Gliese 832 c	0,81	16,1	2014
Kepler-283c	0,79	1496,8	2011



**МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ** В настоящее время для поиска планет за пределами Солнечной системы (экзопланет) используют и другие методы, основанные на наблюдениях: по ослаблению света от звезды, когда планета проходит по её диску и заслоняет часть звезды; по измерению доплеровского смещения спектральных линий в звёздном спектре из-за движения звезды вокруг центра масс звезды и экзопланеты.

Трудность поиска экзопланет состоит в том, что для обнаружения планеты типа Земли скорости, которые нужно измерить, составляют несколько метров в секунду, а ослабление света звезды составит доли процента.

## ЭКЗОПЛАНЕТЫ С УСЛОВИЯМИ, БЛАГОПРИЯТНЫМИ ДЛЯ ЖИЗНИ

Несмотря на все трудности, к настоящему времени обнаружено свыше 4000 экзопланет. В основном это планеты-гиганты. Среди них сотни планет с массами, сравнимыми с массой Земли, и около 40 экзопланет, расположенных на расстояниях от звезды, на которых они получают достаточно тепла для формирования комфортных условий жизни на поверхности. Среди них есть близкие к Земле, например планеты, расположенные около звезды — Кита.

Теперь основная цель наблюдений — обнаружение атмосферы у этих экзопланет и определение её химического состава. Если в химическом составе будет обнаружен кислород, углекислый газ, метан, то на этих планетах возможно наличие жизни.



Открытие большого числа экзопланет заставило учёных более глубоко исследовать проблемы возникновения и эволюции жизни на планетах. Так, вне зоны, благоприятной для жизни вокруг Солнца, на спутнике Юпитера Европе под ледяной корой существует гигантский тёплый водный океан, подогреваемый теплом, выделяемым за счёт действия приливных сил со стороны Юпитера и соседних спутников. В этом океане могут существовать и развиваться живые организмы. Поэтому в будущем планируются запуски спускаемых аппаратов на Европу, которые проникнут в этот океан.

Более того, высказывались обоснованные предположения о существовании жизни на поверхности спутника Сатурна Титана, на котором обнаружены реки и озёра с жидким метаном и метановые облака. Как считают учёные, при тех низких температурах метан по своим физическим свойствам похож на воду при земных условиях и может служить основой для жизни.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Что такое экзопланеты?
- Какими методами они обнаруживаются?

## ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как развивались представления о существовании жизни во Вселенной.
- Как оценивают количество высокоразвитых цивилизаций в Галактике.
- Как пытались обнаружить и послать сигналы внеземным цивилизациям.

## ВСПОМНИТЕ:

- Какими способами астрономы ведут поиски экзопланет?

За эти взгляды, противоречащие священному писанию, католическая церковь жестоко расправилась с Дж. Бруно. Судом святейшей инквизиции он был признан неисправимым грешником и сожжён заживо в Риме на площади Цветов 17 февраля 1600 г.

## ПОИСК ЖИЗНИ И РАЗУМА ВО ВСЕЛЕННОЙ

Благодаря церкви, которая опиралась на учение Птолемея, Земля считалась центром Вселенной. Жизнь и человек созданы Богом только на Земле. И только гениальный Н. Коперник в первой четверти XV в. низвёл Землю из центра Вселенной, поместив её на третье место от центрального Солнца.

**ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ** Первые телескопические наблюдения Г. Галилея показали, что на Луне видны горы и моря, как на Земле. Направлялся вывод о возможности жизни на ней.

Эти мысли ясно выразил Дж. Бруно, ярый приверженец теории Коперника. Он писал: «Существуют бесчисленные солнца, бесчисленные земли, которые кружатся вокруг своих солнц, подобно тому как наши семь планет кружатся вокруг нашего Солнца... На этих мирах обитают живые существа».

Многие астрономы искали проявления жизни на планетах Солнечной системы. Так, открытие Дж. Скиапарелли каналов и морей на Марсе во время Великого противостояния планеты в конце XIX в. вызвало большой интерес к проблеме связи с марсианской цивилизацией. Предлагали прорубить в сибирской тайге просеки в виде теоремы Пифагора с гигантскими квадратами на катетах и гипотенузе, засеять их пшеницей, и тогда на зелёном фоне тайги «марсиане» увидят этот рисунок и в конце концов дадут нам знать о себе.

**ФОРМУЛА ДРЕЙКА** К проблеме поиска связи с внеземными цивилизациями учёные обратились в конце 50–60 гг. XX в. Учёные К. Саган, Ф. Дрейк и И. Шкловский попытались на основе знаний из астрономии, биологии, химии, социологии и других естественных наук оценить количество разумных цивилизаций в нашей Галактике, с которыми мы могли бы надеяться связаться в настоящее время. Фрэнк Дрейк предложил следующую формулу для оценки числа  $N_d$  цивилизаций в Галактике:

$$N_d = H_{\text{гала}} \cdot f_{\text{зв}} \cdot n \cdot f_{\text{пл}} \cdot f_{\text{жиз}} \cdot f_{\text{раз}} \cdot f_{\text{связ}}$$

где  $H_{\text{гала}} \approx 1$  звёзд/год — скорость образования звёзд спектральных классов от F до M. Время жизни этих звёзд выше 4 млрд лет, что достаточно для возникновения и эволюции жизни на планете;

$f_{\text{зв}} \approx 1$  — доля звёзд, имеющих планетные системы, т.е. полагают, что все солнцеподобные звёзды имеют планетные системы;

$n \approx 0,1$  — среднее число планет в планетной системе, имеющих благоприятные для жизни условия (в Солнечной системе только Земля, т.е.  $n = 1/8$ );

$f_{\text{жиз}} \approx 1$  — доля планет, у которых при хороших условиях рано или поздно жизнь обязательно возникнет, как на Земле;

$f_{\text{раз}} \approx 1$  — доля планет, где жизнь возникла и благодаря естественному отбору эволюционировала в разумную;

$f_{\text{связ}} \approx 1$  — доля возникших высокоразвитых цивилизаций, у которых появилось желание и возможность связи с другими цивилизациями;

$T$  — время жизни высокоразвитой цивилизации в годах. Полагают, что наша высокоразвитая цивилизация уже прожила почти 60 лет, начиная с того момента, как мы построили радиотелескопы и получили возможность посылать сигналы с Земли и принимать сигналы из космоса. Если мы не уничтожим сами себя, то наша цивилизация просуществоует несколько миллионов лет.

Подставив в формулу Дрейка приведённые цифры, получим число цивилизаций в нашей Галактике:

$$N_d \approx 100\,000.$$

Одна высокоразвитая цивилизация на 1 000 000 звёзд!

Расчёты показали, что в Млечном Пути должно быть от одной цивилизации (нашей земной) до миллиона. В крупные радиотелескопы астрономы пытаются услышать эти цивилизации. Первые наблюдения в рамках поиска внеземных цивилизаций были проведены в 1960 г. Тогда астрономы, используя радиотелескоп с диаметром антенны в 25 м, прослушивали две близкие звезды, похожие на Солнце, — Кита и Эридан в надежде услышать радиосигналы искусственной природы. Сигналы пока так и не были обнаружены.

С помощью гигантских антенн радиотелескопов Центра дальней космической связи в Евпатории были отправлены послания в сторону нескольких ближайших звёзд, похожих на наше Солнце.



В 1974 г. с радиотелескопа в Аресибо было отправлено послание  $\alpha$  в сторону шарового скопления М13 в созвездии Геркулеса, содержащее 1679 бит информации и посланное на радиочастоте 2380 МГц (длина волны 12,6 см). Сообщение представляет собой развёртку кадра с 23 столбцами и 73 строками. На развёртке изображена фигура человека и схема Солнечной системы. Справа указан рост в единицах длины волны (14 × 12,6 см = 176 см). Слева — численность населения Земли (около 4 млрд человек, в двоичной системе). В верхней части — последовательность чисел от 1 до 10 в двоичном коде. Затем следует последовательность чисел 1, 6, 7, 8 и 15 — порядковые номера важнейших для нас химических элементов: водорода, углерода, азота, кислорода и фосфора. Под ними 12 групп из пяти чисел каждая — это формулы важнейших для жизни молекул. И ещё ниже — двойная спираль молекулы ДНК. До скопления М13 сигнал будет двигаться 25 000 лет и обратно столько же, если нам ответят. Так что через 50 000 лет мы всё узнаем!



## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Какое время для жизни развитой цивилизации вы подставили бы в формулу Дрейка и почему?
- Некоторые учёные полагают, что  $T = 100$  лет. Как вы думаете, правы они или нет?
- Почему из анализа формулы Дрейка исключили более горячие звёзды спектральных классов O, B и A?

# НАБЛЮДЕНИЯ (4 ЧАСА)

- НАБЛЮДЕНИЯ
- (4 ЧАСА)
- Наблюдения невооруженным глазом с использованием компьютерных приложений для определения положения небесных объектов на конкретную дату:
  - Основные созвездия Северного полушария (*Большая Медведица, Малая Медведица, Волопас, Лебедь, Кассиопея, Орион и др.*)
  - Яркие звезды (*Полярная звезда, Арктур, Вега, Капелла, Сириус, Бетельгейзе и др.*)
- Наблюдения в телескоп:
  - Луны (*моря, горы, кратеры*)
  - Планеты (*Венера, Марс, Юпитер, Сатурн – на выбор исходя из условий видимости*)
  - Туманности и звездные скопления