

Министерство образования Российской Федерации
Магнитогорский государственный университет

А С Т Р О Н О М И Я

Учебно-методическое пособие
для преподавателей астрономии,
студентов педагогических вузов
и учителей средних учебных заведений

Магнитогорск
2003

УДК 52+371.3

ББК В 6

Р 86

Рецензент

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики
Магнитогорского государственного университета

Л. С. Братолобова

Румянцев А. Ю., Серветник Т. А.

Р 86 Астрономия: Учебно-методическое пособие для преподавателей астрономии, студентов педагогических вузов и учителей средних учебных заведений / Под ред. А. В. Усовой. – Магнитогорск: МаГУ, 2003. – 312 с.

Для широкого круга педагогов, астрономов-методистов и преподавателей астрономии и физики в школе и вузе.

Под редакцией д-ра пед. наук, проф.,

действит. ил. РАО **А. В. Усовой**

© Румянцев А.Ю., Серветник Т.А., 2003

© Магнитогорский государственный
университет, 2003

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| Введение | 6 |
| Лекция 1. Астрономия. Предмет астрономии. Основные разделы астрономии. Этапы развития астрономии. Связь астрономии с другими науками | 9 |
| Практическое занятие 1. Научные понятия науки астрономии: Формирование умения работать с определениями научных понятий | 15 |
| Практическое занятие 2. Изучение науки астрономии: формирование умения работать с книжным текстом и строить опорные схемы | 21 |
| Лекция 2. Астрономические исследования. Методы и приборы астрономических исследований. Угломерные приборы. Телескопы: основные схемы и характеристики | 29 |
| Практическое занятие 3. Астрономические исследования. Телескопы | 41 |
| Семинары 1-2. История астрономии | 51 |
| Лекция 3. Основы сферической астрономии. Основные круги, линии и точки небесной сферы. Системы небесных координат. Движение небесных светил. Условия наблюдения небесных светил и явлений | 70 |
| Лекция 4. Время и календарь. Время. Единицы измерения и счета времени. Календари. Летоисчисление | 78 |
| Практическое занятие 4. Ознакомительные наблюдения звездного неба. Основных кругов, линий и точек небесной сферы. Определение полюса мира и положения основных кругов, линий и точек небесной сферы | 85 |
| Лекция 5. Небесные явления. Затмения, прохождения и покрытия небесных светил. Видимое движение и конфигурации планет. Атмосферные явления ... | 90 |
| Практическое занятие 5. Задачи астрометрии | 98 |
| Семинар 3. Диспут «Астрология – наука или лженаука?» | 104 |
| Лекция 6. Основы небесной механики. Движение космических тел в центральных полях тяготения. Законы Кеплера. Возмущения | 108 |

| | |
|---|-----|
| Практическое занятие 6. Определение космических расстояний, размеров и масс космических тел. Решение задач по небесной механике..... | 117 |
| Лекция 7. Теоретические и практические основы космонавтики | 121 |
| Семинар 4. История космонавтики | 128 |
| Лекция 8. Основы астрофизики. Космические объекты. Физика космоса. Классификация космических объектов. Основные типы космических тел | 139 |
| Лекция 9. Планетные тела и системы. Классификация планетных тел. Планетные системы. Образование планетных систем..... | 145 |
| Лекция-семинар 10. Методика преподавания астрономии в средней школе. Составление планов и конспектов уроков..... | 156 |
| Лекции-семинары 11-12. Земля – планета Солнечной системы. Мир Солнечной системы. Основные физические характеристики, строение, рельеф, гидросфера и атмосфера. Тепловой баланс. Эволюция Земли. Проблемы планетарной экологии. Солнечная система. Планеты солнечной системы. Планетоиды: Луна и другие спутники планет. Метеороиды: астероиды, кометы, кентавры. Метеоры, болиды, метеориты. Проблемы метеороидной бомбардировки Земли..... | 167 |
| Практическое занятие 6. Наблюдения Луны и планет. Основные созвездия и наиболее яркие звезды зимнего неба. Лабораторные работы | 186 |
| Лекция 13. Солнце. Основные физические характеристики Солнца. Энергетика Солнца и звезд. Солнечная активность..... | 193 |
| Практическое занятие 7. Наблюдения Солнца. Лабораторные работы..... | 198 |
| Семинар 5. Солнечно-земные связи | 195 |
| Лекция-беседа 14. Звезды. Основные физические характеристики и классификация. Определение физических характеристик звезд | 199 |
| Лекция-беседа 15. Звезды: Рождение, жизнь и смерть звезд. Космическая среда и туманности. Космические процессы возникновения и эволюции звезд. Белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры..... | 210 |

| | |
|---|-----|
| <u>Практическое занятие 8. Решение задач звездной астрофизики</u> | 225 |
| <u>Практическое занятие 9. Наблюдения звезд, звездных скоплений, туманностей и галактик.</u> Основные созвездия и наиболее яркие звезды весеннего неба. Лабораторные работы | 228 |
| <u>Семинары 6-7. Жизнь и Разум на Земле и во Вселенной</u> | 232 |
| <u>Лекция 16. Галактика:</u> основные физические характеристики, структура и свойства. Круговорот космического вещества..... | 245 |
| <u>Лекция 17. Галактики.</u> Основные физические характеристики, структура и свойства. Классификация галактик. Рождение галактик..... | 250 |
| <u>Лекция 18. Вселенная.</u> Вселенная, движение, пространство и время с точки зрения философии. Вселенная с точки зрения физики. Основы космологии. Мини-Вселенная и Метагалактика: основные физические характеристики и свойства. Антропный принцип | 257 |
| <u>Практическое занятие 10. Решение задач внегалактической астрономии</u> | 270 |
| <u>Семинар 8. Ноокосмология</u> | 276 |
| Методика проведения завершающего занятия | 288 |
| Приложения: Универсальная астрономическая анкета | 289 |
| Список рекомендуемой литературы | 295 |

Введение

На протяжении последних десятилетий качество астрономических знаний выпускников средних учебных заведений неуклонно снижается. Это было отмечено в докладах и отчетах различных комиссий, критических выступлениях и статьях научной общественности. Эффективность применяемых в школе способов формирования астрономических знаний крайне незначительна. Выпускники средней школы недостаточно знакомы с астрофизикой, космогонией космических объектов и вопросами космологии. Место науки в умах подрастающего поколения начинают занимать разные формы суеверий и оккультизма.

В числе главных причин этого удручающего явления следует особо выделить недостаточность общей и специальной подготовки большинства учителей астрономии. В настоящее время в педвузах России прекращен набор студентов в группы со специализацией «учитель физики и астрономии», а курс общей астрономии значительно сокращен. Студентов не знакомят с основами дидактики астрономии. В итоге выпускники физических и физико-математических факультетов педагогических институтов 90-х годов знают астрономию хуже выпускников 80-х годов, поскольку курс общей астрономии значительно сокращен и продолжает уменьшаться. Они не только не владеют методикой преподавания астрономии в школе, но даже просто плохо знают свой предмет. Не секрет, что астрономию во многих школах поручают преподавать молодым учителям в виде дополнительной нагрузки, от которой отказались их старшие коллеги. Учителя физики нередко рассматривают преподавание астрономии как ненужную обузу и заменяют уроки астрономии уроками физики, а школьная администрация на это часто закрывает глаза. Забывается, что:

Преподавание астрономии в средних учебных заведениях, сообщение системы астрономических знаний подрастающему поколению не самоцель, а средство его образования, воспитания и развития, подготовки к будущей трудовой и общественной деятельности.

Цель преподавания основ астрономии в современных средних учебных заведениях – формирование научного мировоззрения и научной картины мира в сознании учащихся на основе поэтапного формирования системы астрономических знаний о космических объектах, космических явлениях и космических процессах, основных законах и теориях астрономии, методах и инструментах астрономических исследований. Содержание, структура и методика формирования системы астрономических знаний должны определяться тем, что и как может дать астрономическая информация и специфические методы работы с ней для формирования: 1) общеучебных знаний, умений и навыков; 2) общего и специального развития учеников; 3) научной картины мира и научного мировоззрения учащихся.

Для кого написана эта книга? Для:

- учеников-старшеклассников, которые астрономию еще не изучали, но интересуются тайнами Вселенной и желают после окончания школы продолжить свое образование;

- студентов-старшекурсников физических (физико-математических) факультетов педвузов, половина которых не изучала в школе астрономии, а те, кто изучали, – многое забыли;

- учителей физики и астрономии, которые обязаны дать ученикам понятие о Вселенной за 34 урока при недостатке не только учебно-методических пособий, приборов, средств наглядности, но зачастую и самих учебников астрономии;

- преподавателей астрономии в педвузах, которые обязаны в рамках «кущего» курса «астрофизики» не только сформировать в сознании старшекурсников (многие из которых в школе работать не хотят) астрономическую картину Вселенной, но и научить их преподавать астрономию в школе.

Для чего предназначена эта книга? В ней через материал курса общей астрономии для педвузов реализуются цели естественно-математического образования:

1. Сообщение системы фундаментальных естественно-математических знаний, лежащих в основе научной картины мира.

2. Формирование научного мировоззрения учащихся.

3. Формирование системы основных универсальных познавательных умений, навыков и созидательных способностей, ориентирующей учащихся на активную самостоятельную деятельность.

4. Общее развитие личности молодежи.

С учетом критического состояния школьной астрономии учебник астрономии для педвузов должен: а) обеспечивать астрономическую грамотность будущих учителей; б) быть для них научно-методическим подспорьем, опорой в будущей работе. Он становится учебно-методическим комплексом, включающим в себя: 1) основной (лекционный) материал; 2) дополнительные сведения по основным разделам астрономии, таблицы и схемы, темы докладов и рефератов, списки литературы для проведения семинарских и практических занятий; 3) материал для проведения семинарских и практических занятий; 4) образцы решения основных видов заданий, задачи и вопросы по каждому разделу курса; 5) инструкции по проведению лабораторных работ (астрономических наблюдений); 6) методические рекомендации по проведению уроков в школе.

Раньше мы полагали, что главное в учебнике – это его содержание и структура. С помощью своих старших коллег и на основе собственного опыта стали понимать, какую беду приносит пренебрежение методическим компонентом учебного курса. Без правильно поставленной методики формирования знаний человек не сможет овладеть их содержанием, каким бы интересным и полезным оно ни было, и, наоборот: профессиональный методист способен обучать на любом, сколь угодно убогом по содержанию и структуре учебнике или даже любой не предназначенной для обучения книге.

В свете вышесказанного астрономические знания должны использоваться для того, чтобы научить учиться: отличать (выделять) полезную информацию из всей ее совокупности; искать ее; овладевать ею; работать с ней. В число функций учебника входят: 1) формирование системы предметных и методических знаний; 2) формирование общеучебных умений (работы с текстом, составления системного рассказа, проведения самоподготовки знаний и т.д.).

Обучаемый должен понимать, зачем он изучает тот или иной материал: для общего развития, для того чтобы лучше понимать сообщаемое в дальнейшем и т.д. Помимо основного материала, обязательного для изложения, каждая лекция

(за исключением вводной) включает в себя дополнительный материал справочного характера, выделенный мелким шрифтом. Рекомендуется домашнее задание, проверяемое на семинарах и практических занятиях, в ходе самопроверки или взаимопроверки работ обучающихся. В каждой лекции, при планировании каждого семинара или практического занятия обучаемый должен обрести дополнительные знания и умения по работе с информацией, которые могут пригодиться ему везде: от дальнейшей учебы до повседневной жизни. Например, Лекция 1: пример чтения «классических» лекций. Первые практическое занятие учит анализировать и определять научные понятия, работать с лекционным материалом, книгами, составлять опорные схемы. Лекция 3: практическая отработка умения конспектировать лекции. Первые семинарские занятия учат выступать, дискутировать, защищать свою точку зрения, обсуждать и т.д. Лекция 4 «с ошибками» учит внимательности, критичному восприятию материала, объяснять причины ошибок. Лекция 5 учит анализировать и систематизировать материал, составлять таблицы и схемы. Семинар 5 учит составлению планов-конспектов уроков, а две последующие лекции служат полигоном для отработки умений вести урок. Лекция 9 показывает, как ученые классифицируют объекты науки. Лекции-беседы демонстрируют методы формирования фундаментальных научных понятий... и т. д.

При изложении астрономического материала на всех занятиях обучаемые ведут работу «на развороте тетрадного листа». Эта работа позволяет параллельно формировать умения:

1. Конспектировать лекции преподавателя с использованием системы опорных сигналов. Конспект записывается на левом листе тетрадного разворота.

2. Работать с книжным текстом как источником информации. Для этого дома обучаемые конспектируют содержание соответствующего параграфа учебника, записываемого напротив конспекта лекции преподавателя на правом листе тетрадного разворота.

3. Умение анализировать и давать определения научных понятий. В ходе изучения курса астрономии обучаемые составляют словарь астрономических терминов. На первых занятиях выделенные определения понятий выписываются из текста; на следующем этапе работы с понятиями определения со специально допущенными ошибками нужно будет исправлять и дополнять перед включением в словарь; затем ученикам предстоит научиться самим составлять определения понятий на основе материала соответствующего параграфа учебника; на завершающем этапе работы им нужно будет искать материал для определения понятий не в данном пособии, а в любых других письменных источниках. Словарь должен включать список рекомендуемой литературы по каждому из вопросов.

В течение учебного года каждый обучаемый создает «свой» личный учебник астрономии.

При создании пособия использованы идеи А. В. Кавтарадзе, А. Г. Мирзаяна, Г. Н. Степановой, А. В. Усовой, В. Ф. Шаталова, и других ученых и методистов.

Лекция 1. Астрономия

• Предмет астрономии

Астрономия – наука о Вселенной.

Вселенная – это весь окружающий мир.

Его изучением занимаются, помимо астрономии, различные естественные науки: физика, химия, биология... Все они тесно связаны с астрономией и между собой. У каждой науки своя цель, задачи, объекты познания, область использования, методы и инструменты исследований.

Астрономия изучает космические объекты, космические явления и космические процессы.

Космические объекты – это космические тела и космические системы. Под **космическими телами** мы будем понимать все физические тела, которые являются структурными элементами Вселенной. Основными типами космических тел являются планетные тела, звезды, туманности и космическая среда. Астрономия изучает их основные физические характеристики, происхождение, строение, состав, движение и эволюцию.

Космические системы состоят из космических тел. Космические тела в космических системах обычно имеют общее происхождение (образуются в одно и то же время в одном и том же месте), взаимосвязаны силами тяготения и электромагнитными полями и перемещаются в пространстве как единое целое. В число основных типов космических систем входят планетные и звездные системы, галактики, Метагалактика и вся Вселенная. Системы космических тел обладают новыми качествами, не присущими отдельно взятым телам-элементам этой системы. Так, звезды образуются только внутри гигантских космических систем – галактик; жизнь может существовать лишь на поверхности тел, входящих в планетные системы отдельных звезд и т.д.

Космические процессы представляют собой совокупности физических процессов, лежащих в основе возникновения, существования и развития космических объектов. Космические процессы обуславливают главные физические характеристики космических объектов и их систем, определяют основные этапы их эволюции, а также возникновение и протекание космических явлений. Примерами космических процессов можно назвать образование, существование и эволюцию звезд, планет, галактик и всей Вселенной.

Космическими явлениями называются физические явления, возникающие при взаимодействии космических тел и протекании космических процессов. Примерами космических явлений можно назвать существование спутников у массивных космических тел, движение планет, солнечную активность и т.д.

• Основные разделы астрономии

Главными разделами астрономии являются: астрометрия, небесная механика, астрофизика, космогония и космология.

Астрометрия:

- изучает положение, видимое и истинное движение небесных светил с составлением звездных карт и каталогов;

- занимается определением фундаментальных астрономических постоянных;
- решает задачи, связанные с основами измерения и счета времени, вычислением и составлением календарей;
- обеспечивает составление географических и топографических карт; астрономические методы ориентации широко применяются в мореплавании, авиации и космонавтике.

Небесная механика исследует движение космических объектов под действием сил гравитации с учетом действия давления излучения, сопротивления среды, изменения массы и других факторов. Опираясь на данные астрометрии и законы классической физики, ученые вычисляют траектории и характеристики движения космических тел и их систем. Небесная механика является теоретической основой космонавтики.

Астрофизика изучает важнейшие физические характеристики и свойства космических объектов, процессов и явлений. Она разделяется на многочисленные разделы: теоретическая и практическая астрофизика, физика планет (планетология и планетографии); физика Солнца; физика звезд; внегалактическая астрофизика и т.д.

Космогония изучает происхождение и развитие космических объектов и их систем.

Космология исследует происхождение, основные физические характеристики, свойства и эволюцию Вселенной. Ее теоретической основой являются современные физические теории, данные астрофизики и внегалактической астрономии.

• **Этапы развития астрономии**

Значение астрономии определяется ее вкладом в создание научной картины мира. Астрономические знания лежат в основе системы представлений о наиболее общих законах строения и развития Вселенной. Уровень развития астрономии определяет основы мировосприятия широких масс населения, формирует базовые идеи науки и особенности взглядов ученых.

Астрономия – древнейшая из наук. Данные археологии свидетельствуют о том, что астрономические наблюдения проводились первобытными людьми свыше 50 тыс. лет назад. Ряд ученых полагает, что зачатки астрономических знаний могли появиться у предков современного чел. около 100 000 лет назад.

У первобытных людей астрономия еще не выделялась в особую область познания. Весь окружающий мир воспринимался как единое одушевленное целое. Мифологический характер осмысления мира объединял «земное» с «космическим».

Потребность в астрономических знаниях для определения времени, ориентации на местности, составления географических карт и календарей стимулировала развитие вычислительной математики, геометрии и тригонометрии. Изобретение угломерных приборов привело к выделению астрономии из общей суммы человеческих знаний об окружающем мире в отдельную, первую из естественных наук. Это произошло 6000 лет назад.

С эпохи образования государств Древнего мира до позднего Средневековья объекты астрономии идеализировались и противопоставлялись объектам земного мира. Их характеристики и поведение не рассматривались в рамках за-

рождающихся «земных» наук – физики, химии, географии. Астрономия вносила огромный вклад в развитие естественных наук (особенно географии), но сами они оказывали ничтожно малое влияние на развитие астрономии лишь через технологию создания астрономических инструментов.

Первая революция в астрономии произошла в различных регионах мира в разное время в промежутке между 1,5 тыс. лет до н. э. и II в. н. э. Ее обусловил прогресс математических знаний. Главными достижениями стало создание сферической астрономии и астрометрии, универсальных точных календарей и геоцентрической теории.

К началу XVI в. прогресс научно-технических знаний сократил разрыв в степени развития астрономии и других естественных наук. Уровень знаний об окружающем мире стал выше уровня знаний почти не развивавшейся с начала нашей эры астрономии и перестал вписываться в прежние рамки. Потребность приведения в единую систему всей суммы накопленных знаний вместе с первым мощным влиянием физики на астрономию – изобретением телескопа – привела к торжеству гелиоцентрической теории.

Вторая революция в астрономии (XVI–XVII вв.) была обусловлена прогрессом знаний о природе, в первую очередь физических, и сама стимулировала первую революцию естественных наук в XVII–XVIII в. Для науки того времени характерна теснейшая связь между астрономией и физикой. Все великие физики того времени были астрономами, и, наоборот, законы и теории физики выводились и проверялись на основе результатов астрономических наблюдений. Астрономические явления и свойства небесных объектов объяснялись на основе физических знаний. В астрономии стало исследоваться не только видимое расположение и перемещение небесных светил, но и некоторые физические характеристики: движение, размеры и масса небесных тел. Установление единства законов природы для всей Вселенной, создание классической механики Ньютона и теории Всемирного тяготения уничтожило противопоставление между «земным» и «небесным» и сделало астрономию одной из естественных наук.

Важнейшими достижениями астрономии Нового времени стали: создание, объяснение и подтверждение гелиоцентрической теории, законов движения планетных тел, теории Всемирного тяготения, небесной механики, изобретение оптических телескопов, открытие новых планет, спутников, пояса астероидов, комет, метеороидов, изучение основных характеристик Солнечной системы и входящих в ее состав космических тел, звездных систем и туманностей, создание первых научных космогонических и космологических гипотез.

Создание новых методов астрономических наблюдений на основе новых физических открытий и увеличение мощности астрономических инструментов привело к значительному росту знаний о физической природе космических объектов, процессов и явлений. Появился новый обширный раздел современной астрономии – астрофизика. Исследования химического состава космических тел подтвердили материальное единство Вселенной. Были измерены межзвездные расстояния, открыта межзвездная среда, новые классы космических тел, установлены закономерности в физических характеристиках звезд, исследована структура Галактики. Однако астрономия оставалась в целом «статичной» наукой, изучавшей неизменную

во времени Вселенную. Астрономия оставалась «наблюдательной» «оптической» наукой, исследовавшей лишь видимое излучение космических объектов.

Теоретические основы новой астрономической революции заложили труды А. Эйнштейна и А.А. Фридмана. Возникновение и развитие радиофизики, электроники, кибернетики и космонавтики обеспечило ее практические основы. Огромную роль сыграло создание новых методов исследования в физике, математике и вычислительной технике (появление ЭВМ).

Третья революция в астрономии (50–70-е гг. XX в.) целиком обусловлена прогрессом физики и ее влиянием на технологию.

Астрономия стала **всеволновой**: космические объекты наблюдаются во всем диапазоне их излучения.

Астрономия становится **экспериментальной**: средства космонавтики позволяют проводить непосредственное изучение космических тел, явлений и процессов.

Астрономия приобрела **эволюционный** характер: космические объекты исследуются на протяжении всей эволюции и во взаимосвязи между собой.

Для современного ученого «земное» и «космическое» тесно взаимосвязано. Законы классических наук – физики, химии, географии являются следствиями действия законов более высокого порядка, действующими во Вселенной. Космические объекты, явления и процессы оказывают влияние на протекание различных земных процессов. Они обусловили возникновение и существование биосферы Земли. Жизнь – закономерный этап развития материи и фактор космического порядка.

• **Связь астрономии с другими науками**

По мере развития науки происходит углубление и расширение процесса познания. Современная наука стремится к всестороннему изучению всех своих объектов и установлению всеобщей связи процессов и явлений в единстве с окружающим миром.

Наиболее тесно астрономия связана с **физикой**.

Астрономия использует физические знания для исследования и объяснения природы космических объектов, явлений и процессов.

Физика использует данные астрономических наблюдений для проверки известных физических теорий, для открытия новых физических явлений и закономерностей. Космос стал естественной лабораторией, в которой физики могут исследовать явления и процессы, которые невозможно или крайне сложно воспроизвести на Земле.

Астрофизики и физики в тесном содружестве изучают ядерные реакции в недрах звезд, взрывы звезд, нейтронные звезды и черные дыры, пульсации Вселенной и т.д. Физика высоких энергий и космология совместно разрабатывают теорию Великого объединения, сводящую виды физических взаимодействий к единому началу и объясняющей перспективы развития материального мира в целом.

Взаимодействие астрономии и физики оказывает влияние на развитие не только других наук, но и техники, энергетики, различных отраслей народного хозяйства. Известными примерами стали появление и развитие космонавтики, разра-

ботка термоядерных реакторов, квантовых усилителей излучения (лазеров и мазеров) и т. д.

Коренным образом изменились многие старые способы использования астрономических знаний. Так, в основе мировой Службы Времени до середины XX в. лежали астрономические способы измерения и хранения времени. В наши дни развитие физики привело к созданию более точных способов определения и эталонов времени. Они стали использоваться астрономами для исследования явлений, лежавших в основе прежних способов измерения времени.

До середины XX в. основными способами определения географических координат местности, морской и сухопутной навигации были астрономические наблюдения. С появлением радиофизики и космонавтики, широким применением радиосвязи и навигационных спутников в астрономических методах отпала нужда. Сейчас эти отрасли физики и технологии позволяют астрономам и географам уточнять фигуру и некоторые другие характеристики Земли.

Астрономию и **химию** связывают вопросы изучения происхождения и распространенности химических элементов в космосе, химическая эволюция Вселенной. Космохимия изучает химический состав и внутреннее строение космических тел, влияние космических явлений на протекание химических реакций, распределение химических элементов во Вселенной. Большой интерес для химиков имеет исследование химических процессов, которые из-за масштабов или сложности нельзя воспроизвести в земных лабораториях (вещество в недрах планет, синтез сложных химических соединений в туманностях и т.д.).

Астрономию, географию и геофизику связывает исследование Земли как одной из планет Солнечной системы:

- определение основных физических характеристик Земли (фигуры, вращения, размеров, массы и т. д.);

- изучение влияния космических факторов на географию Земли (строение и состав земных недр и поверхности, рельеф и климат, изменения в атмосфере, гидросфере и литосфере Земли);

- астрономические методы ориентации и определения координат местности.

Одной из новых наук стало космическое землеведение – совокупность исследований Земли из космоса в целях научной и практической деятельности.

Взаимосвязь астрономии и **биологии** обусловлена взаимным влиянием эволюций неживой и живой природы. Астрономию и биологию связывают проблемы возникновения и существования жизни и разума на Земле и во Вселенной, проблемы земной и космической экологии и воздействия космических процессов и явлений на биосферу Земли:

1. Эволюция неживой и живой материи идет «от простого к сложному». Возникновение жизни на Земле подготовлено ходом эволюции неживой материи во Вселенной.

2. Существование жизни на Земле определяется постоянством действия космических факторов: мощностью и составом солнечного излучения, неизменностью основных характеристик орбиты Земли и ее вращения, наличием магнитного поля и атмосферы.

3. Развитие жизни на Земле во многом обусловлено плавными незначительными изменениями в действии космических факторов, сильные изменения ведут к катастрофическим последствиям.

4. На определенном этапе своего развития жизнь становится фактором космического масштаба, оказывающим влияние на физико-химические характеристики планеты: состав и температуру атмосферы, гидросферы и верхних слоев литосферы.

5. В настоящее время деятельность человечества становится фактором космического масштаба, оказывающим воздействие на атмосферу, гидросферу и литосферу Земли и околоземное космическое пространство, а в перспективе – на всю Солнечную систему. Экологические проблемы начинают играть особую роль в существовании человечества; экология становится космической.

6. Разумная деятельность Сверхцивилизаций может оказывать влияние на эволюцию неживой и живой материи в масштабах Галактики и даже Метагалактики.

Астрономия изучает развитие космических объектов на всех уровнях организации неживой материи так же, как биология изучает развитие живой материи. Космические объекты можно классифицировать по тем же принципам, которые используются в биологии для классификации живых организмов.

Все остальные естественные науки не являются эволюционными. Действие фундаментальных законов физики извечно и не зависит от времени, необратимые процессы исследуются лишь в некоторых разделах физики (термодинамике). Законы химии тоже обратимы и могут рассматриваться как описание физических взаимодействий электронных оболочек атомов. География и геология, в самом широком смысле, являются разделами астрономических наук планетологии и планетографии.

Астрономы и биологи совместными усилиями решают проблемы:

1. Возникновения и существования жизни во Вселенной (экзобиология).
2. Процессов, лежащих в основе космическо-земных связей (гелиобиология и космическая экология).
3. Практические вопросы космонавтики (космическая биология и медицина).
5. Возникновение и существование, пути развития внеземных цивилизаций (ВЦ), проблемы связи и контакта с внеземными цивилизациями.
6. Роль чел. и человечества во Вселенной (возможность зависимости космической эволюции от биологической и социальной).

Астрономия имеет связь не только с естественно-математическими, но и с общественными и гуманитарными науками.

Связь астрономии с «наукой наук» – философией – определяется тем, что астрономия как наука имеет не только специальное, но и общечеловеческое значение. Астрономия вносит наибольший вклад в выяснение места чел. и человечества во Вселенной, в изучение отношения «человек – Вселенная». Вселенская уникальность человечества приобретает в наши дни, в условиях развития технической цивилизации и острых социальных преобразований, особое значение. В каждом космическом явлении и процессе можно наблюдать проявления основных, фундаментальных законов природы. На основе астрономических исследований формируются принципы познания материи и Вселенной, важнейшие философские обобщения.

Астрономия оказала влияние на развитие всех философских учений. Невозможно сформировать физическую картину мира в обход современных представлений о Вселенной – она неминуемо утратит свое мировоззренческое значение.

Связь астрономии с историей и обществоведением обусловлена влиянием астрономических знаний на мировоззрение людей и развитие науки, техники, сельского хозяйства, экономики и культуры. Остается открытым вопрос о влиянии космических процессов на социальное развитие человечества.

Красота звездного неба будила мысли о величии мироздания и вдохновляла писателей и поэтов. Астрономические наблюдения несут в себе мощный эмоциональный заряд, демонстрируют могущество человеческого разума и его способности познавать мир, воспитывают чувство прекрасного, способствуют развитию научного мышления.

Практическое занятие 1

Научные понятия науки астрономии

Цель: формирование умения работать с определениями научных понятий.

Задачи обучения: 1. Общеобразовательные: формирование понятия «научное понятие», структура и классификация научных понятий по содержанию, требования к определению понятий. 2. Воспитательные: формирование научного мировоззрения в ходе знакомства с философскими и общенаучными понятиями; создание «круга согласия» (выработка общих правил и требований к работе учеников); отработка психологической линии воздействия «Я – это я» (самоуважение в системе с взаимным уважением). 3. Развивающие: формирование умений работать с письменными источниками: учебными пособиями, справочниками, словарями; анализировать содержание и структуру научных понятий; составлять определения научных понятий по соответствующим правилам.

Пособия: распечатки определения понятий «астрономия» и обобщенных планов изучения понятий (на каждого ученика); словари: философский и толковый, справочники по астрономии и физике, учебники астрономии.

Задание на дом:

1. Заполнить таблицы (объяснение смысла работы: для полноты восприятия любого объекта, явления, события необходимо научить видеть в нем разные, в т.ч. противоположные, взаимодополняющие качества; анализ таблиц позволит выявить уровень «донаучных» астрономических знаний и личное отношение к ней как науке и учебному предмету):

| Почему астрономию в школе изучать... | |
|---|--|
| необходимо: | необязательно: |
| 1. (10 пунктов) | 1. (10 пунктов) |
| Важнейшие области применения астрономических знаний (где, как, для чего и почему) | Где, как, для чего и почему астрономические знания применять нельзя ни в коем случае |
| 1 (10 пунктов) | 1. (10 пунктов) |

2. Сделать при помощи толковых словарей и справочников по русскому языку пословесный (в столбик) разбор определения понятия «астрономия»:

«Астрономия – наука о Вселенной, изучающая космические объекты, космические процессы и космические системы»:

- «наука» – это

- «о» – это предлог, и т.д.

Привести по 2-3 синонима к каждому слову. Составить из слов-синонимов по 2-3 равнозначных определения понятия «астрономия». Сравнить определения, выбрать самое наилучшее. Объяснить причины выбора. Выделить опорные сигналы, установить связь между ними.

3. Составить тест, позволяющий не только определить качество усвоения материала занятия, но и дополнить, доработать изучаемый материал. (Это домашнее задание задается впредь на всех занятиях).

Методика проведения занятия:

В начале занятия нужно актуализировать тему семинара, отметить особенности работы:

«Вы учитесь для себя. Вы должны понимать: авторы учебников, учителя и преподаватели – люди, а учебники и уроки – продукт людского труда. В природе нет ничего идеального. Нет идеальных людей и нет идеальных продуктов их труда. Каждый человек – автор книги, учебника, педагог, учитель обладает своими достоинствами и недостатками. Он высказывает свои мысли, имеет свою точку зрения на излагаемые факты. Ваша задача: выявить и использовать все их достоинства. А недостатки преобразовать в достоинства. Если вы что-то не поняли, не усвоили, не узнали, то виноват в этом не автор книги (учебника) и не учитель, а прежде всего вы сами. Ваше право – соглашаться или не соглашаться с их точкой зрения, но надо делать это не голословно, а аргументированно».

Сообщаем разные варианты определения категории «научного понятия»:

Понятие «**научного понятия**» является одним из важнейших элементов (категорий) научного знания. Определения понятий играют большую роль как средство сокращения сложных и длинных описаний, выражений и т.д. В соответствии со своей важностью понятие «научного понятия» по-разному определяется в различных областях человеческого познания:

В психологии *научное понятие определяется как совокупность человеческих суждений*. Объектом работы является человек. Продукт работы – мысли, в которых что-либо утверждается об отличительных признаках исследуемого объекта. Эти мысли всегда связаны с эмоциональными переживаниями.

- В естественно-математических науках *научное понятие определяется как знание об основных характеристиках и свойствах объектов, явлений и процессов*. Объектом работы является окружающий мир. Продукт работы – факты, знания об их природе, связях и отношениях между ними. Ядром понятия является суждение о наиболее общих и существенных признаках объекта.

В философии *научное понятие представляет собой процесс и итог осознания и интуитивного чувствования сущности объекта (системы существенных сторон, законов, признаков и свойств) и (или) субъекта*. Философское определение объединяет в себе наиболее значимые стороны предыдущих: эмоционального психологического и рационального естественно-математического.

Обратите внимание! Все вышеперечисленные разные определения поня-

тия «научное понятие» одинаково справедливы. Они не противоречат, а взаимно дополняют друг друга, позволяя рассматривать понятие с разных точек зрения в зависимости от области применения. Один и тот же научный термин в разных науках и в повседневной жизни может по-разному определяться и употребляться. Поэтому в любой беседе, диспуте, перед обсуждением какой-либо проблемы необходимо договориться о значении используемых терминов, определении основных понятий (*разобрать в качестве примера различное понимание смысла поговорки «намылить шею» в России и в Японии*).

Анализу понятий способствует составление таблицы:

| Наука | Суть содержания понятия (опорные слова) | Объект изучения | Продукт работы | Связь между понятиями |
|----------------------------------|---|-----------------|----------------|-----------------------|
| Психология | | | | |
| Естественно-математические науки | | | | |
| Философия | | | | |

В процессе познания научные понятия постоянно изменяются, дополняются, уточняются, развиваются. Поэтому необходимо постоянно учитывать, кто, когда, зачем и при каких обстоятельствах дал данное определение научного понятия.

Пример: эволюция понятия «масса»:

1. В XVII в. (и в учебниках физики 20–30-х гг. XX в.), в эпоху становления физики как науки масса определялась как «количество вещества».

2. В XVIII-XIX вв. (и в учебниках физики 50–90-х гг. XX в.) трудами И. Ньютона, Кавендиша, П.-С. Лапласа и др. ученых масса стала определяться как «мера гравитационных и инертных свойств физических тел».

3. В начале XX вв. работы А. Эйнштейна и др. ученых по СТО и ОТО определили массу как «мера полной энергии материальных объектов». Полное современное определение: «Масса – это мера гравитационных и инертных свойств физических тел и полной энергии материальных объектов». В школьных учебниках физики этого определения нет.

Определение понятия осуществляется поэтапно:

1. В ходе работы с учебником или другим источником информации, наблюдения, эксперимента, расчетов выделяются и уточняются существенные признаки определяемого понятия.

2. Определяемое понятие выделяется от других, ранее усвоенных, родственных и близких по смыслу.

3. Устанавливаются связи и отношения определяемого понятия с другими, родственными и близкими по смыслу.

4. Определяется место и значение данного понятия в системе соответствующих знаний (в данной науке, научной картине мира и т.д.).

5. Решается вопрос о практическом использовании определенного понятия.

Изучения отдельных понятий и основных групп понятий может осуществляться при помощи соответствующих алгоритмов – обобщенных планов деятельности учащихся, разработанных академиком А.В. Усовой.

Требования к определениям научных понятий:

- Определение (введение) понятия должно быть обоснованным. Не следует придумывать новые понятия или переделывать старые без особой нужды.

- Необходимость: в определении понятия должны содержаться признаки, четко и однозначно выделяющие его из всех других понятий.

- Достаточность: в определении понятия должны указываться все его главные признаки.

Определение будет полным (необходимым и достаточным), если в нем отразятся все существенные стороны и свойства определяемого объекта.

Пример: разбор определения понятия *челов.*, данного Платоном: «Человек – это двуногое без перьев».

Краткость: минимальный объем текста должен содержать максимальный объем информации. Нельзя «растекаться мыслию по древу»!

- Ясность: определение понятия не должно содержать неизвестных (неопределенных) терминов. Можно заменять термины словами-синонимами. Нельзя определять одно непонятное через другое непонятное!

- Непротиворечивость: в определении понятия не должно содержаться противоположных по смыслу положений.

Понятия нельзя определять через одинаковые по смыслу слова-синонимы (такая ошибка называется *тавтологией*).

Пример: «Наша Галактика называется «Млечный Путь» (Млечный Путь по греч. – «Галактика»).

Определения научных понятий для учеников и студентов должны соответствовать их возрасту и уровню знаний с учетом всех вышеперечисленных требований. Они должны упрощаться без потери качества.

Общая классификация определений научных понятий:

С точки зрения содержания понятия мы можем выделить:

1) Генетические: философские, наиболее общие, важные, фундаментальные, которые нельзя упростить (*точка, пространство, время, материя, движение, Вселенная, жизнь, разум...*). Определяются путем описания (перечисления) важнейших характеристик и свойств. Принадлежат ко всем областям человеческого познания.

Определяемые через ближайший род и видовое отличие: объекты, процессы, явления, феномены, являющиеся самостоятельной частью (представителем) чего-то более сложного, обширного (*треугольник, звезда, остров, белка, клен...*). Определяются путем указания общности, частью которой они являются («ближайшего рода») и перечислением различий с другими объектами этой общности («видового отличия»).

Структура определений понятий может быть разной. Чаще всего используются следующие схемы определений понятий:

- ... – это (называется) ... («*Вселенная – это весь объективно существующий мир*»);

- называется (является, считается и т.д.) ... («*Направленное движение электрически заряженных частиц называется электрическим током*»). Нужно обсудить: все ли слова-связки являются синонимами? Равносильны ли они?

- если ... то («*Если траектория движения прямая линия, то движение называют прямолинейным*»).

Каждое определение научного понятия, каждое предложение текста содержит главные и второстепенные слова. Главные слова в определении:

1) указывают на основные признаки данного понятия;

2) определяют значение и смысл понятия;

3) служат опорными сигналами для психологии восприятия

Главные слова в предложении помимо указанных функций придают ему эмоциональную окраску.

Опорные сигналы в предложении почти всегда (но не всегда!) совпадают с главными членами предложения. В определении понятия опорные сигналы почти всегда (но не всегда!) совпадают с родовыми признаками понятий.

Определения могут быть:

1. Повествовательные: отвечают на вопрос «что случилось?», «что произошло?», «что делает (сделает)?»; содержание передается в форме рассказа, повествования об основных характеристиках и свойствах объекта понятия.

2. Описательные: «что (кто) такой (такие)?»; содержание передается в форме описания основных характеристик и свойств объекта понятия.

3. Рассудительные: отвечают на вопрос «почему?», «зачем?», «для чего?» содержание передается в форме рассуждения об основных причинах событий, характеристиках и свойствах объекта понятия.

Задание 1: Прочитайте приведенные на доске определения понятия «астрономия» из разных учебников астрономии:

1. М.Е. Набоков, Б.А. Воронцов-Вельяминов (1935 г.) *«Астрономия¹ изучает движение, строение, взаимную связь и процессы развития небесных тел.*

¹Слово «астрономия» греческого происхождения и имеет два корня: астрон – светило и номос – закон.

2. Б.А. Воронцов-Вельяминов (1994 г.) *«Астрономия¹ – наука, изучающая движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем.*

¹Это слово происходит от двух греческих слов: а’строн – светило, звезда и но’мос – закон.

3. Б.А. Воронцов-Вельяминов (Е.К. Страут, 2001 г.): *Астрономия¹ изучает движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем.*

¹Это слово происходит от двух греческих слов: astron – звезда, светило и no’mos – закон.

4. Е.П. Левитан: *«Астрономия – наука о Вселенной. Слово «астрономия» происходит от двух греческих слов: астрон – звезда и номос – закон.*

Астрономия изучает движение небесных тел, их природу, происхождение и развитие. ...Астрономия – одна из самых увлекательных и прекрасных наук о природе – исследует не только настоящее, но и далекое прошлое окружающего нас мегамира, а также позволяет нарисовать научную картину будущего Вселенной».

5. А.В. Засов, Э.В. Кононович: *«Всевозможные космические объекты, начиная с самых близких к нам и кончая наиболее удаленными, которые мы можем наблюдать, а также всю безграничную Вселенную как целое исследует наука астрономия (по греч. «астрон» – светило, «номос» – закон).*

Астрономия изучает строение Вселенной, движение, физическую природу, происхождение и эволюцию небесных тел и образованных ими систем».

6. В.В. Порфирьев: *«Астрономия – наука о строении и развитии небесных тел, образуемых ими систем и Вселенной в целом».*

Проанализируйте содержание определения каждого из этих понятий и ответьте на вопросы:

1. Какое это определение: описание, рассуждение, повествование?

2. Какие это понятия: а) с точки зрения содержания: генетические или определяемые «через ближайший род и видовое отличие»? б) с точки зрения структуры определений.

3. Как выполняются требования к определению понятий (необходимость, достаточность, краткость, ясность, непротиворечивость), являются ли эти определения полными и законченными?

4. Есть ли в этом определении научные, логические, методические и иные ошибки?

5. Проследите эволюцию определения понятия «астрономия» в учебнике Б.А. Воронцова-Вельяминова разных лет издания. Как и почему они изменялись?

6. Сравните определения понятия «астрономия» в современных учебниках Б.А. Воронцова-Вельяминова; А.В. Засова, Э.В. Кононовича; Е.П. Левитана; В.В. Порфирьева. Кто из авторов, по-вашему, дал наиболее удачное определение понятия? Почему? Обратите внимание, как профессионализм авторов влияет на содержание и способы определения понятий: у профессиональных астрономов Б.А. Воронцова-Вельяминова и Э.В. Кононовича определения – *рассуждения*, а у методиста Е.П. Левитана – *описания*. Какие из них более понятны, легче воспринимаются?

7. Выделите опорные сигналы в каждом из определений понятий и установите связь между ними.

8. Преобразуйте определение-повествование из учебника Е.П. Левитана в определение-рассуждение.

9. Преобразуйте определение-описание рассуждение из учебника Б.А. Воронцова-Вельяминова в определение-рассуждение.

Результаты работы обобщаются в таблице:

| Автор учебника | Определение понятия | Необходимые и достаточные условия в определении | Опорные сигналы | Связь между ними |
|----------------|---------------------|---|-----------------|------------------|
| | | | | |

Задание 2: Дайте свое определение понятия «астрономия» с учетом всех требований, предъявляемых к определениям понятий.

На выполнение задания отводится 10-12 минут. Затем обучаемые обмениваются тетрадями и проверяют определения понятий, данные их соседями, выставляют им отметки за работу. Педагог выступает в роли наблюдателя и «третьей стороны». Можно предложить учащимся провести «защиту» своего понятия у доски: весь класс становится критиками, адвокатами и судьями. При этом ученики учатся анализировать, выступать, аргументировать и защищать свою точку зрения.

В конце занятия обучаемые должны сформулировать алгоритм работы с научными понятиями:

1. Восприятие нового учебного материала (из рассказа (лекции) преподавателя, со страниц учебника, научно-популярной книги и т.д.).

2. Выделение определения основного понятия.

3. Анализ содержания определения понятия: необходимые и достаточные условия выделения основных признаков определяемого объекта (явления, процесса).

4. Подготовка и выполнение заданий на проверку усвоения материала:

а) сформулировать данное определение по-другому (выделение ключевых слов с подбором их синонимов; перестановка отдельных фраз (участков фразы) и слов в предложении и т.д.); проанализировать результат, сделать выводы;

б) найти ошибки в неправильно сформулированных определениях данного понятия (научные, логические, методические и т.д.).

Занятие завершается общим обсуждением его результатов, подведением итогов и объявлением домашнего задания.

Желательно проверить уровень астрономических знаний обучаемых при помощи «Универсальной астрономической анкеты».

Практическое занятие 2

Изучение науки астрономии

Цель занятия: формирование умения работать с определениями научных понятий и информацией книжного текста.

Обучаемые должны научиться: пользоваться письменными источниками информации: учебными пособиями, справочниками, словарями; анализировать содержащуюся в них информацию; понимать содержание и структуру научных понятий, самостоятельно составлять определения понятий; строить опорные схемы.

Методика проведения занятия:

В начале занятия следует указать тему, цель и задачи урока: формирование умений работать с текстом: научиться выделять самое важное из текста книги, давать определения понятий, составлять классификационные таблицы и схемы. Нужно обязательно оговорить ученикам универсальную применимость объясняемой методики: они могут использовать ее на любых других уроках по любым учебным предметам в школе и вузе.

Далее в ходе беседы с обучаемыми начинаем проводить анализ текста первой лекции по астрономии (ниже ее текст выделяется подчеркиванием). Для улучшения качества усвоения материала размноженные тексты лекции раздаются ученикам. На столе педагога (и, желательно, на партах учеников) должны быть справочники по астрономии и физике и словари: философский и толковый. Ученики работают «на развороте тетради»: развернутый лист тетради делится на 2 половины: в левой колонке (странице) ученики вместе с учителем выделяют опорные слова и устанавливают связи между ними по материалу лекции; в правой колонке (странице) ученики должны самостоятельно найти и переработать соответствующим образом материал из своего учебника.

Астрономия – наука о Вселенной.

Выделяем опорные слова: «астрономия», «наука», «Вселенная».

При помощи «Толкового словаря» определяем значение термина «наука»:

«Наука – сфера человеческой деятельности, направленной на познание окружающего мира, производство новых знаний о природе, обществе, мышлении с использованием полученных знаний во благо людей».

Вселенная – это весь окружающий мир.

При помощи «Толкового словаря» определяем значение терминов «окружающий», «мир»:

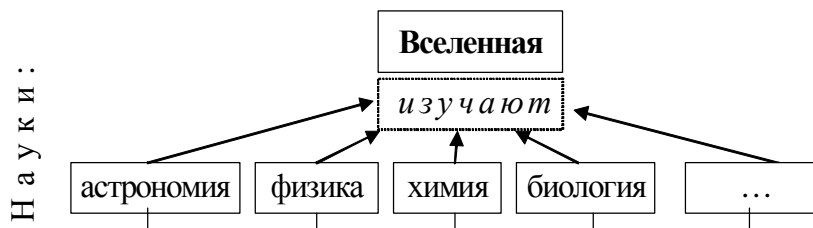
«Окружающий – находящийся вокруг чего-нибудь; составляющий чью-нибудь среду».

«Мир – совокупность всех форм материи в земном и космическом пространстве; отдельная часть Вселенной; планета; земной шар, Земля и люди, население земного шара».

Обращаем внимание на то, что хотя объективно «Вселенная» ≡ «окружающий мир», но субъективно (в обыденном, бытовом сознании) «Вселенная» ≠ «окружающий мир», т.к. под «окружающим миром» чаще всего подразумевается относительно небольшой участок Земли, на котором мы находимся.

Его изучением занимаются, помимо астрономии, различные естественные науки: физика, химия, биология. Все они тесно связаны с астрономией и между собой.

Строим схему, отражающую связь Вселенной с изучающими ее науками:



При построении схемы нужно обговорить, что означает каждый символ (рамки, стрелки, шрифт текста подписи и т. д.).

Все ли науки учтены? Каким термином выражена связь между Вселенной и науками? (*изучают*). Подберите слова-синонимы к этому слову (*исследуют, познают...*). Изменится ли смысл высказывания, если заменить слово «изучают» перечисленными синонимами?

У каждой науки своя цель, задачи, объекты познания, область использования, методы и инструменты исследований.

Составляем соответствующую таблицу (заполняется дома):

| Науки | Цель | Задачи | Объекты познания | Методы и инструменты | Область использования |
|------------|------|--------|------------------|----------------------|-----------------------|
| Астрономия | | | | | |
| Физика | | | | | |
| Математика | | | | | |
| Химия | | | | | |
| Биология | | | | | |
| География | | | | | |

Астрономия изучает космические объекты, космические процессы и космические явления.

При помощи «Толкового словаря» и «Физического словаря» определяем значение терминов «космос», «объект», «явление», «процесс», а затем на их основе конструируем определения понятий «космические объекты», «космические процессы» и «космические явления».

«Космос – космическое пространство со всеми его объектами; включает околоземное и межпланетное пространство (ближний космос), межзвездное и межгалактическое пространство (дальний космос) со всеми космическими объектами».

Прилагательное «космические» отвечает на вопрос «какие?» и определяет принадлежность чего-то как «находящиеся в космосе», «принадлежащие к космосу», «относящиеся к космосу».

«**Объект** – предмет; то, что существует вне нас и независимо от нашего сознания».

Определение понятия «объект» из «Толкового словаря» удовлетворяет нашим запросам: понятие «космический объект» будет определяться как *то, что существует вне нас и независимо от нашего сознания в космосе*».

В соответствии с «Толковым словарем»:

«**Явление** – то, в чем сказывается, обнаруживается сущность; вообще всякое проявление чего-либо, событие, случай».

Эти определения понятия «явление» из «Толкового словаря» нас не удовлетворяют, поскольку в них нет достаточной ясности, однозначности. Воспользуемся «Физическим словарем»:

«**Физическое явление** – всякое изменение, превращение или проявление свойств материальных объектов».

Это определение наиболее полно соответствует нашим нуждам. Согласно ему:

1. «**Космическое явление** – это физическое явление, происходящее в космосе».

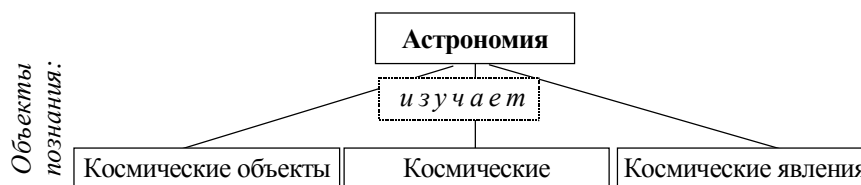
2. «**Космическое явление** – всякое изменение, превращение или проявление космических объектов».

В соответствии с «Толковым словарем»:

«**Процесс** – ход, последовательная смена состояний в развитии чего-либо; совокупность последовательных явлений, состояний в развитии чего-либо».

Нашим нуждам наиболее полно соответствует второй вариант определения понятия. Согласно ему: «**Космический процесс** – совокупность последовательных космических явлений, состояний в развитии космических объектов».

Строим схему, на которой отражена связь астрономии с космическими объектами, процессами и явлениями.



Каким термином выражена связь между астрономией, космическими объектами, процессами и явлениями? (*изучает*). Какие синонимы этого слова вы знаете? (*исследует, познает...*)

В данном определении понятия выражена прямая связь между его объектами.

Установите обратную связь между объектами данного определения:

«Космические объекты, космические процессы и космические явления изучаются наукой астрономией».

Равносильны ли эти связи? (*Да*).

«**Космические объекты** – это космические тела и космические системы».

Под космическими телами мы будем понимать изучаемые астрономией физические тела – структурные элементы Вселенной».

При помощи «Толкового словаря» определяем значение терминов: «элемент», «структура», «физическое тело»:

«**Элемент** – простейшая, первичная, неделимая часть чего-то».

«**Структура** – внутренняя упорядоченность, организация связей и отношений между элементами системы; вся совокупность связей и отношений между элементами».

«**Физическое тело** – отдельный предмет в пространстве; часть пространства, заполненного веществом и (или) ограниченного замкнутой поверхностью».

Равноценны ли в данном определении термины «физические тела» и «структурные элементы Вселенной»? Неясно, поскольку пропущены слова, связующие эти термины и выражающие отношение между ними. Какие это могут быть слова? («которые являются», «представляющие собой» и т.д.).

Постройте это определение правильно:

«Под **космическими телами** мы будем понимать изучаемые астрономией физические тела, которые являются структурными элементами Вселенной».

Верны ли высказывания:

- «Космические тела – это физические тела Вселенной».
- «Космические тела – структурные элементы Вселенной».
- Равноценны ли они?

Предложите другие варианты определения понятия «космические тела»:

«**Космические тела** – это физические тела, которые являются структурными элементами Вселенной».

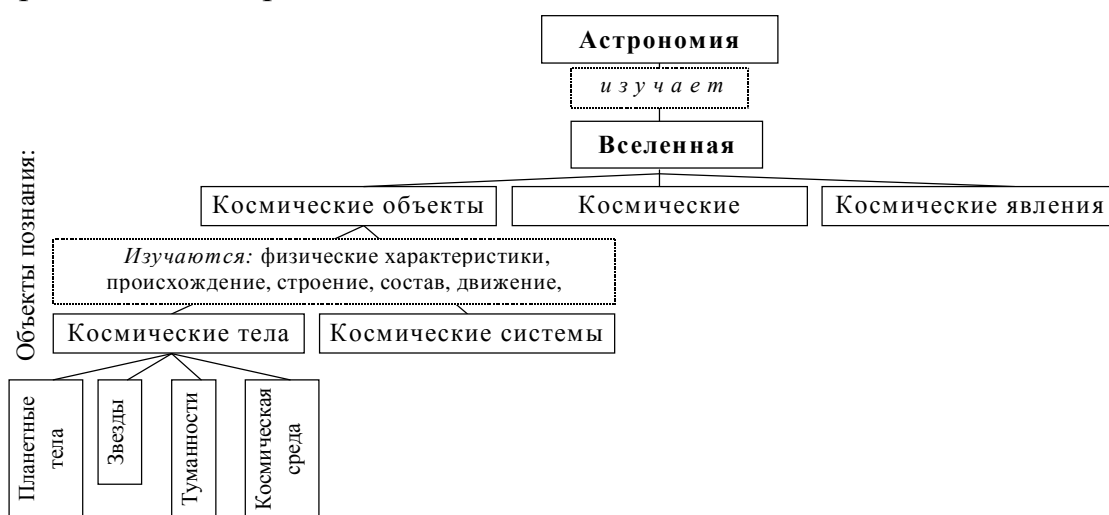
«**Космические тела** – это физические тела, представляющие собой структурные элементы Вселенной».

Установите обратную связь между объектами данного определения:

«Структурные элементы Вселенной – это физические тела, которые находятся в космосе. Они называются космическими телами». Обратите внимание на то, что определения понятий могут даваться не одним, а двумя предложениями.

Основными типами космических тел являются планетные тела, звезды, туманности и космическая среда. Астрономия изучает их основные физические характеристики, происхождение, строение, состав, движение и эволюцию.

Продолжим построение схемы:



Основные физические характеристики (нужно их оговорить, перечислить с учетом иерархии (степени важности), происхождение, строение, состав, движение, эволюцию мы можем обозначить как свойства космических тел. Следовательно: а) выясняется, какие именно свойства космических тел изучаются ас-

трономией; б) возникает возможность с учетом иерархии (степени важности) свойств космических тел составить алгоритм их изучения и описания:

1. Физические характеристики: размеры, масса, плотность, температура, цвет.
2. Стрoение (структура) и состав.
3. Происхождение (возникновение).
4. Взаимодействие между собой.
5. Эволюция.

Поскольку «космические тела» по определению по своей природе являются физическими телами, все вышесказанное мы можем перенести на соответствующие качества и свойства физических (материальных) тел, изучаемых в любых естественных науках. Следовательно, на основании перечисления свойств космических тел можно построить алгоритм изучения любых физических, т.е. материальных тел.

На этом примере демонстрируется возможность широкого использования информации, обретенной из одного, сравнительного узкого источника, в различных областях и ситуациях.

Космические системы состоят из космических тел.

При помощи «Толкового словаря» определяем значение термина «система»:

«Система – множество элементов, находящихся в определенных отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство; совокупность объектов, взаимодействие которых вызывает возникновение новых интегративных качеств, не присущих отдельным компонентам системы.

Признаки системы: 1) система представляет собой целостный комплекс взаимосвязанных элементов – компонентов системы; 2) система является системой более высокого порядка по отношению к составляющим ее элементам; 3) система является подсистемой системы более высокого порядка; 4) система образует особое единство со средой».

Космические тела в космических системах обычно имеют общее происхождение (образуются в одно и то же время в одном и том же месте), взаимосвязаны силами тяготения и электромагнитными полями и перемещаются в пространстве как единое целое. В число основных типов космических систем входят планетные и звездные системы, галактики, Метагалактика и вся Вселенная. Системы космических тел обладают новыми качествами, не присущими отдельно взятым телам-элементам этой системы. Так, звезды образуются только внутри гигантских космических систем – галактик; жизнь может существовать лишь на поверхности тел, входящих в планетные системы отдельных звезд и т.д.

Выделяем и перечисляем свойства космических систем:

- наличие качеств, не присущих отдельно взятым телам – элементам этой системы;
- общее происхождение (образуются в одно время в одном и том же месте);
- взаимосвязаны силами тяготения и электромагнитными полями;
- перемещаются в пространстве как единое целое.

Продолжаем построение схемы:



Космические процессы представляют собой совокупности физических процессов, лежащих в основе возникновения, существования и развития космических объектов.

При помощи «Толкового словаря» и словаря синонимов определяем значение терминов «возникновение», «существование», «развитие» и «эволюция»:
«**Возникновение** – появление, образование, рождение, начало чего-либо».
«**Существование** – пребывание в определенном состоянии».

«**Развитие** – необратимое, направленное, закономерное изменение материальных объектов, их универсальное свойство; процесс взаимосвязанных количественных и качественных изменений, наследуемых и приобретаемых свойств объекта с момента его возникновения до конца существования».

«**Эволюция** – всеобщее упорядоченное развитие; процесс, посредством которого различные материальные элементы развиваются из ранее существовавших форм, изменяясь из поколения в поколение; развитие, процесс постепенного непрерывного количественного изменения чего-нибудь, подготавливающий качественные изменения».

Какое из понятий шире: «развитие» или «эволюция» (эволюция)? Какое из них входит в объем другого понятия? Почему?

Космические процессы обуславливают главные физические характеристики космических объектов и их систем, определяют основные этапы их эволюции, а также возникновение и протекание космических явлений. Примерами космических процессов можно назвать образование, существование и эволюцию звезд, планет, галактик и всей Вселенной.

Перечислим свойства космических процессов (что происходит в ходе и результате их протекания, что от них зависит):

- возникновение космических объектов;
- существование космических объектов;
- развитие космических объектов, основные этапы их эволюции;
- главные физические характеристики космических объектов и их систем;
- возникновение и протекание космических явлений.

Продолжаем построение схемы:

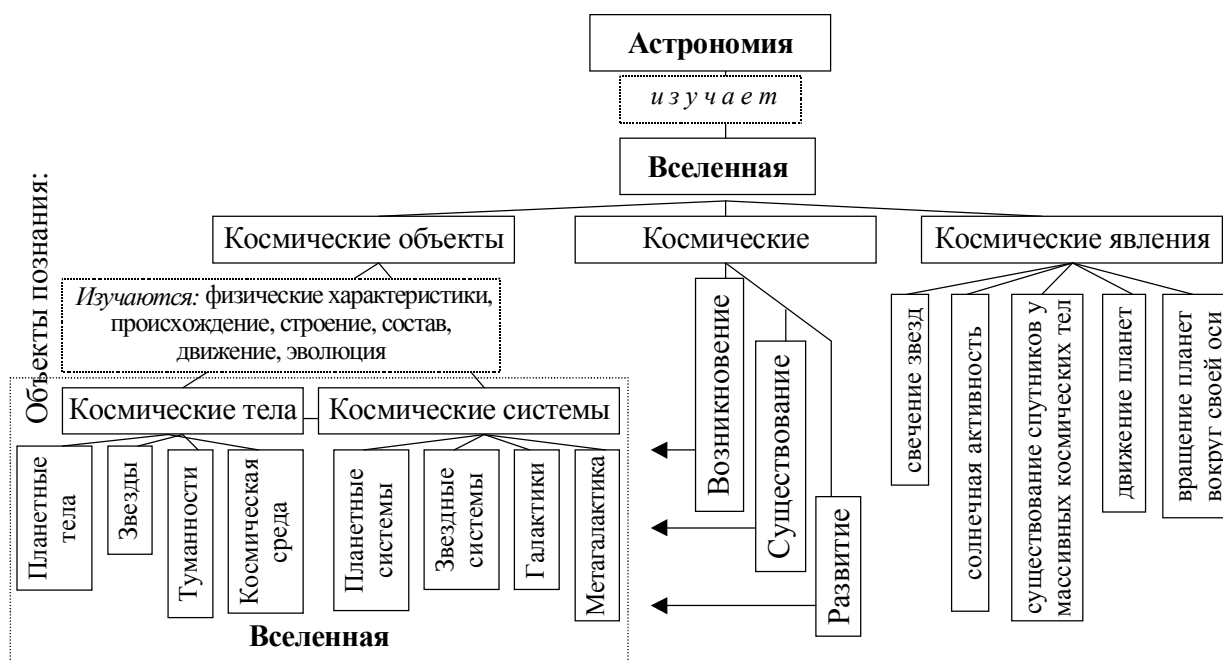


Космическими явлениями называются физические явления, возникающие при взаимодействии космических тел и протекании космических процессов. Примерами космических явлений можно назвать существование спутников у массивных космических тел, движение планет, солнечную активность и т.д.

Перечислим свойства космических явлений:

- возникают при взаимодействии космических тел;
- возникают при протекании космических процессов.

Перечисляем известные космические явления (свечение звезд, метеоры, вращение Земли вокруг оси и т.д.). Завершаем построение схемы:



Предлагаем составить рассказ по схеме на основе прямой связи, когда схема «читается сверху вниз» и обратной связи, когда схема «читается снизу вверх». Равнозначны ли получившиеся результаты?

Итогом занятия становится составление алгоритма работы с текстом – анализа текста, последовательно осуществляемым с содержанием каждого абзаца, параграфа и главы изучаемой книги:

1. Прочитать предложение. Проверить, все ли слова (термины) в нем понятны. В случае затруднения определить их значение по толковому словарю и другим справочникам.

2. Проанализировать содержание предложения. О чем в нем сообщается? Что происходит с объектом сообщения, к какому времени, месту и ситуации относится информация? Для чего и как ее можно использовать?

3. Если это предложение является определением понятия, то нужно:

- проверить его правильность на основе соответствующих критериев;
- установить обратную связь между объектами данного определения, проверить равноценность прямой и обратной связи;
- исправить ошибки и недостатки в определении понятия, объяснить свою точку зрения.

4. Выделить главную и дополнительную части предложения. Установить связь между главной и дополнительной частью предложения. Несет ли дополнительная часть полезную информацию (какую, в какой форме, с какой целью)?

5. Выделить опорные слова в предложении. Проследить связь между ними. Выписать опорные слова.

6. Составить вопросы к данному предложению.

7. Перейти к работе со следующими предложениями текста.

8. Составить схему, связующую опорные слова.

9. Проанализировать структуру и содержание составленной схемы. Составить на основе информации, содержащейся в получившемся тексте – краткий конспект данного абзаца (1 предложение, выражающее главную мысль текста).

10. Последовательно проделать аналогичную работу с последующими абзацами данного параграфа. Составить на основе информации, содержащейся в получившемся тексте краткий конспект параграфа (до 10 предложений в 3 формах: текста-повествования, текста-описания и текста-рассуждения).

11. Провести аналогичную работу с другими параграфами данной главы.

12. По завершению работы над текстом главы сделать анализ ее конспекта. Сократить его до минимального объема (не более 10-15 предложений) при полном сохранении главной части информации. Записать получившийся результат.

Работа с опорными конспектами может использоваться не на всех, а лишь на наиболее подходящих 15-30 % уроков, преследующих цели:

1. Объединение (синтез) знаний о главных свойствах объекта познания в его единое целостное описание. Систематизация знаний на внутривидовом уровне. Составление схем понятий.

2. Классификация и систематизация понятий на основе фундаментального признака.

3. Обобщение материала урока (темы, раздела, курса) в единую общую картину.

Занятие завершается общим обсуждением его результатов, подведением итогов и объявлением домашнего задания: составить опорные конспекты («шпаргалки») соответствующих параграфов школьного учебника астрономии.

Отвечать по конспекту и схемам данного учащегося будет его одноклассник. Каждый получает по 2 отметки: 1) за составление опорного конспекта и схем; 2) за рассказ- «расшифровку» схемы, сделанной его одноклассником.

Лекция 2

Астрономические исследования

Основными методами астрономических исследований являются астрономические наблюдения и измерения, осуществляемые посредством разнообразных астрономических приборов и космические исследования, выполняемые различными космическими аппаратами.

В результате наблюдений ученые получают свыше 90 % информации о космических процессах, явлениях и объектах.

Главной особенностью астрономических наблюдений до сих пор остается их пассивность по отношению к изучаемым объектам. До начала космической эры в астрономии не могло быть экспериментальных исследований. В настоящее время возможность прямого изучения космических тел ограничена пределами Солнечной системы. Ученые не могут активно влиять на космические явления и, тем более на космические процессы.

Другой особенностью астрономических исследований является необходимость объяснения новых открытий задолго до создания их полной теории.

До середины XIX в. астрономы изучали лишь видимый свет космических объектов. В XX в. исследования распространились на их радиоволновое, инфракрасное (тепловое) и ультрафиолетовое излучение. Космонавтика позволила изучать космические объекты во всем диапазоне их излучения.

В зависимости от характеристик исследуемого излучения астрономию стали подразделять на оптическую астрономию, радиоастрономию, инфракрасную астрономию, ультрафиолетовую астрономию, рентгеновскую и гамма-астрономию, изучающие соответственно видимый свет, радиоволны, инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи, испускаемые космическими объектами.

Основными инструментами астрономических исследований являются телескопы.

Телескоп – приемник излучения космических объектов, предназначенный для астрономических наблюдений.

По видам воспринимаемого электромагнитного излучения телескопы подразделяются на радиотелескопы, инфракрасные (ИК-) телескопы, оптические телескопы, ультрафиолетовые (УФ-) телескопы, рентгеновские и γ -телескопы. Кроме того, в настоящее время к телескопам стали относить некоторые приемники элементарных частиц и детекторы космических лучей, используемые для астрономических исследований (нейтринные телескопы, детекторы гравитационных волн и т.д.). Чем мощнее телескоп, тем больше излучения он способен уловить, тем менее яркие и удаленные объекты можно наблюдать с его помощью и тем большего увеличения видимых угловых размеров светил можно будет добиться.

Помимо телескопов и в сочетании с ними астрономы используют различные угломерные, фотометрические, спектральные и другие приборы. Результаты наблюдений фиксируются и сохраняются на бумаге, фотографиях, видеозаписи, памяти компьютеров.

Телескопы устанавливаются в астрономических обсерваториях. **Астрономические обсерватории** – специальные научно-исследовательские учреждения, оснащенные различными астрономическими инструментами и приборами для обработки результатов наблюдений.

В настоящее время на Земле около 500 обсерваторий, большая часть которых расположена в Северном полушарии. В России действует свыше 10 обсерваторий и почти столько же в странах СНГ. Наиболее крупными являются: Гринвичская (Великобритания), Пик-дю-Миди (Франция), Гарвардская, Маунт-Паломар и Гавайская (США), России (ГАО и САО), Главная и Специальная астрофизические обсерватории.

1. Методы и приборы астрономических исследований

Анализ электромагнитного излучения космических объектов дает астрономам свыше 90 % сведений об их физической природе, основных характеристиках и особенностях, космических явлениях и процессах. Все свои данные ученые получают на основе:

- измерения количества квантов света, приходящих от источника за единицу времени на единицу площади, определение блеска светила – этим занимается астрофотометрия;

- изучение распределения излучения по длинам волн (частотам) спектра – этим занимается астроспектроскопия;

- определение направления излучения (небесных координат) источника и его угловых размеров – область астрометрии.

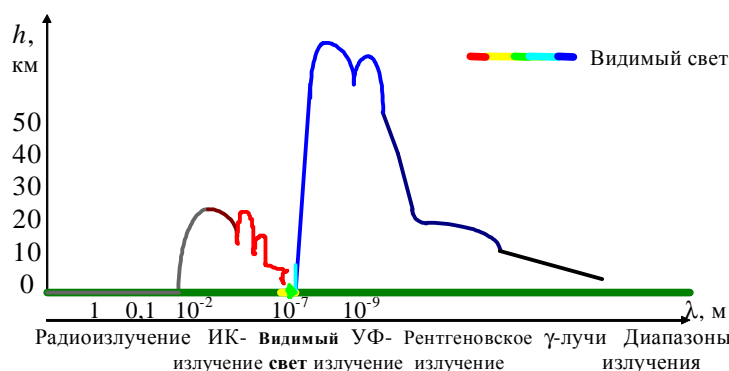


Рис. 1. Прозрачность земной атмосферы для различных диапазонов электромагнитного излучения

Наземные астрофизические исследования имеют свои особенности, определяемые прозрачностью земной атмосферы для разных диапазонов электромагнитного излучения (см. рис. 1).

Земная атмосфера имеет два «окна прозрачности»: в диапазоне радиоволн длиной от 1 мм до 15-30 м и в оптическом диапазоне ($0,3 \text{ мкм} < \lambda < 1,5-2 \text{ мкм}$). Остальное электромагнитное излучение поглощается или рассеивается молекулами и атомами воздуха.

Энергия квантов света возрастает с уменьшением длины волны: $E_g = h \cdot \frac{c}{\lambda}$.

Человеческий глаз воспринимает излучение в диапазоне от $4 \cdot 10^{-7}$ до $7,6 \cdot 10^{-7}$ м, проявляя наибольшую чувствительность к лучам желто-зеленой части спектра с $\lambda = 555 \text{ нм}$, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости Солнца и которая менее всего поглощается земной атмосферой. С уменьшением освещенности земной поверхности в сумерках, ночью, глаз становится более чувствительным к обладающим большей энергией лучам синеволетовой части спектра ($\lambda = 507 \text{ нм}$). Тренированный глаз способен различать цвета (участки спектра) с разностью длин волн в $2 \cdot 10^{-9}$ м.

Чем больше солнечной энергии падает на листья растений, тем интенсивнее идет процесс фотосинтеза. Поэтому флора равнин окрашена в зеленый цвет, а высокогорные растения имеют голубовато-синий оттенок.

У раскаленных звезд, обладающих температурой видимой поверхности от 3000 К до 10000 К максимум энергетической светимости лежит в видимой части спектра, и мы воспринимаем звезды как «самосветящиеся» космические тела. У планетных тел максимум собственной энергетической светимости находится в инфракрасной и радиоволновой части спектра (для Земли $\lambda_{\max} \approx 0,01$ мм). Поэтому собственное излучение планет остается невидимым для наших глаз: говорят, что планеты «светят отраженным светом» (на самом деле все планеты-гиганты Солнечной системы излучают энергии больше, чем получают от Солнца).

Одним из основных методов астрофизических исследований является **астрофотометрия**, определяющая энергетические характеристики объектов путем измерения энергии их электромагнитного излучения. Основными понятиями астрофотометрии являются «блеск» и «звездная величина» небесного светила.

Блеск небесного светила – это освещенность, создаваемая им в точке наблюдения: $E = \frac{L}{4\pi r^2}$, где L – количество энергии, излучаемое светилом; r – расстояние от светила до Земли.

Для измерения блеска в астрономии используют особую единицу измерения – **звездную величину**. Звездная величина светила обозначается числом с латинской буквой « m » на месте показателя степени.

Формула перехода от звездных величин к единицам освещенности, принятым в физике: $\frac{E}{m} = -13,89^m - 2,5 \lg E$.

Звездная величина – это условная (безразмерная) величина испускаемого светового потока, характеризующая блеск небесного светила, выбранная таким образом, что интервал в 5 звездных величин соответствует изменению блеска в 100 раз. Одна звездная величина отличается от другой ровно в 2,512 раз. Объекты, блеск которых в 2,512 раза превосходит блеск «первой величины» (1^m), называются объектами «нулевой величины» (0^m), более ярким присваиваются отрицательные значения звездных величин (-1^m , -2^m и т.д.).

Блеск Солнца $-26,8^m$. Блеск Луны в полнолуние -12^m . Блеск Венеры вблизи нижнего соединения до $-4,6^m$. Самая яркая из звезд – Сириус, а Большого Пса, имеет блеск $-1,2^m$. Самые слабые из космических объектов, наблюдаемых в настоящее время, имеют блеск $28^m - 29^m$.

Формула Погсона связывает блеск светил с их звездными величинами:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1} \quad \text{или} \quad \lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1), \quad \text{где } E_1 \text{ и } E_2 - \text{освещенность от}$$

каждого из светил, m_1 и m_2 – их видимые звездные величины.

Определяемая звездная величина зависит от общей и спектральной чувствительности приемника излучения.

Визуальная звездная величина (m_v) определяется прямыми наблюдениями и отвечает спектральной чувствительности человеческого глаза.

Фотографическая звездная величина (m_p) определяется измерением освещенности светилом на фотопластинке, чувствительной к сине-фиолетовым и ультрафиолетовым лучам.

Болометрическая звездная величина (m_b) отвечает полной мощности излучения светила. Определяется прибором болометром¹.

Звезды и другие удаленные объекты, не имеющие видимых угловых размеров, могут служить моделью точечного источника света. Испускаемые ими лучи движутся практически параллельно. Для протяженных, имеющих большие угловые размеры объектов определяется интегральная (общая) звездная величина, равная сумме блеска его частей.

До середины XIX в. фотометрия космических объектов была исключительно визуальной: для измерения световых характеристик космических объектов использовался человеческий глаз. В визуальных фотометрах блеск светила сравнивается с яркостью искусственного источника света, изменяемого с помощью дымчатого клина или системы поляризаторов. Точность измерений достигает $0,02^m$.

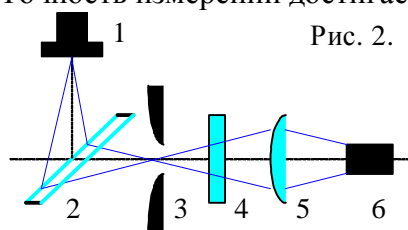


Рис. 2. Схема электрофотометра:

- 1 — окуляр телескопа,
- 2 — диагональное зеркало для контроля изображения,
- 3 — диафрагма,
- 4 — светофильтры,
- 5 — линза для фокусировки светового пучка,
- 6 — фотоэлемент или ФЭУ

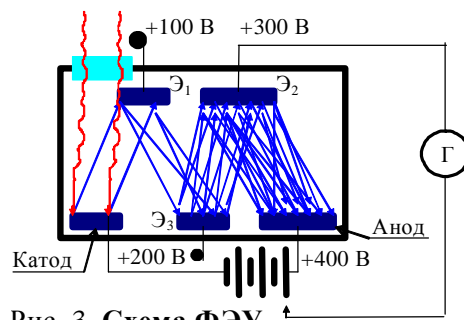


Рис. 3. Схема ФЭУ

В современной астрофотометрии широко используются фотоэлектрические фотометры, обеспечивающие точность измерения до $0,1^m$ (принцип действия основан на применении светочувствительных фотоэлементов), фотоэлектрические умножители (ФЭУ).

В ФЭУ поток квантов света, падающий на фотокатод К, выбивает из него электроны (явление внешнего фотоэффекта), ускоряемые электрическим полем и попадающие на эмиттер \mathcal{E}_1 , выбивая из него новые электроны, которые ускоряются и падают на второй эмиттер и т. д.; поток электронов падает на анод, возникший электрический ток регистрируется гальванометром. Точность фотометрических измерений составляет свыше $0,01^m$ (до $0,003^m$).

Важнейшими устройствами для регистрации излучения космических объектов в современной астрофизике служат электронно-оптические преобразователи и ПЗС-камеры.

Действие электронно-оптического преобразователя (ЭОП) основано на использовании явления фотоэффекта. Излучение светила падает на фотокатод, покрытый веществом, для которого «красная граница фотоэффекта» находится в инфракрасной части спектра. Вылетевшие из катода электроны ускоряются в электрическом поле и попадают на люминесцентный экран. Чувствительность фотонных приемников в десятки раз выше, чем у тепловых приборов. Чем ниже температура приемника ИК-излучения, тем выше его чувствительность, чем лучше он защищен от тепловых помех из внешней среды, поэтому корпуса приемников охлаждают в жидком азоте (78 К) и даже жидком гелии (1,5 К). Их разрешающая способность достигает $0,1''$.

ПЗС-камеры (ПЗС – прибор с зарядовой связью) представляют собой светочувствительные (в основном кремниевые) полупроводниковые микросхемы с набором матриц элементов-пиксел, каждый из которых способен накапливать электрический заряд пропорционально своей освещенности. Оптическое изображение в фокальной плоскости телескопа преобразуется в распределение заряда по ПЗС-матрице. Полученные данные обрабатываются электронным устройством (компьютером) и фиксируются. Простые ПЗС-матрицы являются одной из главных деталей видеокамер. Астрономические ПЗС-матрицы отличаются от них сложностью, большей чувствительностью, увеличенным числом пикселов.

¹ Болометр – тонкая, зачерненная сажей или окисью серебра проволока, включенная в электрическую цепь. При нагревании ее сопротивление изменяется.

Первые фотографические наблюдения космических объектов начались в 40-х годах XIX в. Астрономы высоко ценят преимущества **астрофотографии** перед визуальными наблюдениями: интегральности – способности фотоэмульсии постепенно накапливать световую энергию (с помощью обычного фотоаппарата на установке с часовым механизмом за 15 мин. экспозиции можно получить снимки звезд до 9^m , за 1 ч до 11^m); моментальности; панорамности; объективности – на нее не влияют личные особенности наблюдателя. Фотография является своеобразным документом: многие астрономические открытия были сделаны или уточнены, доказаны с помощью фотографий, сняты десятки лет назад, поэтому их негативы хранятся в специальных архивах обсерваторий. Обычная фотоэмульсия более чувствительна к сине-фиолетовому излучению, однако в настоящее время астрономы применяют при съемке космических объектов фотоматериалы, чувствительные к различным частям спектра электромагнитных волн, не только к видимым, но и к инфракрасным и ультрафиолетовым лучам. Чувствительность современных фотоэмульсий составляет десятки тысяч единиц ISO. Широкое применение получили киносъемка, видеозапись, применение телевидения.

Телескопы, предназначенные для проведения фотографических наблюдений, называются **астрографами**.

Открытие основ спектрального анализа в середине XIX в. произвело подлинную революцию в астрофизике. **Спектральный анализ** позволил установить основные физические характеристики космических тел, судить о процессах, протекающих в их атмосферах и на поверхности.

Первые спектральные наблюдения космических тел производились визуально, при помощи спектроскопа, вмонтированного в окулярный узел телескопа. Затем спектры космических тел стали фотографироваться.

В настоящее время ученые изучают спектры космических объектов на всем протяжении шкалы электромагнитных волн: от радио- до γ -диапазона. Исследуется как тепловое излучение, испускаемое веществом за счет внутренней энергии движения его молекул и атомов при переходе электронов с одного энергетического уровня на другой и их рекомбинации ($10^{-9} < \lambda < 10^{-3}$ м), так и нетепловое излучение ($\lambda < 10^{-9}$ м и $\lambda > 10^{-3}$ м), возникающее при ускоренном движении электронов, атомном распаде и других процессах.

Механизм и особенности излучения определяются из характера непрерывного спектра.

Спектральный анализ позволяет определять следующие характеристики космических объектов:

1. Температура вычисляется по закону Вина: длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, обратно пропорциональна температуре тела:

$$l = \frac{b}{T}, \text{ где } b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К} - \text{постоянная Вина.}$$

2. Светимость рассчитывается на основе данных о ширине спектральных линий.

3. Химический состав. Сравнивая положение линий (полос) поглощения или излучения в спектре космического тела и эталонных спектрах различных химических элементов и соединений, ученые определяют качественный химический состав, а по яркости (интенсивности) линий и полос судят о количественном (процентном) содержании каждого элемента или соединения.

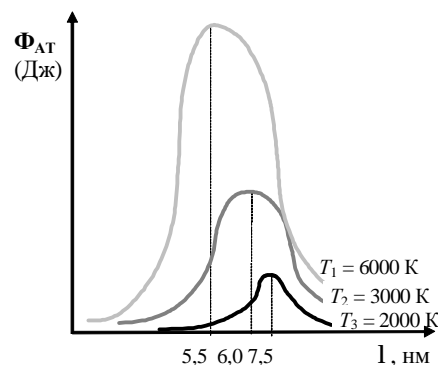


Рис. 4. Закон Вина

4. Степень ионизации и состояние вещества, концентрации вещества, давление и масса газа в туманностях и звездах.

5. Наличие и мощность магнитных полей. В результате воздействия магнитных полей космических объектов на их излучение каждая линия в спектре «расщепляется» на 2 или более линии-близнеца (эффект Зеемана-Штарка).

6. Характеристики движения: наличие и скорость вращения, направление и скорость перемещения в пространстве относительно наблюдателя, а в ряде случаев и расстояние до них. По принципу Доплера при сближении наблюдателя с источником излучения длины волн излучения укорачиваются (линии в оптическом спектре равномерно сдвигаются в фиолетовую часть спектра); при удалении объекта спектральные линии сдвигаются в красную часть спектра. Вращение космических тел обнаруживается по регулярному смещению линий в оба конца от среднего положения.

По спектру космических объектов, наблюдаемых как единое целое даже в мощнейшие телескопы, можно установить, какие из них на самом деле являются системами космических тел, и какие тела с какими характеристиками входят в эти системы: спектры их просто «накладываются» один на другой.

По лучевым скоростям отдельных областей внутри галактик из их спектров узнают о внутренних движениях и распределении масс вещества; по интенсивности эмиссионных линий – о количестве горячего газа, особенностях его распределения и скоростях движения внутри галактики. Для далеких галактик величина «красного смещения» спектральных линий пропорциональна их удаленности: $\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{u_r}{c} \right)$, где λ_0 – длина волны спектральной линии при неподвижном источнике, u_r – скорость по лучу зрения.

Возможность определения физических характеристик космических объектов независимыми способами (на основе фотометрических данных, изучения спектров и т.д.) позволяет их проверять, уточнять и свидетельствует об истинности и объективности и единстве законов физики для всей известной нам части Вселенной.

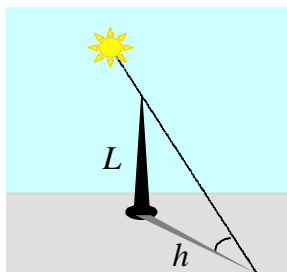
• Угломерные приборы

Необходимость измерения углов между небесными светилами и основными точками и линиями небесной сферы и точного определения моментов времени привела к созданию **угломерных приборов** астрометрии.

Гномон в простейшем варианте представляет собой вертикальный стержень, отбрасывающий тень на горизонтальную плоскость. Зная длину гномона L и измерив длину отбрасываемой им тени l , можно найти угловую высоту Солнца над горизонтом h по формуле: $\operatorname{tg} h = \frac{L}{l}$. Древние астрономы использовали гномон для измерения полуденной высоты Солнца в различное время года, главным образом для ведения календаря: гномон позволяет зафиксировать дни летнего и зимнего солнцестояний, определять продолжительность солнечного года, географические координаты местности и может использоваться в качестве простейших солнечных часов. Измерения будут тем точнее, чем выше гномон и, следовательно, длиннее отбрасываемая им тень. Самый высокий гномон имел высоту 90 м (Флоренция, XV век).

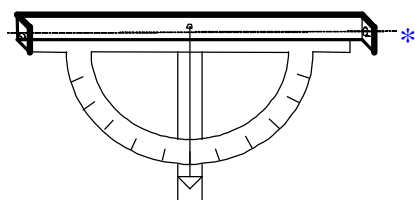
Высотомер служил для измерения высоты (зенитного расстояния) светила над горизонтом и для измерения угловых расстояний между светилами. К данному типу угломерных инструментов относятся скафис, звездный посох, квадрант, секстант, октант и модель небесной сферы (армилярная сфера).

Чем крупнее был угломерный инструмент, чем точнее была его градуировка и установка в вертикальной плоскости, тем более точные измерения можно было с ним проводить.



Гномон:

Зная длину гномона L и измерив длину отбрасываемой им тени l , можно найти угловую высоту Солнца над горизонтом h по формуле: $tg h = \frac{L}{l}$



Простейший высотомер состоит из деревянной линейки с визирами на концах к которым крепится транспортер и небольшой отвес. После наводки линейки на светило производится отсчет его высоты по шкале транспортера. Последовательное уменьшение “работающей” части дуги транспортера до 1/4, 1/6 и 1/8 части окружности соответственно превращает прибор в квадрант, секстант, октант.

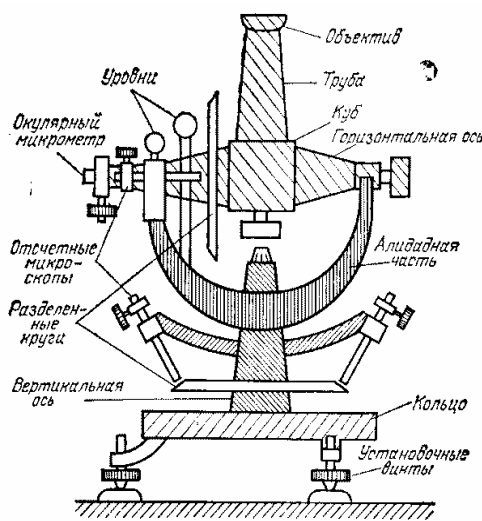


Схема универсального инструмента

Рис. 5. Угломерные приборы

Изобретение телескопа позволило значительно повысить точность астрометрических наблюдений. Современный угломерный инструмент состоит из вертикального и горизонтального кругов (лимбов) со шкалами измерений, соединенных с соответствующими осями вращения и служащих для отсчета углов, и небольшого телескопа («астрономической трубы») в роли визира.

Универсальный инструмент предназначен для измерения горизонтальных координат светил с точностью до 5"-10" в любой точке земного шара и применяется для определения географических координат места наблюдения и азимутов наземных объектов. Для измерения горизонтальных и вертикальных углов в геодезии применяется разновидность универсального инструмента, называемая теодолитом. Менее точный, но портативный и простой в обращении секстант позволяет одновременно визировать объекты, между которыми измеряется угол при совмещении их изображения в поле зрения астрономической трубы.

Астрономические трубы меридианного круга и пассажного инструмента строго ориентированы и могут вращаться лишь в плоскости небесного меридиана. Данные инструменты служат для наблюдения светил вблизи кульминаций с целью определения их небесных координат с точностью до 0,1" – 1" и для определения точного времени по звездам.

Высокоточные приборы – зенит-телескоп (применяются для измерения малых разностей зенитного расстояния звезд вблизи зенита для определения точного значения географической широты обсерватории, изучения движения земных полюсов, определения времени с максимально возможной точностью и т.д.), призменная астролыбия, фотографическая зенитная труба и т.д. – требуют стационарной установки на специализированных астрометрических обсерваториях.

• Телескопы: основные схемы и характеристики

Оптические телескопы подразделяются на:

Рефракторы – телескопы, объектив которых представляет собой линзу или систему линз.

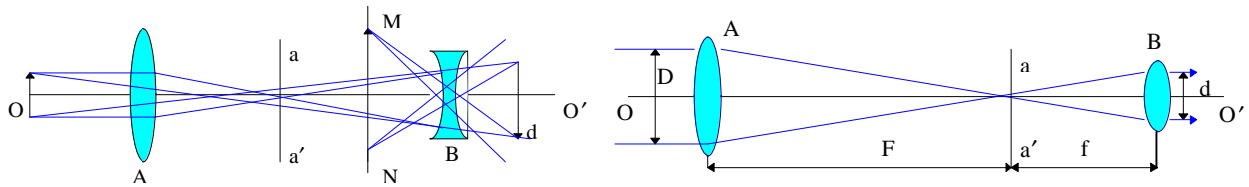


Рис. 6. **Оптическая схема рефрактора Галилея** **Оптическая схема рефрактора Кеплера**
 D – диаметр объектива, d – «выходное отверстие» окуляра, F – фокусное расстояние объектива, f – фокусное расстояние окуляра, aa' – фокальная плоскость, MN – изображение объекта

Объективы современных рефракторов представляют собой системы линз из оптических материалов с разным коэффициентом преломления (чаще всего из сортов кварцевого стекла, флинтгласа и кронгласа) для борьбы с хроматической aberrацией. Путем придания линзам объектива параболической формы уменьшается сферическая aberrация; при специальном подборе и размещении линз уменьшаются и другие виды aberrаций.

Исторически сложились две основные схемы телескопов-рефракторов: схема Галилея дает прямое изображение (и поэтому широко используется в биноклях и зрительных трубах), схема Кеплера – перевернутое. При одинаковых фокусных расстояниях объективов и окуляров у телескопа Галилея будет большее поле зрения при меньшем увеличении, чем у телескопа Кеплера.

Самый крупный рефрактор имеет диаметр объектива около 1 м. Он был изготовлен в конце прошлого в. В начале XX в. в России был заказан объектив диаметром более 1 м, но начавшаяся Первая мировая война и последующая революция помешали постройке в нашей стране крупнейшего в мире телескопа-рефрактора.

Рефлекторами называются телескопы, объективы которых представляет собой вогнутое зеркало.

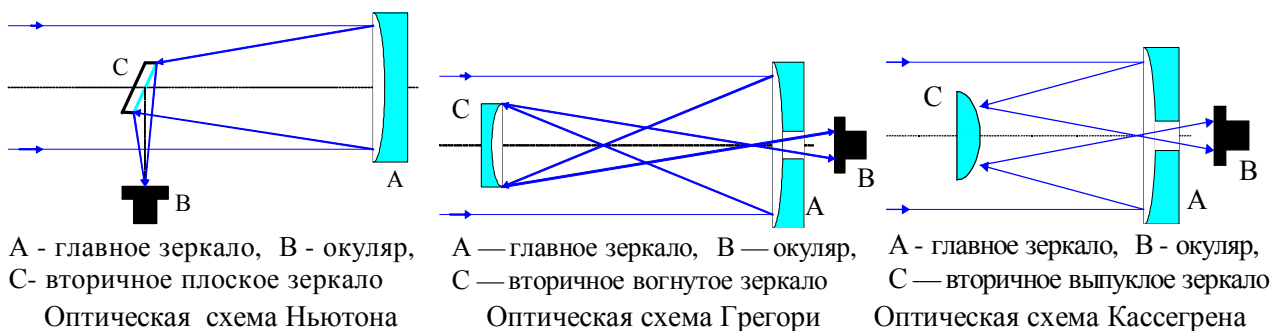


Рис. 7. **Оптические схемы телескопов-рефлекторов**

Рефлекторы лишены хроматической aberrации. Сферическая aberrация компенсируется увеличением относительного отверстия (при $\nabla = 10$ она почти равна нулю), приданием главному зеркалу параболической формы, или приданием сложной формы вторичному зеркалу.

Существуют десятки схем телескопов-рефлекторов: каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Телескоп системы Ньютона наиболее прост в изготовлении и потому наиболее распространен среди любителей астрономии. Телескопы Грегори и Кассегрена по-

зволяют получать большее увеличение при том же типе окуляра за счет «удвоенного» хода лучей в трубе, причем рефлектор Грегори дает прямое изображение и может использоваться в качестве зрительной трубы. Их недостаток: сложность изготовления вторичного зеркала.

Зеркально-линзовые системы телескопов сочетают в себе достоинства рефракторов и рефлекторов.

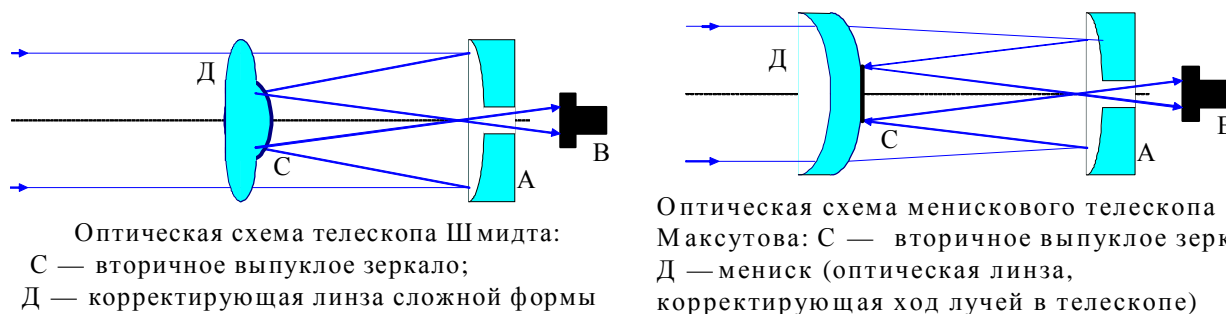


Рис. 8. Оптические схемы зеркально-линзовых телескопов

Сложность изготовления зеркально-линзовых систем препятствует их широкому распространению. Самые мощные современные зеркально-линзовые телескопы имеют диаметр объектива около 1,5 м.

В настоящее время в обсерваториях мира действуют несколько десятков телескопов с диаметром объектива свыше 1 м. Самым крупным телескопом в нашей стране является построенный в начале 70-х годов 6-метровый рефлектор БТА (главное его зеркало имело фокусное расстояние 24 м, массу 42 т), способный наблюдать объекты до 26^m , установленный в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР (САО) близ станции Зеленчукской на Северном Кавказе и модернизированный в середине 90-х годов.

В начале 90-х годов в США в Калифорнийской обсерватории был введен в строй 7-метровый рефлектор, а в астрономической обсерватории им. Кека на Гавайских островах – 2 крупнейших в мире телескопа-рефлектора с диаметром главного зеркала 9,8 м; инструменты образуют оптический интерферометр. Начал работу телескоп им. В. Хобби и Р. Эберли с составным 9,1/11-метровым зеркалом.

Зеркала современных телескопов в силу чрезмерного увеличения массы не могут быть сплошными, монолитными слитками, а состоят из нескольких отдельных зеркал меньшего диаметра, сфокусированных в одну точку. Введен в строй «Очень большой телескоп» (VLT) Европейской Южной обсерватории в Чили из четырех 8,2-метровых зеркал; по проникающей способности он равносителен 16-метровому, а по разрешающей способности (в режиме оптического интерферометра) – 200-метровому монозеркальному инструменту! Строятся два 8,1-метровых телескопа международного проекта «Джемини»; 8,2-метровый японский «Субару»; итало-американский 8,4-метровый «Большой бинокулярный телескоп» (LBT); 9,1-метровый «Большой южноафриканский телескоп» (SALT); 10,4-метровый «Большой канарский телескоп» (GTS) – все они должны вступить в строй до 2005 г. Разработаны проекты 25-метрового рефлектора, 35-метрового «Крайне большого телескопа» (ELT) и 100-метрового «Ошеломляюще большого телескопа» (OWL), который планируется ввести в строй в 2012 г.; 17 000-тонное зеркало его будет состоять из 20 002-метровых зеркал-сегментов.

Основным инструментом радиоастрономии является **радиотелескоп**. Современные радиотелескопы – специальные радиоприемные устройства для исследования космических объектов в диапазоне длин волн от 0,8 мм и 20 м (в пределах прозрачности атмосферы). С их помощью определяется направление на радиоисточник, интенсивность и спектр его излучения, структура объектов.

Радиотелескоп состоит из антенны и радиоприемного устройства – радиометра, усиливающего принятое антенной излучение и преобразующее его в удобную для регистрации и обработки форму.

Антенны радиотелескопов бывают разных конструкций и имеют огромные размеры: чашеобразные, параболические, достигают 100 м в диаметре и могут «следить» за объектами наблюдения; чем больше антенна – объектив радиотелескопа, тем больше радиоизлучения будет сфокусировано на радиометр и тем выше разрешающая способность инструмента. Более крупные состоят из большого числа отдельных элементов, установленных на

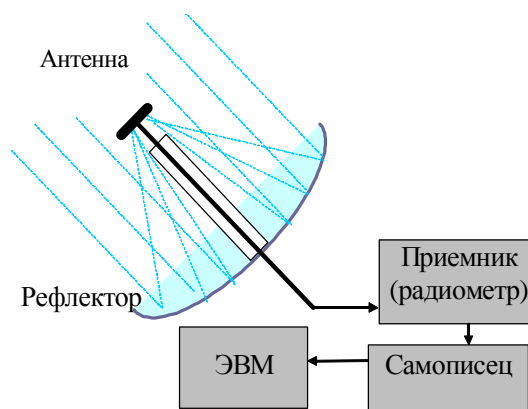


Рис. 9. Принципиальная схема радиотелескопа

подвижной платформе и направляющих падающее на них излучение на единый, общий, суммирующий облучатель. Антенны самых крупных радиотелескопов неподвижны и регистрируют радиоизлучение проходящих над ними объектов. Они служат для приема длинноволнового излучения и строятся в виде решеток из элементарных приемников-диполей или вибраторов. Недостатком всех отдельных радиотелескопов является их низкая разрешающая способность. Использование явления интерференции электромагнитных волн позволяет значительно улучшить качество изображения, повысить чувствительность и разрешающую способность телескопов.

Наблюдаемое двумя разными телескопами излучение одного и того же наблюдаемого источника будет когерентным для всех наведенных на него инструментов, мы можем «сложить» это электромагнитное излучение. В результате получают изображение объекта, эквивалентное создаваемому объективом диаметром L , равному расстоянию между телескопами – базе интерферометра. Сложность создания интерферометров определяется необходимостью выравнивания оптических путей излучения. В оптических телескопах она достигает 0,001 мм, поэтому оптических интерферометров очень мало и база их редко превышает десятки метров. С помощью оптических интерферометров системы ОБТ в 2001-2002 гг. были измерены диаметры нескольких десятков звезд.

Поскольку база интерферометра изменяется пропорционально длинам волн, регистрируемым телескопами, стало возможно создание радиоинтерферометров, база которых составляет сотни и тысячи километров. Разрешающая способность радиоинтерферометров менее $0,00001''$ – несравнимо выше, чем у мощнейших оптических телескопов.

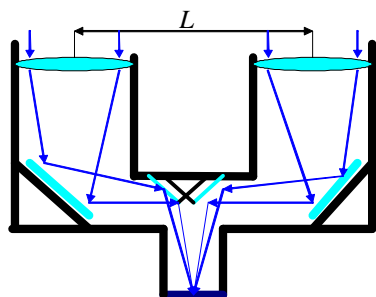


Рис. 10. Схема оптического интерферометра

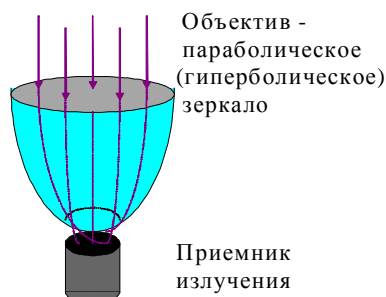


Рис. 11. Схема рентгеновского телескопа



Рис. 12. Схема гамма-телескопа

Инфракрасное излучение космических объектов исследуется с помощью тепловых приборов (термоэлементов, болометров, элементов Галея) и фотонных приемников (ЭОП).

Ультрафиолетовые телескопы, работающие в диапазоне длин волн до 0,3 мкм, почти ничем не отличаются от оптических телескопов. Для жесткого (дальнего) ультрафиолета и рентгеновского излучения, обладающих большой проникающей способностью, объективы строят по принципу устройства глаз рака: излучение падает на зеркало из золота или платины под очень большим, свыше 87° , углом, и фокусируется на специальную фотопластинку, ЭОП или счетчик Гейгера-Мюллера. Хорошее качество изображения дают 2-зеркальные системы с разрешением до $1''$ – $2''$ при диаметре объектива до 60 см.

Для регистрации жесткого g -излучения применяются счетчики Гейгера-Мюллера или g -телескопы. «Объектив» такого инструмента имеет сложное строение, напоминающее слоеный пирог. При взаимодействии g -излучения с веществом приемника возникают электроны и позитроны, поступающие в «счетчик Черенкова», вещество которого светится под ударами электронов, или в другие счетчики элементарных частиц. К сожалению, современные гамма-телескопы обладают небольшим полем зрения и низкой разрешающей способностью (до 1° – 2°).

Все основные характеристики оптических, ИК-, УФ- и некоторых других телескопов зависят от характеристик их объектива:

1. Проницающая сила телескопа определяется предельной звездной величиной самой слабой звезды, которую можно наблюдать; на основе теоретических расчетов была выведена формула: $m = 6 + 5 \lg \left(\frac{D}{d} \right)$, где D – диаметр объектива, d – «выходное отверстие» окуляра.

На практике астрономы используют эмпирическую формулу, учитывающую реальные условия наблюдений: $m = 2,1 + 5 \lg D$.

2. Разрешающая способность телескопа d – минимальный угол между видимыми раздельно объектами: $d = \frac{l \cdot 206265''}{D}$, где l – длина электромагнитной волны. Равен радиусу дифракционного диска точечного источника света.

Для визуальных наблюдений $d \approx \frac{140''}{D}$.

3. Светосила телескопа Φ характеризует освещенность, создаваемую объективом в фокальной плоскости и численно равна квадрату отношения диаметра объектива к его фокусному расстоянию: $\Phi = E_0 S_{об}$, $\Phi = E_0 p \left(\frac{D}{2} \right)^2$, $\Phi = \left(\frac{D}{F} \right)^2$.

4. Угловое увеличение телескопа Γ определяется отношением фокусных расстояний объектива (F) и окуляра (f): $\Gamma = \frac{F}{f}$. Применяя окуляры с разным фокусным расстоянием, можно в принципе получить любое увеличение, однако на практике для получения наилучшей разрешающей способности, с учетом условий наблюдений, применяют увеличения $\Gamma \leq 1,3 D$.

Расчетные значения характеристик телескопа всегда лишь приблизительно совпадают с реальными значениями, которые зависят от индивидуальных особенностей каждого телескопа и постоянно меняющихся условий астрономических наблюдений.

Вне зависимости от совершенства оптики телескоп не может работать без **монтажки** – механической установки телескопа.

Существует два основных типа монтажек: **азимутальная**, в которой движение трубы телескопа осуществляется по двум взаимно перпендикулярным осям: горизонтальной и вертикальной; и **экваториальная (параллактическая)**, в которой инструмент движется лишь по одной оси, параллельной небесному экватору. Различают 3 вида экваториальных

монтажей: немецкую, наиболее удобную для рефракторов; английскую; американскую или «вилку», пригодную для любых инструментов.

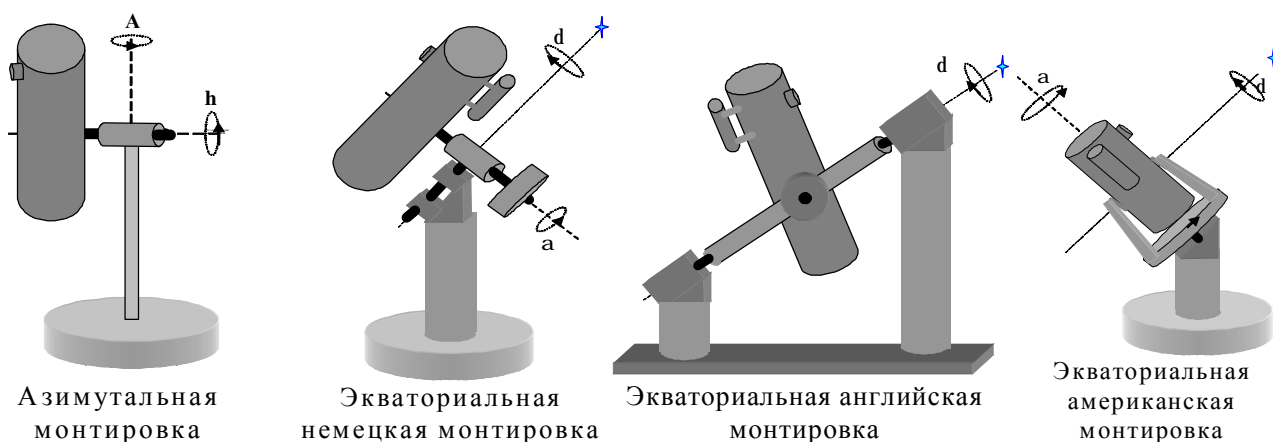


Рис. 13. Различные виды монтировок телескопов

Для наводки телескопа на объект наблюдения на его трубе устанавливают визеры и искатели – небольшие телескопы с малым увеличением и большим полем зрения.

Часовой механизм ведет трубу телескопа вслед за движущимся светилом (в настоящее время применяются электромоторы со сложной системой редукторов).

Со второй половины XIX в. телескопы устанавливают в специальных зданиях, в круглых башнях с вращающимся куполом.

Многие обсерватории специализируются на отдельных видах астрономических наблюдений. Это широтные станции, станции наблюдения ИСЗ, обсерватории для наблюдения Солнца, радиоастрономические обсерватории...

Считается перспективным создание орбитальных обсерваторий. Небольшие (до 50 см) телескопы выводятся на околоземную орбиту на борту спутников и космических кораблей: спутник ИРАС (США) исследовал космические объекты в инфракрасном диапазоне излучения, спутники «Гранат» и «Гамма» (СССР) – в ультрафиолетовой, рентгеновской и g -части спектра электромагнитных волн. В 1991 г. в США был введен на околоземную орбиту телескоп с диаметром зеркала 2,4 м – космическая обсерватория им. Хаббла (КХТ).

Запуск новой российской космической обсерватории запланирован на 2004 г. Комплекс «Спектр-РГ», «Спектр-Р» и «Спектр-УФ» позволит исследовать космические объекты почти во всем диапазоне длин волн электромагнитного излучения, поглощаемого земной атмосферой.

Космический телескоп следующего поколения NGST с диаметром главного зеркала 8 м планируется вывести в точку Лагранжа L_2 системы Земля-Солнце (1,5 млн. км от планеты) в 2008 г. В 2011-2012 гг. планируется запуск в точку Лагранжа L_2 космического телескопа TPF, предназначенного для поиска и исследования внесолнечных планет на расстоянии до 50 св. лет от Земли; он будет состоять из четырех 3,5-метровых рефлекторов, работающих в режиме интерферометра. Разработаны проекты создания международной астрофизической обсерватории на Луне.

В конце XX в. новыми перспективными направлениями астрономических исследований стали нейтринная и гравитационная астрономия.

Первые детекторы нейтрино – «нейтринные телескопы» были созданы свыше 20 лет назад. В основе регистрации космических нейтрино лежат явление сцинтилляции (световых вспышек), возникающих при их взаимодействии с частицами вещества и изменение элементного химического состава вещества. Частицы нейтрино возникают в ходе термоядерных реакций в недрах звезд и сверхмощных космических процессах (взрывах звезд и т.д.). Изучение потоков нейтрино дает сведения об энергетике Солнца и звезд, их внутреннем строении, эволюции, возникновении и развитии той части Вселенной, в которой мы живем и т.д. Однако нейтрино практически не взаимодействуют с веществом и проходят сквозь Землю, как луч

света сквозь прозрачное стекло. Детекторы нейтрино представляют собой укрытые глубоко, на сотни метров и километры под землей системы многочисленных гигантских емкостей с водой или другими веществами (хлор, галлий, литий, CH_2 и т.д.).

В настоящее время высокоспециализированные нейтринные обсерватории работают в России (Баксанская), США, Японии, Западной Европе. С их помощью ученые исследуют термоядерные реакции в недрах Солнца (и, в перспективе, других звезд), взрывы звезд и другие высокоэнергетические космические процессы.

Существующие и строящиеся детекторы гравитационных волн делятся на 2 группы:

1. Резонансные антенны представляют собой подвешенные на проволочных петлях массивные металлические болванки, охлажденные до сверхнизких температур (0,01-0,1 К); специальная аппаратура регистрирует их микроколебания, вызванные прохождением гравитационных волн.

2. Интерферометры на свободных массах представляют собой усовершенствованный вариант оптического интерферометра Майкельсона, чувствительного к мельчайшим изменениям длины плеча вследствие гравитационных возмущений.

Чувствительность современных гравитационных детекторов очень мала. Надежды на существенный прогресс исследований ученые связывают с выносом аппаратуры в космическое пространство. Космические гравитационные телескопы будут регистрировать гравитационное излучение релятивистских космических объектов (нейтронных звезд, черных дыр), их взаимодействие и столкновения в тесных двойных системах, взрывы звезд и т.д.

Гравитационная обсерватория ТАМА (Япония) вступила в строй в 1999 г.; в ближайшие годы к ней присоединятся еще пять (в Германии Франции, Италии и США), в том числе американские космические обсерватории LIGO и LISA.

Практическое занятие 3

Астрономические исследования. Телескопы

На первом этапе проверяются домашнее задание и знания и умения, полученные на предыдущих занятиях:

1. Составить классификационную схему методов и инструментов астрономических исследований. Можно было на предыдущем уроке предложить это задание на дом, а на данном занятии лишь проверить и обсудить результаты.

Другими вариантами выполнения задания может стать групповая работа: в ходе массового обсуждения под руководством и контролем преподавателя или по подгруппам. Вершиной работы является обсуждение каждого предложенного варианта схемы всей группой, а затем, на основе анализа и обобщения, построение итоговой схемы и упражнение в чтении: а) основных фрагментов схемы; б) всей схемы в целом («сверху вниз» и «снизу вверх») (рис. 14).



Рис. 14. Методы и инструменты астрономических исследований

В ходе выполнения комплексных заданий проверяются знания о методах астрономических исследований, умения определять характеристики астрономических инструментов (телескопов) и условия астрономических наблюдений. Решение 2-3 нижеприведенных задач должно способствовать расширению астрономических и космонавтических знаний учащихся: отдельные задания данной темы могут использоваться при изучении материала всех остальных разделов курса астрономии. Остальные задачи становятся домашним заданием. При выполнении задач следует обратить внимание учащихся на отработку алгоритма их решения и грамотное оформление задач в тетради (по образцу оформления решений задач курса физики).

1. Диаметр объектива телескопа Г. Галилея $D = 30$ см, фокусное расстояние объектива $F = 125$ мм, фокусное расстояние окуляра $f = 3,7$ см. Определите его основные характеристики: проникающую силу m , разрешающую способность d и увеличение G .

Рассуждения, ответы к задаче и образец оформления решения:

А. Проницающая сила телескопа определяется предельной звездной величиной самой слабой звезды, которую можно наблюдать; на основе теоретических расчетов была выведена формула: $m = 6 + 5 \lg \left(\frac{D}{d} \right)$, где D – диаметр объектива, d – «выходное отверстие» окуляра.

Практически астрономы используют чаще другую, эмпирическую формулу, учитывающую реальные условия наблюдений: $m = 2,1 + 5 \lg D$ (диаметр объектива указывается в миллиметрах). Ответ: $m \approx 10^m$. Из-за плохого качества оптики реальное значение проникающей силы было ниже и составляло около 9^m .

Б. Разрешающая способность телескопа d – минимальный угол между ви-

димыми отдельно объектами: $d = \frac{1,22 \cdot I \cdot 206265''}{D}$, где I – длина электромагнитной волны. Для визуальных наблюдений ($I = 550 \cdot 10^{-9}$ м).

Ответ: теоретически разрешающая способность телескопа d могла достигать $3''$, но реально из-за качества оптики была значительно хуже.

В. Угловое увеличение телескопа определяется отношением фокусных расстояний объектива (F) и окуляра (f): $\Gamma = \frac{F}{f}$. Ответ: $\Gamma = 34^x$.

Образец оформления задачи:

| | | | |
|---|---|--|--|
| <u>Дано:</u> $D = 30$ см $F = 125$ мм $f = 3,7$ см | <u>СИ:</u> $= 0,3$ м $= 0,125$ м $= 0,037$ м | <u>Основные формулы:</u> $m = 2,1 + 5 \lg D$ $d = \frac{1,22 \cdot I \cdot 206265''}{D}$ $\Gamma = \frac{F}{f}$ | <u>Решение:</u> |
| <u>Найти:</u> m, d, Γ | | | |
| <u>Ответ:</u> $m \approx 10^m; d \approx 3''; \Phi = 0,0013; \Gamma = 34^x$. | | | |

Ученик должен понимать, какую практическую значимость имеют полученные ответы («Что нового узнали вы о телескопе Галилея, решив эту задачу?»). Прояснить это помогают дополнительные вопросы к задаче, например: «Мог ли Галилей увидеть планету Плутон, если ее блеск не превышает 14^m ?» и т.д. Некоторые из них требуют вычислений («Мог ли Галилей увидеть на Солнце пятно размером с Землю?») и становятся тем самым новыми этапами задачи, образуя причинно-следственную цепочку комплексной задачи.

2. Диаметр объектива малого школьного телескопа-рефрактора (МШР) $D = 60$ мм, фокусное расстояние объектива $F = 600$ мм, фокусные расстояния окуляров $f_1 = 10$ мм, $f_2 = 20$ мм. Определите основные характеристики телескопа: проникающую силу m , разрешающую способность d , светосилу Φ и увеличения, создаваемые двумя окулярами Γ_1 и Γ_2 . Сравните их с указанными в паспорте телескопа. Рассчитайте минимальные размеры деталей рельефа Луны, Марса и Меркурия и атмосферных образований на Солнце, Юпитере и Сатурне, доступные наблюдениям при помощи МШР. Придумайте дополнительные вопросы к задаче.

3. Как изменяются оптические характеристики человеческого глаза от полудня к полуночи, если на свету зрачок сужается до 2 мм, а в полной темноте может расширяться до 6 мм? Почему это происходит? Каковы были размеры солнечных пятен, открытых в Древнем Китае в IV веке до н.э., если астрономы той поры могли вести лишь визуальные наблюдения?

Решение и ответы к задаче:

А. Проникающая сила человеческого глаза m будет определяться предельной звездной величиной самой слабой звезды, которую можно наблюдать; исходя из реальных условий наблюдений, ее можно рассчитать по формуле: $m = 2,1 + 5 \lg D$, где D – диаметр зрачка в миллиметрах. Если диаметр зрачка изменяется от значения $D_1 = 2$ мм, к значению $D_2 = 6$ мм, то проникающая сила глаз будет составлять соответственно $m_1 \approx 3,6^m$ и $m_2 \approx 6,0^m$ (предельное значение блеска небесных светил, доступное человеческому глазу). Значит, ослепленный ярким светом человек будет видеть почти в 9 раз хуже, чем в полной темноте.

Б. Разрешающая способность человеческих глаз d определяется из формулы: $d = \frac{1,22 \cdot l \cdot 206265''}{D}$, где l – длина электромагнитной волны, соответствующей максимальной спектральной чувствительности человеческих глаз ($l = 5,55 \cdot 10^{-7}$ м).

Днем теоретическая разрешающая способность глаз составляет около $70''$ ($1,1'$), а ночью повышается до $23''$ – почти в 3 раза. Реально из-за физиологических особенностей глаза его разрешающая способность днем составляет около $2'$.

В. Минимальные размеры солнечных пятен, различимые невооруженным глазом на диске восходящего или заходящего Солнца, можно определить по формуле: $x = r \cdot \sin d$, где r – расстояние до Солнца, равное 149000000 км; d – разрешающая способность человеческих глаз, равная $2'$. $x \approx 87000$ км.

4. Сравните разрешающую способность радиотелескопа со 100-метровой антенной d_1 и оптического телескопа с объективом диаметром 100 мм d_2 , если радиотелескоп работает в диапазоне длин волн $\lambda_1 \sim 1$ м, а оптический телескоп $\lambda_2 \sim 555$ нм.

Решение задачи:

Разрешающая способность телескопа d определяется из формулы: $d = \frac{1,22 \cdot l \cdot 206265''}{D}$, где l – длина электромагнитной волны.

Ответы: $d_1 = 2517'' \approx 42'$; $d_2 = 1,4''$. Оптический телескоп превосходит по разрешающей способности радиотелескоп в 18000 раз.

5. Определите разрешающую способность космического радиоинтерферометра, работающего в метровом диапазоне длин радиоволн, если одна из антенн находится на Земле, а вторая в космосе, на расстоянии 326000 км от планеты?

Разрешающая способность радиоинтерферометра d равна разрешающей способности радиотелескопа с антенной, равной по величине базе радиоинтерферометра, и определяется по формуле: $d = \frac{1,22 \cdot l \cdot 206265''}{D}$, где l – длина электромагнитной волны, D – база радиоинтерферометра. $D = 326000000$ м.

Ответ: $d = 0,00077''$.

6. Задача, предложенная на городской астрономической олимпиаде:

Можно ли с помощью фотометра, установленного на телескопе, наблюдать звезды $m_2 = 12^m$ звездной величины, если от звезды $m_1 = 7^m$ такого же спектрального класса регистрируется $x_1 = 4000$ квантов в секунду, а уровень шума фотометра составляет 100 квантов в секунду.

Решение и ответ к задаче:

Количество квантов x_2 , испускаемых звездой 12^m звездной величины, можно определить, сравнив блеск звезд по формуле Погсона. Разница блеска в 5 звездных величин означает 100-кратное различие в световом потоке, создаваемом данными светилами. $x_2 = 1/100 x_1 = 400$ квантов в секунду. Фотометр можно использовать для наблюдений звезд 12^m величины, поскольку уровень шума фотометра ниже значения потока квантов от этих звезд.

7. Во сколько раз Солнце, блеск которого составляет $-26,6^m$, ярче самой слабой из звезд, видимых невооруженным глазом (6^m)? Во сколько раз Солнце ярче самой слабой из звезд, доступных наблюдениям в самые мощные современные телескопы (29^m)?

Решение и ответ к задаче:

Блеск звезд сравнивается по формуле Погсона: $\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1}$ или $\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1)$,

где E_1 и E_2 – освещенность от каждого из светил, m_1 и m_2 – их видимые звездные величины.

Солнце ярче самых слабых видимых невооруженным глазом звезд в 10^{13} раз.

Солнце ярче самых слабых из доступных телескопам звезд в $1,7 \cdot 10^{22}$ раз.

Необходимо ознакомить обучаемых с рекомендациями по проведению школьных астрономических наблюдений:

Наблюдения, проводимые учащимися под руководством учителя на уроках астрономии в школе столь же необходимы в преподавании астрономии, как опыты и лабораторные работы в преподавании физики и других естественнонаучных дисциплин. Объекты и методы учебных астрономических наблюдений увлекательны, эстетичны и создают дополнительные положительные мотивы в обучении.

Астрономические наблюдения помогают ученикам осваивать теоретический учебный материал. Они создают запоминающиеся на всю жизнь зрительные образы космических объектов, знакомят школьников с реальными пространственно-временными масштабами астрономических явлений, способствуют формированию умений наблюдать, объяснять и использовать природные явления. Наблюдения помогают учащимся глубже осознать математическую связь и важность изучения космических явлений, осознать зависимость результатов наблюдений от определенной теоретической концепции и мировоззрения исследователя, характеристик используемых приборов и условий проведения исследований и личностных данных исследователя, развивают внимательность и дисциплинированность, формируют практические умения наблюдать, анализировать, делать выводы.

К каждому наблюдению нужно серьезно готовиться заранее, тщательно продумывая все вопросы, связанные с его проведением. Учитель должен исходить из положений:

1. Соответствия темы наблюдения изучению теоретического материала.
2. Условиями и характером видимости астрономических объектов, наблюдения которых запланированы.
3. Погодно-климатическими условиями местности наблюдения.
4. Выбором места наблюдения и наличием необходимых астрономических инструментов.
5. Количеством учащихся и степенью их астрономической подготовки.

Пункт первый крайне желателен, хотя и не всегда выполним по причинам как внешнего (плохая погода, неудовлетворительные условия видимости объекта наблюдения), так и внутреннего (слишком позднее или раннее время наблюдений, отсутствие необходимых инструментов, недостаточная подготовка наблюдателей и т.д.) характера. В этом случае следует планировать наблюдение как пропедевтическое или на закрепление соответствующего пройденного материала. Как пропедевтические, желательны наблюдения до начала изучения курса астрономии, в начальном и среднем звене обучения, во втором полугодии X класса. Это тем более необходимо, что практически далеко не всегда удается провести наблюдения того или иного объекта во время его изучения по программе. Не-

которые явления нельзя наблюдать в удобное для учеников время, затмения случаются редко, активность метеорных потоков возрастает к рассвету и т.д. – поэтому необходимо использовать любую представляющуюся возможность.

Условия и характер видимости объектов определяются на основе данных Астрономического календаря (переменная часть) или Школьного астрономического календаря, справочников по астрономии, карт звездного неба и т.д. Следует учитывать, что изучение звездного неба и неярких объектов (галактик, звездных скоплений, туманностей, переменных звезд, комет, метеоров и просто слабых звезд) лучше проводить в темные безлунные ночи, когда видимость звезд в зените достигает $5^m - 6^m$, вдали от посторонних источников света; планеты удобно наблюдать вблизи их противостояний; Луну: рельеф – в фазе I и III четверти, лучевые системы и моря в полнолуние, нестационарные явления – при фазах около 0,1; Солнце – в утренние часы, до полудня, когда воздух еще сравнительно спокоен и изображение весьма устойчиво.

Наблюдения должны готовиться с учетом погодных-климатических условий местности. Учитывая климат средних широт России, массовые учебные наблюдения удобно проводить в конце сентября – начале октября (в период «бабьего лета», когда ночи темные, ясные и сравнительно теплые, воздух прозрачен, а темнеет довольно рано – в 20-21 ч местного времени), и середине февраля – начале марта, когда морозы уже спали, а темнеет рано, в 19-20 ч местного времени. При этом учащиеся самостоятельно убеждаются в существовании суточного и годового изменения вида звездного неба вследствие вращения Земли вокруг Солнца и видимом движении планет на небе. В ноябре хорошая погода стоит нечасто, а в конце месяца начинаются холода – до конца зимы. В декабре в соответствии с учебным планом можно провести дневные телескопические наблюдения Солнца. Вечерних наблюдений в декабре-январе планировать не стоит, поскольку хотя темнеет очень рано, эффективность наблюдений будет низкой из-за сильных морозов в безоблачные вечера. Исключением могут быть наблюдения редких астрономических явлений: солнечных и лунных затмений, ярких комет и т.д. В апреле-мае наблюдения планировать также не стоит, поскольку, во-первых, темнеет очень поздно, а во-вторых ученики XI класса заняты подготовкой к выпускным экзаменам.

Наиболее подходящим местом для проведения наблюдений является специальная астрономическая площадка, где устанавливаются все необходимые приборы или павильон с телескопом. Однако почти во всех школах в настоящее время астрономическая площадка отсутствует. Ее можно (и даже весьма желательно) построить – силами самих школьников (например, членов астрономического кружка), при минимальном участии взрослых. Постройка и оборудование астрономической площадки описаны в ряде методических пособий.

Астрономические наблюдения следует проводить в одном и том же месте с хорошим обзором, особенно в южной части неба, где горизонт не должны загромождать здания и сооружения, где не мешает свет домов, фонарей и других посторонних источников света, атмосфера не загрязнена дымом, копотью, пылью, воздух чист и прозрачен, в безветренную безоблачную погоду. Таким условиям лучше всего удовлетворяет сельская местность, но и в городе желатель-

но выбирать места с указанными свойствами, расположенными рядом со школой, где ученики учатся, недалеко от домов, в которых они живут.

Чтобы наблюдения выполнялись всеми учащимися без исключения, добросовестно, без излишней торопливости и помех, не утомляя учеников и учителя, класс следует разделить на несколько групп: по 8-10 человек в каждой при наблюдениях невооруженным глазом, и по 5-6 человек на инструмент при телескопических наблюдениях. С каждой группой наблюдения проводятся по отдельности. График работы составляется так, чтобы в одно и то же время отдельные группы проводили разные наблюдения, не мешая друг другу. Такая четкая организация необходима прежде всего при телескопических наблюдениях, особенно если в школе есть лишь 1 телескоп: 30 столпившихся вокруг него учеников 90 % времени проводят в очереди, мерзнут, мешают друг другу, постоянно сбивают настройку инструмента, не успевают ничего разглядеть и разочаровываются в астрономических наблюдениях. Опыт показывает, что в течение урока группе из 30 человек можно продемонстрировать лишь 2-3 космических объекта; группе из 15 человек с возросшей педагогической эффективностью 5-6 объектов и группе из 5-7 человек – до 10 объектов. Желательно, чтобы учителю в работе помогал лаборант или кто-то из заинтересованных и способных учеников, еще лучше – наиболее активные члены астрономического кружка, которые в зависимости от своей подготовки могут руководить или всем комплексом наблюдений или их отдельными видами. Учитель должен постоянно поддерживать внимание и интерес ждущих своей очереди взглянуть в телескоп изложением сведений о наблюдаемых объектах. Учитывая любознательность некоторых учеников, можно продлить наблюдения, в зависимости от внешних условий до 1,5-2 ч. Работа с группами учащихся в течение нескольких вечеров позволяет получившим соответствующее задание ученикам выполнить лабораторные работы, не отнимая на них дополнительного времени у учителя.

Учебные наблюдения школьников должны способствовать развитию учащихся: важно, чтобы они не только увидели соответствующие объекты, но и обдумали полученные результаты. Любые астрономические наблюдения не являются самоцелью. Обработка и осмысление полученных результатов подводят итог проделанной работе. Этому помогает ведение учениками особой тетради «Дневника наблюдений», в которую заносятся следующие сведения: дата, тема занятия, цель, время и условия наблюдения, характеристики применяемых инструментов, оценки астроклимата, перечень наблюдаемых объектов, результаты наблюдений в виде рисунков, фотографий, графиков, таблиц данных или описания явлений, их объяснение и выводы – аналогично регистрации данных исследований в «большой науке». Это дисциплинирует учеников, способствует осознанию ими серьезности материала, приобщает к научной работе, вырабатывает такие черты характера, как точность, аккуратность, внимательность.

При проведении учебных астрономических наблюдений у каждого из учеников должна быть своя, заранее изготовленная подвижная карта звездного неба с крестом нитей, наклеенная на картонное основание и хранящаяся вместе с дневником наблюдений. Для поиска небесных светил можно использовать «Звездный атлас» А.А. Михайлова или «Учебный звездный атлас» А.Д. Марленского. Необходимый справочный материал можно найти в «Школьном ас-

трономическом календаре» или «Астрономическом календаре» – ежегодных изданиях, в которых публикуются основные сведения об условиях видимости космических объектов и протекании небесных явлений.

Для записей во время наблюдений нужно использовать электрический фонарик с заклеенным калькой стеклом, но лучше всего вести записи на ощупь, вслепую, а расположение объектов на звездной карте заранее посмотреть и запомнить, поскольку время полной адаптации глаз к темноте составляет около 20 минут. Вопреки установившемуся мнению, красный свет не обостряет зрения, а как любой другой, лишь ослепляет глаза. Записи в черновике надо вести простым мягким карандашом, заточенным с двух сторон и привязанным к дневнику наблюдений, под который для удобства записи кладется лист плотного картона или фанеры.

Школьные астрономические наблюдения ограничены малым количеством времени, отпущенного на них по программе (4 часа), малой мощностью доступных приборов (которые к тому же есть не во всех школах), слабой подготовкой учителей и вследствие этого носят, как правило, ознакомительный, иллюстративный, беглый характер, хотя силами учащихся можно проводить более сложные (и более интересные) учебно-тренировочные наблюдения и даже отдельные виды наблюдений, представляющих интерес для науки.

План урока-наблюдения по своей природе не может быть чем-то раз и навсегда определенным. При его составлении учитель должен исходить из конкретных условий и быть готовым изменить ход урока (из-за погодных условий и т.д.).

Целесообразно предложить наиболее способным и заинтересованным ученикам (членам астрономического кружка) в качестве самостоятельных заданий проведение учебно-тренировочных астрономических наблюдений. Преподаватель, предлагающий школьникам провести те или иные наблюдения, должен не только четко сформулировать условия задания, но и показать во всех деталях, как нужно его выполнять, дать список соответствующей литературы, провести необходимые консультации, обучить обращению с приборами.

Некоторые простейшие тематические наблюдения, не требующие специальной аппаратуры, могут быть заданы на дом.

Можно представить тематические наблюдения в виде лабораторных работ. Количество работ должно соответствовать количеству групп учащихся (по 3-5 человек в каждой), самостоятельно готовящихся к работе и в определенное время выполняющих их под руководством учителя; каждый ученик в течение учебного года может выполнить 2-3 работы. Полученные данные обрабатывают сами учащиеся.

Результаты наблюдений этих учеников могут быть использованы в качестве эмпирических опорных сведений при изложении нового материала на уроках, для докладов и выступлений на учебных и научных семинарах и конференциях НОУ. Результаты наблюдений, имеющие научный интерес, могут быть посланы в местное отделение ВАГО или другое астрономическое учреждение.

Основные виды школьных астрономических наблюдений:

- **Ознакомительные (учебные) наблюдения:**

- Дневные наблюдения:

- 1. Определение координат местности по Солнцу: а) определение полуденной линии (направления меридиана); б) определение широты местности; в) определение долготы местности; г) ориентация на местности по Солнцу. Выполняются невооруженным глазом и при помощи угломерных инструментов.

2. Телескопические наблюдения Солнца: а) вращение звезды, грануляция, пятна, факелы, вспышки; б) спектр Солнца.

Вечерние наблюдения:

1. Наблюдения звездного неба невооруженным глазом: а) определение полюса мира, нахождение небесного меридиана и экватора; б) нахождение на небе Полярной звезды и ориентация на местности по Полярной звезде; в) определение широты местности по Полярной звезде; г) нахождение основных созвездий и ярких звезд, видимых в это время года; д) знакомство со шкалой звездных величин, различиями в блеске и цвете звезд; е) наблюдения за суточным вращением небесной сферы; ж) наблюдения за годичным изменением вида звездного неба; з) ориентация на местности при помощи подвижной карты звездного неба; и) нахождение звезд и планет при помощи подвижной карты звездного неба и «Школьного астрономического календаря».

2. Наблюдения Луны: а) невооруженным глазом: ориентация по Луне на местности; б) телескопические: знакомство с рельефом Луны (моря, горные цепи, кратеры и цирки).

3. Телескопические наблюдения планет: а) Меркурий и Венера (фазы планеты); б) Марс (полярные шапки и моря в эпоху Великих противостояний); в) Юпитер (экваториальные полосы, галилеевы спутники); г) Сатурн с кольцом; д) Уран и Нептун диски планет; е) яркие астероиды.

4. Телескопические наблюдения галактических и внегалактических объектов: а) наиболее ярких и цветных звезд; б) двойных звезд; в) звездных скоплений; г) туманностей; д) Млечного Пути и галактик.

• **Тематические (целевые) наблюдения.**

Учебно-тренировочные наблюдения:

1. Наблюдения Солнца: 1) наблюдения невооруженным глазом и с простейшими угломерными инструментами: а) определение времени по Солнцу (расчет и изготовление солнечных часов); б) определение наклона эклиптики к небесному экватору по изменению полуденных высот Солнца; в) определение координат местности по Солнцу при помощи гномона или высотомера; 2) телескопические наблюдения: а) патрульные наблюдения проявлений солнечной активности; б) фотографирование Солнца в главном фокусе и с окулярным увеличением телескопа.

3. Определение моментов восходов, заходов и кульминаций небесных светил (невооруженным глазом и с простейшими угломерными инструментами).

4. Определение угловых и линейных размеров Солнца и Луны.

5. Наблюдения Луны: 1) наблюдения невооруженным глазом и с простейшими угломерными инструментами: а) наблюдения за движением Луны и планет относительно звезд; 2) телескопические наблюдения: а) определение угловых и линейных размеров некоторых деталей лунного рельефа (морей, кратеров); б) наблюдения лучевых систем; в) фотометрия отдельных деталей лунного рельефа; г) фотографирование Луны в главном фокусе и с окулярным увеличением; д) наблюдения покрытий звезд и планет Луной.

6. Наблюдения планет: а) Венеры (деталей облачного покрова); б) Марса (деталей поверхности); в) Юпитера (зарисовки деталей облачного покрова; явления в системе галилеевых спутников); спутников и экваториальных полос Юпитера; г) Сатурна (вид кольца, положение спутника); Урана и Нептуна (изменения блеска); д) фотографирование планет с окулярным увеличением.

7. Наблюдения двойных звезд с зарисовкой взаимного положения компонент.

8. Наблюдения переменных звезд: а) затменно-переменных (β Персея и др.); б) цефеид (δ Цефея, η Орла).

9. Астрофотография: а) звездных скоплений, туманностей, галактик, звездных полей; б) повседневных и часто наблюдаемых небесных явлений.

10. Спектральные и колориметрические наблюдения некоторых ярких звезд.

• **Научные наблюдения:**

1. Серебристых облаков.

2. Космических лучей («ливней»).

3. Патрульные наблюдения проявлений солнечной активности.
4. Патрульные наблюдения нестационарных явлений на Луне.
5. Покрытия звезд и планет Луной.
6. Покрытия звезд и планет астероидами.
7. Наблюдения искусственных спутников Земли.
8. Поиск и открытия комет.
9. Наблюдения за явлениями в системе спутников Юпитера.
10. Наблюдения метеорных потоков: а) статистические визуальные; б) определение и уточнение радианта; в) исследование телеметеоров.
11. Наблюдения переменных звезд: а) долгопериодических неправильных и полуправильных переменных (χ Лебеда, σ Кита и т.д.); б) затменно-переменных звезд; в) цефеид.
12. Поиск метеоритов.
13. Археoaстрономические исследования.

• **Наблюдения редких астрономических явлений:**

1. Солнечные затмения. 1) частные фазы затмения: а) наблюдения частных фаз затмения; б) фотографирование частных фаз затмения в главном фокусе телескопа и с окулярным увеличением; 2) фазы полного затмения: а) зарисовки солнечной короны; б) фотографирование короны в главном фокусе телескопа; в) наблюдения «четок Бейли», протуберанцев; г) определение момента касания контактов солнечного и лунного дисков; д) поиск комет в околосолнечной области; е) измерения освещенности земной атмосферы; ж) измерения скорости скольжения лунной тени; з) биологические наблюдения за поведением животных и растений.

2. Лунные затмения: 1) полутеневые фазы затмения: а) измерение освещенности лунного диска в ходе затмения (фотометрирование Луны); 2) теневые фазы затмения: а) наблюдения частных фаз затмения; б) оценка затмения по шкале Данжона; в) измерение освещенности (фотометрирование) лунного диска в ходе затмения; г) наблюдения по программе Шаронова; д) определение момента касания земной тени с лунными образованиями; е) наблюдения нестационарных явлений; ж) фотографирование Луны в главном фокусе телескопа и с окулярным увеличением.

3. Яркие кометы: а) зарисовки кометы; б) фотографирование кометы; в) измерение длины хвоста и диаметра головы кометы; г) измерения степени сгущения комы; д) поляриметрические наблюдения.

4. Яркие болиды.

5. Новые и Сверхновые звезды.

Методика проведения учебных астрономических наблюдений, перечисленных в школьной программе, и сопутствующих лабораторных работ приводится в материале соответствующих практических занятий. Все они требуют соответствующей координации с учетом возможностей школ (наличия приборов, уровня подготовки учителей, интересов учащихся), условий видимости небесных объектов и явлений, места и времени наблюдений и т.д.

Обучаемые знакомятся с устройством и правилами использования телескопов, имеющихся в учебном заведении; основной упор следует делать на работу со школьными телескопами (малым и большим школьным рефрактором):

Все оптические приборы требуют очень бережного отношения. Астрономическая оптика очень ранима, хранить ее желательно в специальных шкафах или ящиках, объективы телескопов должны быть плотно закрыты крышками. При перенесении приборы надо оберегать от толчков и ударов. Ни в коем случае нельзя касаться оптических поверхностей руками, протирать пальцами: даже самая сухая кожа оставляет на стекле трудносмываемые жировые пятна. Загрязненные оптические поверхности осторожно протираются ваткой, смоченной чистым спиртом-ректификатом, а затем без нажима протираются (промокаются) сухой фланелевой салфеткой. В последние годы в оптических отделах аптек появились специальные составы и салфетки для чи-

стки оптических поверхностей. С зеркалами телескопов надо проявлять еще большую осторожность, т.к. металлический слой алюминия или серебра наносится на внешнюю поверхность зеркала и его легко повредить (поцарапать). Пыль с поверхности зеркал удаляется мягкой беличьей (кроличьей) кисточкой. Линзовые объективы можно чистить лишь снаружи, ни в коем случае нельзя их разбирать: это делается лишь в специальных оптических мастерских.

Если объектив телескопа запотел, вытирать его нельзя: запотевшую оптику вносят в теплое помещение, где она быстро высыхает.

Большую опасность для окуляров представляют наблюдения Солнца. Если не применять солнечные светофильтры, то от сильного жара в фокальной плоскости объектива наведенного на Солнце телескопа может перегреться и треснуть передняя (полевая) линза окуляра. Поэтому объектив рефрактора следует диафрагмировать до относительного отверстия $1/40 - 1/50$, а объектив рефлектора еще сильнее.

Нужно, чтобы они не только знали, как телескоп выглядит «со стороны», а своими руками сделали разборку и сборку прибора, его установку и наводку на какие-нибудь удаленные объекты. Для этого следует вынести прибор на открытый воздух.

Семинары 1-2

История астрономии

Цель занятий: формирование системы знаний об основных этапах и особенностях развития астрономии.

Первый семинар проводится в «традиционной» манере поочередных выступлений учащихся с заранее подготовленными краткими докладами и сообщениями. Темы кратких 5-7-минутных докладов и 2-3-минутных сообщений предлагаются за 1-2 недели до занятия, выбираются «по желанию», можно готовить доклад вдвоем – но ни один ученик не должен остаться без работы. Желательно, чтобы доклады сопровождались иллюстративным материалом.

Класс конспектирует выступления докладчиков, готовит вопросы, на которые они будут отвечать по окончании доклада.

Темами докладов могут быть (тоже традиционно) основные этапы развития астрономии в разных регионах мира:

1. «Астрономия Древнего мира» (подтемы «Астрономия первобытного общества», «Астрономия Древнего Востока», «Астрономия Древней Греции» и т.д.).

2. «Астрономия Средневековья» (подтемы «Вторая Астрономическая революция», «Борьба за научное мировоззрение» и т.д.).

3. «Третья Астрономическая революция» (подтемы «Развитие астрономии в XVII ... XVIII ... XIX веке», «Астрономия XX в.», «Астрономия в России», «Успехи советской астрономии» и т.д.).

Темами докладов могут быть биографии ученых, история великих открытий.

Справочный материал для подготовки докладов и сообщений приводится ниже. Дополнительными литературными источниками могут стать книги Б.А. Воронцова-Вельяминова, Ф.Ю. Зигеля, А.А. Гурштейна, И.А. Климишина, статьи в журнале «Земля и Вселенная», брошюры серии «Астрономия. Космонавтика». По нашему мнению, точный список книг с их выходными данными

студентам давать не нужно: они должны научиться искать источники информации самостоятельно (по автору, названию, теме исследования и т.д.).

В конце занятия учащиеся должны обобщить рассмотренный материал, сделать выводы по содержанию докладов (записать их в тетради, оформить в виде таблицы и т.д.) и качеству работы докладчиков, выставить им отметки за работу.

Итоговая таблица может иметь вид:

| Дата открытия | Основные астрономические события, открытия, достижения | Суть открытия | Автор открытия, государство |
|---------------|--|---------------|-----------------------------|
| | | | |

Для ознакомления с историей и основными достижениями современной космонавтики следует провести отдельный семинар.

Астрономия – одна из древнейших наук.

На основе анализа названий созвездий, согласно которому древнейшим, возникшим не ранее 15 000 лет назад, является не похожее на зверя созвездие Большой Медведицы жителей Евразии (Медведя у аборигенов Северной Америки), и анализа собственных движений звезд, свидетельствующем о том, что 100 000 лет назад фигура созвездия соответствовала его названию, ряд ученых предложил гипотезу о том, что еще *Homo sapiens neandertalis* – неандертальцы вели наблюдения звездного неба и давали созвездиям имена (что говорит о том, что они обладали членораздельной речью, имели способность к абстрактному и ассоциативному мышлению и передавали знания из поколения в поколение – так астрономия способствует развитию археологии, истории и антропологии).

Современный вид чел. появился на Земле около 50 000 лет назад. Из наблюдений за видимым движением Солнца, Луны и звезд (планеты в отдельную группу звезд еще не выделялись) люди пришли к выводу о видимом вращении неба вокруг оси мира и определили положение полюсов мира. Из неравномерно расположенных на небе звезд выделялись отдельные звезды, складывавшиеся в узор созвездия; в зависимости от вызываемых ассоциаций этим крупным созвездиям давали имена; другие внешне непримечательные созвездия с символическими названиями выделялись на основе ассоциации условий их видимости с определенными природными явлениями. Из звезд в первую очередь выделялись «реперные», яркие и ближайšie к полюсу мира. Первые высеченные в камне звездные карты были созданы 32-35 тысяч лет назад. Знание созвездий и положений некоторых звезд обеспечивало первобытным людям ориентацию на местности и приблизительное определение времени ночью.

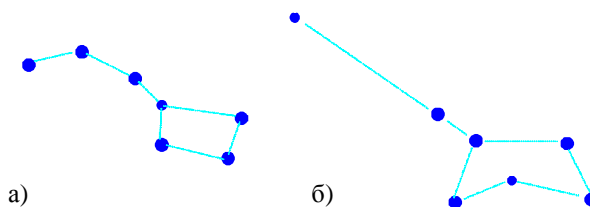


Рис. 15. Созвездие Большой Медведицы в наши дни (а) и 100 000 лет назад (б)

Первоначально счет дней и ночей ограничивался пятью первыми числами, по числу пальцев на руке: пятидневной или «малой» неделей и, позднее, «большой» десятидневной неделей. Первые лунные календари, в которых время определялось по фазам Луны, были найдены в Сибири (Приобье) и имеют возраст 32000 лет. К тому же времени относится введение 7-дневной недели – периода между изменением фаз Луны. В результате наблюдений за изменением положения Солнца над горизонтом в течение многих месяцев возникла новая мера времени – года. Это совпало с периодом перехода от кочевого образа жизни к оседлому и развитию земледелия.

Завершение неолитической революции, массовый переход племен к земледелию и скотоводству породил потребность в создании нового типа календарей – солнечных. Продолжительность года определялась изначально в 360 суток. На эклиптике по 4 астрономически значимым точкам равноденствий и солнцестояний поэтапно, из-за влияния прецессии, выделялись зодиакальные созвездия: «квартет Близнецов» (Близнецы, Дева, Стрелец, Рыбы) в VI-м тыс. до н.э. в ареале индоевропейской культуры; «квартет Тельца» (Телец, Лев, Скорпион, Водолей) в Шумере в IV-III-м тысячелетии до н.э.; «квартет Овна» (Овен, Рак, Весы, Козерог) во II-I-м тыс. до н. э. на Ближнем Востоке. Разработка, проверка и уточнение ранних солнечных календарей, существовавших одновременно и параллельно со старыми лунными, требовало многолетних по-

стоянных наблюдений за Солнцем и Луной, производившихся в храмах и, по совместительству, первых астрономических обсерваториях, строившихся около 5000 лет назад и оснащавшихся крупнейшими для того времени угломерными инструментами, размеры и сложность которых производят впечатление до сих пор, и позволявших проводить разнообразные исследования с целью определения положения и характеристик видимого движения светил и вычисления некоторых астрономических постоянных.

Свыше 6000 лет назад необходимость вычислять периоды подъема и спада воды в Ниле создала древнеегипетскую астрономию. Жизнь страны Та-Кемт зависела от разливов реки: в середине июля уровень вод начинал подниматься, достигал максимума в октябре-ноябре и возвращался к прежнему состоянию в январе-феврале. Нил заливал обширные пространства, покрывая их слоем плодородного ила. С началом разлива совпадало первое после периода невидимости появление яркой звезды Сотис (Сириус, α Большого Пса) на востоке в лучах восходящего Солнца. Оба события почти совпадали с днем летнего солнцестояния, становившимся первым днем Нового года. В результате многолетних наблюдений древнеегипетские жрецы-астрономы создали солнечный календарь: год состоял из 365 суток и делился на 3 сезона по 4 месяца в каждом (недостаток: он короче тропического на 0,2422... суток, так что за 1460 лет разница составляла 1 год); каждый месяц состоял из трех 10-дневных недель, последние 5 дней года объявлялись праздничными. Около 238 г. до н.э. в календарь были внесены повышающие его точность поправки. Небо было разделено на 23 созвездия. Созданы звездные таблицы. Для определения времени использовались солнечные (в т.ч. переносные) и водяные часы. Астрономические знания использовались в строительстве зданий, храмов, пирамид. Космологические представления не отличались сложностью и принципиально совпадали с представлениями первобытных людей: плоская Земля под куполообразным небом.

В древнем Вавилоне астрономические наблюдения начали проводиться за 3000 лет до нашей эры. На основе тщательных наблюдений затмений, восходов, заходов и движения по небу Луны и планет жрецы-астрономы сделали ряд важных открытий:

1. Определение сидерических периодов обращения планет.
2. Введение понятия Зодиака. Открытие прецессии.
3. Уточнение календаря; определение продолжительности солнечного года в $365,25^d$.
4. Предсказание затмений. Открытие сароса.
5. Создание первого в мире учебника-справочника по астрономии «Мул Апин» («Звездный плуг») в 700-650 гг. до н.э.

В отличие от всех других государств древности, астрономы Китая не были связаны исполнением религиозных функций: они были высокопоставленными государственными чиновниками, в обязанности которых входило проведение регулярных астрономических наблюдений с регистрацией и истолкованием небесных явлений и извещением о них императора («Сына Неба») и народа, составление и уточнение календарей, геодезические работы и т.д.

Для развития древнекитайской астрономии характерны глубокая самобытность, вековые традиции и преемственность. Астрономы Китая самостоятельно открыли ряд вышеуказанных явлений и опередили другие древние цивилизации многими выдающимися открытиями: в настоящее время известно около 100 000 астрономических текстов, охватывающих период с 2500 г. до н.э.; летописи сохранили имена многих китайских астрономов. Первые государственные календари были введены около 2690 г. до н.э. Вначале появился солнечно-лунный 76-летний календарь ($76 T_{\oplus} \approx 940 T_m$), в котором было 48 «простых» лет по 12 лунных месяцев и 28 «високосных» лет по 13 месяцев продолжительностью 29 и 30 суток. Затем он был упрощен до 19-летнего (12 «простых» и 7 «високосных» лет) и приведен в соответствие с сидерическими периодами обращения Юпитера и Сатурна. Первая крупная специализированная обсерватория была построена У Ваном в XII в. до н.э. Теория солнечных и лунных затмений была разработана более, чем за 2000 лет до н.э.: «Астрономы Хи и Хо забыли о добродетели, предались непомерному пьянству, запустили свои обязанности и оказались ниже своего ранга. Они впервые не сделали ежегодных вычислений путей небесных светил. В последний осенний месяц, в первый его день Солнце и Луна вопреки вычислениям сошлись в созвездии Фанг. Слепых известил барабан, бережливые люди были охвачены смятением, народ бежал. А господа Хи и Хо находились при своей должности: они

ничего не слышали и не видели...» (книга «Шу-Кинг», 2137 г. до н. э.). Китайские астрономы самостоятельно изобрели и с успехом использовали угломерные инструменты, компас, солнечные, водяные и огненные часы, различные механизмы и приспособления. В IV в. до н.э. был составлен первый в мире звездный каталог, содержащий сведения о 800 звездах. Небо было разбито на 124 созвездия, 320 звезд имели собственные имена (Шэ Шэн), позднее число созвездий возросло до 283 (Чжан Хэн, 130 г. н.э.). Собственное движение звезд было открыто И Сином в VII в. н.э. – за 1000 лет до европейских астрономов, без применения телескопа! В VIII в. было выполнено первое измерение дуги меридиана. Китайские астрономы открыли пятна на Солнце (I половина I-го тыс. до н. э.) и солнечные протуберанцы. С высокой точностью были определены синодический и сидерический периоды обращения планет. В хрониках отражены наблюдения метеоров, комет (кометы Галлея – с 611 г. до н.э.), вспышек Новых и Сверхновых звезд. «В день Синь-Уй на третью луну первого периода Ча-Ю (17 апр. 1056 г.) начальник астрономической службы доложил, что звезда-гостья, появившаяся утром на восточном небе на пятую луну первого периода Ши Хо (1054 г.), уже не наблюдается. До того она находилась все время вблизи звезды Твен-Куан... Она сияла даже днем, подобно Венере, испуская лучи во все стороны и имела красно-белый цвет. Она была видна на дневном небе 23 дня» (хроника «Сунше»). В представлении ученых Солнце, Луна, планеты и звезды имели сферическую форму и «плавали» в безграничном мировом пространстве. Однако китайским астрономам было трудно отрешиться от воздействия государственной идеологии «Срединной империи», делавшей Китай центром мира, поэтому для них, как и в Древнем Вавилоне, «небо напоминает шапку, а Земля подобна перевернутой глиняной миске».

Древнегреческие астрономы были обладавшими большой свободой творчества учеными-универсалами: математиками, физиками, философами. Они не были служителями религиозного культа и не были связаны государственной идеологией. Не ограничиваясь практическим применением астрономических знаний, они пытались объяснять механизм небесных явлений, впервые задумались о физической природе небесных тел и создали сложнейшие для Древнего мира космологические теории.

Фалес Милетский (624-547 гг. до н.э.) самостоятельно разработал теорию солнечных и лунных затмений, открыл сарос.

Анаксимандр (610-547 гг. до н.э.) учил о бесчисленном множестве непрерывно рождающихся и гибнущих миров в замкнутой шарообразной Вселенной, центром которой является покоящаяся в пространстве цилиндрическая Земля; ему приписывалось открытие равноденствий и солнцеворотов, изобретение небесной сферы, некоторых других астрономических инструментов и первых географических карт.

Об истинной (сферической) форме Земли древнегреческие астрономы догадались на основе наблюдений формы земной тени во время лунных затмений. Идеи шарообразности Земли и существования земного тяготения присутствует в трудах **Пифагора** (540-500 гг. до н.э.), **Парменида** (515-445 гг. до н.э.), и **Эмпедокла** (490-430 гг. до н.э.).

Анаксагор (500-428 гг. до н.э.), друг Фидия и Сократа, учитель Эврипида и Перикла, политический деятель-демократ, преследовался за атеизм. Он предполагал, что Солнце – кусок раскаленного железа; Луна – холодное, отражающее свет тело; отрицал существование небесных сфер; самостоятельно дал объяснение солнечным и лунным затмениям.

Метон (родился в 460 г. до н.э.) разработал универсальный «вечный» лунно-солнечный календарь. На 87-й Олимпиаде был провозглашен за свое изобретение олимпийским победителем, его календарь был принят во всей Элладе.

Демокрит (460-370 гг. до н.э.) считал материю состоящей из мельчайших неделимых частиц – атомов и пустого пространства, в котором они движутся; различия физических тел обуславливались формой, размерами и количеством составляющих их атомов; Вселенную – вечной и бесконечной в пространстве; Млечный Путь состоящим из множества неразличимых глазом далеких звезд; звезды – далекими солнцами; Луну – похожей на Землю, с горами, морями, долинами... «Согласно Демокриту, миров бесконечно много и они различных размеров. В одних нет ни Луны, ни Солнца, в других они есть, но имеют значительно большие размеры. Лун и солнц может быть больше, чем в нашем мире. Расстояния между мирами различны, одни больше, другие меньше. В одно и то же время одни миры возникают, а другие умирают, одни уже растут, а

другие достигли расцвета и находятся на краю гибели. Когда миры сталкиваются между собой, они разрушаются. На некоторых совсем нет влаги, а также животных и растений. Наш мир находится в самом расцвете» (Ипполит «Опровержение всякой ереси», 220 г. н.э.)

Евдокс (408-355 гг. до н.э.) – один из крупнейших математиков и географов древности; разработал теорию движения планет и первую из геоцентрических систем мира.

Аристотель (384-322 гг. до н.э.) признавая шарообразность Земли, Луны и небесных тел и восхищаясь Демокритом, был сторонником собственной геоцентрической системы мира. Согласно Аристотелю, кометы всего лишь земные испарения, самовозгорающиеся высоко над Землей и не имеющие никакого отношения к небесным телам; метеорами и болидами ученые Древней Греции не интересовались, считая их чисто атмосферными явлениями.

Архимед (283-312 гг. до н.э.) впервые попытался определить размеры Вселенной. Считая Вселенную шаром, ограниченным сферой неподвижных звезд, а диаметр Солнца в 1000 раз меньшим, он вычислил, что Вселенная может вмещать 10^{63} песчинок.

Эратосфен (276-194 гг. до н.э.) вычислил на основе астрономических наблюдений размеры Земли, определив длину земного экватора в 45000 км.

Аристарх Самосский (310-250 гг. до н.э.) за 1700 лет до Коперника сделал вывод о вращении Земли вокруг Солнца: «Он полагает, что неподвижные звезды и Солнце не меняют свои места в пространстве, что Земля движется по окружности вокруг Солнца, находящегося в ее центре» – писал Архимед. В работе «О размерах и взаимных расстояниях Солнца и Луны» Аристарх Самосский, принимая гипотезу о суточном вращении Земли, зная диаметр Земли (по Эратосфену) и считая Луну в 3 раза меньше Земли, на основе собственных наблюдений рассчитал, что Солнце – одна, ближайшая из звезд – в 20 раз дальше от Земли, нежели Луна (на самом деле – в 400 раз) и больше Земли по объему в 200-300 раз.

Гиппарх (II век до н.э.) «более, чем кто-либо доказал родство челов. со звездами... он определил места и яркость многих звезд, чтобы можно было разобрать, не исчезают ли они, не появляются ли вновь, не движутся ли они, меняются ли они в яркости» (Плиний Старший). Гиппарх был создателем сферической геометрии; ввел сетку координат из меридианов и параллелей, позволявших определять географические координаты местности; составил звездный каталог, включавший 850 звезд, распределенные по 48 созвездиям; разделил звезды по блеску на 6 категорий – звездных величин; открыл прецессию; изучал движение Луны и планет; повторно измерил расстояние до Луны и Солнца и разработал одну из геоцентрических систем мира.

Древнеегипетский солнечный календарь был усовершенствован астрономом **Созигеном** по приказу Юлия Цезаря в 46 г. до н.э. Новый календарь получил название **юлианского**. Ранее в Древнем Риме применялся примитивный солнечный календарь, в котором год из 295 (304) суток разделялся на 10 месяцев, а позднее (с середины VIII в. до н.э.) – 13-месячный лунно-солнечный календарь. Год начинался с месяца «примидилиса» – марта, январь был одиннадцатым месяцем, февраль – двенадцатым. Начало и конец года, а также введение дополнительного месяца «марцедония» жрецы-понтифики устанавливали по своему усмотрению и в конце-концов сами запутались в своих расчетах, «задолжав» календарю 80 суток, что позволило Вольтеру заметить: «Римские полководцы всегда побеждали, но никогда не знали, в какой день это произошло»). Работа по исправлению календаря сделала 46 г. до н.э. «самым длинным в истории человечества» – 445 суток!

В результате реформы год был разбит на 12 месяцев (по 31 суток в нечетных и 30 суток в четных месяцах). В честь Юлия Цезаря после его смерти месяц «квинтилис» был переименован в «юлий» – июль; затем следующий император Август Октавиан переименовал в свою честь еще один месяц. Остальные месяцы носили имена римских богов (январь, июнь и т. д.) или порядковые номера (сентябрь – «седьмой», октябрь – «восьмой», декабрь – «десятый»).

Далее на протяжении 2000 лет юлианский календарь приобретал понемногу современный вид, испытывая без особых оснований многочисленные переделки: изменилось количество суток в месяцах, порядок их расположения и день начала года.

Клавдий Птолемей (100-165 гг. н.э.) попытался создать теорию видимого движения Солнца, Луны и планет. На основе каталога Гиппарха, собственных наблюдений и физики Аристотеля разработал самую подробную и популярную геоцентрическую систему мира, оп-

ределявшую космологические представления ученых на протяжении 1500 лет. Труд Птолемея «Великое математическое построение астрономии» («Альмагест») в 13 книгах стал научной энциклопедией древности и средних веков.

По теории Птолемея:

- 1) Земля неподвижна и находится в центре мира;
- 2) планеты вращаются по строго круговым орбитам;
- 3) движение планет равномерно.

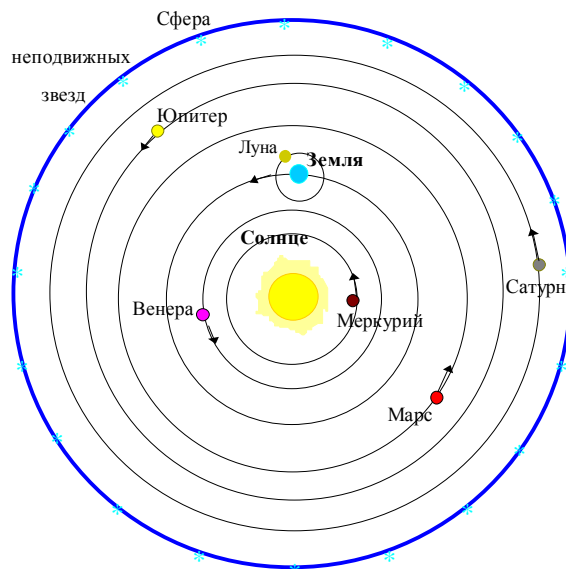
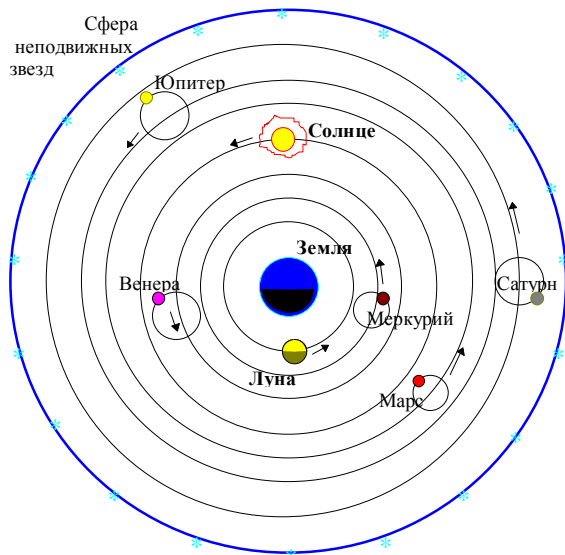
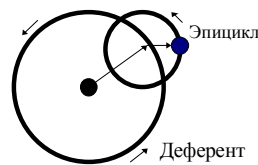


Рис. 16. Геоцентрическая система мира Птолемея Рис. 17. Гелиоцентрическая система мира Коперника

Для объяснения движения планет Птолемей применил систему эпициклов и деферентов, сделав их гармоническими: сложное петлеобразное движение представлялось суммой нескольких гармонических движений, выражаемых формулой: $f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(\omega_n t + d_n)$,

где ω_n – круговая частота, t – время, A_n – амплитуда, d_n – начальная фаза.

Эпициклическая система Птолемея была простой, универсальной, экономичной и, несмотря на свою принципиальную неверность, позволяла предвычислять небесные явления с любой степенью точности; с ее помощью можно было бы решать некоторые задачи современной астрометрии, небесной механики и космонавтики. Сам Птолемей, обладая честностью настоящего ученого, делал упор на чисто прикладной характер своей работы, отказываясь рассматривать ее как космологическую ввиду отсутствия явных доказательств в пользу гео- или гелиоцентрической теорий мира. Такими доказательствами могли бы стать наблюдения годичного параллакса (или абберации), который пытались обнаружить Аристарх, Птолемей (а позднее – Коперник, Ньютон и другие ученые); но впервые истинность гелиоцентрической теории открытием абберации звезды γ Дракона сумел подтвердить лишь в 1725 г. английский астроном Брэдли.

...Обожествление небесных светил в древнейшие времена отразилось в названиях дней недели, сохранившихся в языках различных народов мира до настоящего времени: главный день недели получил название «дня Солнца» – Sunday (англ.), «ничиоби» (японский); второй день недели – «день Луны» – Lundi (французский), Montag (немецкий) и т.д. У других народов дни недели и месяцы попутно с «порядковым номером» обрели названия в соответствии с характером занятий людей, природных условий и климатическими сезонами.

Так, у восточных славян до принятия христианства счет дней недели велся от «дня отдыха, не-делания» – «недели» («седьмицы»), «воскресением» он стал называться лишь в XVI веке. Далее по счету шел понедельник (1-й день), вторник (2-й день), среда (средний день недели), четверг (4-й день), пятница (5-й день); суббота получила название от древнееврейского sabbath – «день покоя». Месяцы назывались: январь – сечень, февраль – лютый, март – березозол, апрель – цветень, май – травень, июнь – червень, июль – липец, август – серпень, сентябрь – вересень, октябрь – листопад, ноябрь – грудень, декабрь – студень. До

принятия христианства Новый год праздновался в день весеннего равноденствия; затем стал отмечаться с 1 марта; с 1492 г. – с 1 сентября и лишь с 1700 г. указом Петра I – с 1 января.

В Японии месяцы года получили названия: 1) мицуки – «месяц дружбы»; 2) кисараги – «месяц смены одежды»; 3) яон – месяц произрастания трав; 4) удзуки – «месяц кустарников»; 5) сацуки – «месяц ранних посевов»; 6) минадзуки – «безводный месяц»; 7) фумидзуки – «месяц любования Луной»; 8) хадзуки – «месяц листвы»; 9) кикудзуки – «месяц хризантем»; 10) каминадзуки – «месяц без богов»; 11) симоцуки – «месяц инея»; 12) сивасу – «месяц окончания дел».

...Средние в., с начала IV по XI вв., стали в.ми упадка в развитии естественнонаучных знаний, в том числе и астрономии вследствие гибели греко-римского центра науки и культуры и тор-мозящего действия монотеистических религий христианства и мусульманства. Дионисий Малый на основе астрономических данных «научно» вычислил дату рождения И. Христа и предложил новое летоисчисление («от рождества Христова»). Никейский собор утвердил в качестве основного календаря христианского мира юлианский солнечный календарь и назначил празднование пасхи на первое воскресенье после первого весеннего полнолуния вслед за днем весеннего равноденствия. На столетия предвычисление даты пасхи и других христианских праздников стало главной «научно-астрономической» проблемой для ученых священников. В Европе господствовала примитивная библейская картина мира: в «Христианской топографии Вселенной» Козьмы Индикоплова Земля имеет четырехугольную форму и соединяется с твердым небосводом прямоугольными стенами; смена дня и ночи объяснялась заходом Солнца за гору на севере. В XI – XII вв. она сменилась крайне догматизированной формой учений Аристотеля и Птолемея.

В VII-XIV вв. центром науки становятся города Арабского Востока. В 20-е годы IX в. в Багдаде был основан «Дом Мудрости», выполнявший функции Академии наук. При нем была богатая библиотека старинных рукописей и астрономическая обсерватория. Арабские ученые проводили высокоточные астрометрические наблюдения небесных светил, дали имена 275 звездам. Были переведены «Альмагест» Птолемея, труды Аристотеля и других древнегреческих ученых, и индийские астрономические сочинения.

Мохамед Аль-Хорезми (783-850 гг.) составил астрономические и тригонометрические таблицы для нужд теоретической и практической астрономии, описал разные календарные системы, устройство и применение основных астрономических инструментов.

Аль-Баттани (858-929 гг.) проверил таблицы Птолемея, уточнил величину прецессии и угла ϵ между эклиптической и небесным экватором.

Абу Райхан аль-Бируни (973-1048 гг.) вел многолетние наблюдения небесных объектов и самостоятельно, по оригинальной методике, определил размеры Земли и догадывался о ее вращении вокруг Солнца.

Омар Хайям занимался созданием астрономических таблиц, разработкой математического обеспечения практической астрономии и составлением календарей. Созданный им в 1079 г. персидский солнечный календарь был значительно точнее григорианского и применялся в Иране и ряде других государств до середины XIX в.

Насреддин Туси (1201-1277 гг.) основал в Мараге обсерваторию с большой библиотекой, в сотрудничестве с учеными Индии и Китая составил «Ильханские таблицы» движения Луны, Солнца и планет.

Мохамед-Тарагай Улугбек (1394-11449 гг.), внук и наследник великого завоевателя Тимура, построил крупнейшую в XV веке астрономическую обсерваторию с главным инструментом – гигантским квадрантом радиусом 40,2 м, с точностью измерений $10'$ по азимуту, с помощью которого были с большой точностью определены продолжительность года и угол ϵ . Главным трудом Улугбека стал «Зидж Гурагани» («Новые таблицы») – каталог 1018 звезд, включавший различные системы летоисчисления, основы сферической и практической астрономии, теорию затмений, движения планет и другие сведения. Книга Улугбека стала астрономической энциклопедией XV в. и неоднократно переиздавалась в других странах.

В XIII в. астрономия стала одной из обязательных учебных дисциплин во всех западноевропейских университетах, но вплоть до середины XVI в. астрономия оставалась приложением к математике (и, через астрологию, к медицине).

Николай Кузанский (1401-1463 гг.), выдающийся немецкий философ и теолог, кардинал и викарий Папы римского был ученым, намного опередившим в своих взглядах эпоху. Он первым порвал с аристотелево-птолемеевой теорией Вселенной, утверждая подвижность земли в пространстве, ее вращение вокруг своей оси и вещественное единство Земли и всех небесных тел.

Николай Коперник (1473-1543 гг.) стал одним из создателей новой астрономии и научного мировоззрения. В своем труде «О вращении небесных сфер» он изложил гелиоцентрическую теорию: на основе двух основных действительных движений Земли – годового и суточного – объяснялись все главные особенности видимого суточного вращения небесной сферы и движения планет. Впервые получили объяснение смена времен года Теория Коперника вскрыла важнейший принцип устройства Вселенной подвижность, планетарность Земли устраняла вековое представление об уникальности центра вращения Вселенной. На памятнике Н. Копернику в Варшаве высечена надпись: «Он остановил Солнце и сдвинул Землю».

В 1582 г. по инициативе Папы римского Григория XIII астроном Луиджи Лилио Гаралли произвел реформу календаря. До конца XVI в. на новый календарь перешли Италия, Франция, Польша, Португалия, Голландия, Австрия, Швейцария, Венгрия.

Джордано Бруно (1548-1600 гг.) объединил философско-космологическую концепцию Николая Кузанского с астрономическими выводами теории Коперника и создал свою естественно-философскую картину бесконечной изотропной Вселенной с множеством обитаемых планетных миров «...единое безмерное пространство, лоно которого содержит все... в котором все пробегает и движется... В нем – бесчисленные звезды, созвездия, шары, солнца и земли, чувственно воспринимаемые; разумом мы заключаем о бесчисленном множестве других. Все они имеют свои собственные движения, независимые от того мирового движения, видимость которого вызывается движением Земли... одни кружатся вокруг других... Поверхность нашей Земли меняется, только через большие промежутки времени эпох и столетий, в течение которых моря превращаются в континенты, а континенты в моря...» («О причине, начале и едином»; «О бесконечности вселенной и мирах» (1584 г.). Джордано Бруно активно боролся с католической церковью. На месте его сожжения в Риме на памятнике высечена надпись «От столетия, которое он предвидел».

Тихо Браге (1546-1601 гг.) – великий датский астроном, последний из «титанов» до телескопической эпохи. Главным делом жизни считал повышение точности астрономических наблюдений. В 1584 г. на подаренном королем острове Гвен у берегов Швеции он построил две обсерватории – Ураниенбург и Стъртенбург, в которых 21 год вел астрономические наблюдения при помощи созданных им металлических угломерных инструментов, повысив точность измерений положений небесных светил в 100 раз – до 1'-2'! Составил каталог 777 звезд. В 1577 г. измерил параллакс кометы и установил, что она находится на большем, чем Луна, расстоянии от Земли. Создал свою, компромиссную систему мира вокруг неподвижной Земли: в центре Вселенной вращалось Солнце, вокруг которого вращались планеты. Для ее доказательства до конца жизни проводил наблюдения Марса с наивысшей для XVI в. точностью. В 1597 г. покинул Данию, умер в изгнании в Праге.

Иоганн Кеплер (1571-1630 гг.), ученик Тихо Браге, использовал данные многолетних наблюдений Марса в создании теории движения планет. И. Кеплер был горячим сторонником гелиоцентрической теории Н. Коперника, но хорошо знал ее недостатки: данные наблюдений плохо согласовывались с теоретическими расчетами, согласно которым планеты равномерно двигались по строго круговым орбитам. 18 лет (1600-1618 гг.) И. Кеплер последовательно создавал гипотезы о том или ином характере движения Марса, а затем тщательно сравнивал результаты вычислений с данными о положении планеты на небесной сфере. Проверка гипотезы эллипса привела Кеплера к успешному завершению работы: «Не переставая ощупывать все места окружающего мрака, я вышел наконец на яркий свет истины». Кеплер сформулировал законы движения планет:

1. Все планеты Солнечной системы движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце.
2. Радиус вектор планеты за одинаковые промежутки времени описывает равные площади: скорость движения планет максимальна в перигелии и минимальна в афелии.

3. Квадраты звездных периодов обращения планет соотносятся как кубы больших полуосей их орбит: $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$.

Работа завершилась в 1618-1621 гг. книгой «Сокращение коперниковой астрономии», которую церковь тут же запретила (до 1818 г.!). В 1611 г. И. Кеплер предложил новую оптическую схему телескопа, используемую во всех современных телескопах-рефракторах. Жизнь великого астронома была полна лишений, он умер всеми забытый, в полной нищете.

Увеличительные стекла применялись еще в Древнем мире; описание подзорной трубы содержится в работах Роджера Бэкона (XIII в.) и Леонардо да Винчи (1509 г.): «Сделай очковые стекла для глаз, чтобы увидеть Луну большой». Первые подзорные трубы появились в Голландии в начале XVII в.

Изобретение телескопа **Галилео Галилеем** (1564-1642 гг.) в 1610 г. открыло новую эру в астрономии: эру телескопических наблюдений и астрофизических исследований: «Месяцев десять тому назад стало известно, что некий фламандец построил перспективу, при помощи которой видимые предметы, далеко расположенные, становятся отчетливо различимы, будто они находятся вблизи. Это и было причиной, по которой я обратился к изысканию оснований и средств для изобретения подобного инструмента. Опираясь на учение о преломлении, я постиг суть дела и сначала изготовил свинцовую трубу, на концах которой поместил два оптических стекла, оба плоских с одной стороны, с другой стороны одно стекло выпукло-сферическое, другое вогнутое... Я вне себя от изумления, так как уже успел убедиться, что Луна представляет собой тело, подобное Земле...»

Г. Галилей открыл горы, моря и кратеры на Луне, 4 наиболее крупных спутника Юпитера, наблюдал пятна на Солнце, фазы Венеры, кольца Сатурна, множество звезд во Млечном пути и даже Нептун. Самый мощный из телескопов Г. Галилея имел характеристики: $D = 4,5$ см, $F = 125$ см, $\Gamma = 34^{\times}$. Г. Галилей состоял в дружеской переписке с И. Кеплером. За свою активную научную деятельность, пропаганду гелиоцентрической теории Коперника Галилей подвергался преследованиям со стороны церкви, вынудившей его под страхом смерти отречься от своих воззрений; книги его входили в список запретных до начала XIX в.

Р. Декарт (1596-1650 гг.) был автором первой материалистической космологической гипотезы, разработанной на основе гелиоцентрической теории. По мнению Декарта, космические тела и их системы образовались в результате вихревых движений однородной материальной среды – эфира, заполняющего всю Вселенную и находящегося в состоянии непрерывного развития. Все материальные тела Вселенной состоят из совокупности одинаковых мельчайших элементарных частиц, находящихся в непрерывном движении и взаимодействующих друг с другом. Солнечная система представляет собой один из эфирных «вихрей»; Солнце состоит из «тонкой материи», планеты и кометы – из более крупных частиц. Планеты не обладают собственным движением и перемещаются, увлекаемые мировым вихрем, сила тяжести на их поверхности обусловлена давлением частиц друг на друга.

Законы движения планет, сформулированные И. Кеплером, были дополнены и уточнены И. Ньютоном и другими учеными, войдя в основу классической механики, теории Всемирного тяготения и нового раздела астрономии – небесной механики.

Н. Коперник и И. Кеплер предполагали, что небесные тела обладают свойством притяжения; ранее подобных взглядов придерживались Н. Кузанский и Леонардо да Винчи. Г. Галилей, Борелли и Р. Гук вплотную подошли к разработке теории тяготения.

И. Ньютон (1643-1727 гг.) начал заниматься математическим обоснованием теории Коперника в 1665 г. В основу его работы легли опыты Г. Галилея и законы движения планет Кеплера. В ходе исследований И. Ньютону пришлось разработать новые математические методы и создать стройную систему основных понятий механики и сформулировать основные законы динамики, ставшие основой классической физики. Изданные в 1687 г. «Математические начала натуральной философии» (как в то время называли физику) содержали теоретическое обоснование гелиоцентрической теории и стали одним из величайших естественнонаучных трудов, а их автор – одним из самых великих ученых-физиков. В основе механики Ньютона лежит закон Всемирного тяготения, созданный им на основе анализа движения

планеты Земли и ее спутника Луны, образующих единую космическую систему. Он впервые высказал гипотезу о формировании звезд в газопылевых туманностях под действием гравитации; объяснил причины приливов и отливов.

Астрофизические исследования начались с изобретения телескопа Г. Галилеем. Во второй половине XVII в. бурно развивается телескопическая астрономия, строятся все более мощные телескопы-рефракторы, разрабатываются новые системы окуляров и монтировок, Р. Гук изобрел часовой механизм. Аберрация ослаблялась увеличением фокусного расстояния объективов. В результате у Х. Гюйгенса телескоп при диаметре объектива 20 м имел длину трубы 64 см; телескоп Я. Гевелия имел длину 50 м, а самым крупным «динозавром телескопической техники» стал инструмент А. Озу (1664) с фокусным расстоянием 98 м! В 1668 г. И. Ньютон построил первый в мире рефлектор с главным зеркалом диаметром 2,5 см. Почти одновременно с ним схемы зеркальных телескопов были опубликованы в работах Д. Грегори (1663 г.) и К. Кассегрена (1672 г.). Зеркала рефлекторов XVII–XVIII веков изготавливались из сложных металлических сплавов на основе бронзы и выходили из строя (требовали новой полировки) через год после изготовления. В конце XVII в. Д. Грегори предложил для уничтожения хроматической аберрации изготавливать объективы и окуляры телескопов из нескольких линз с разными коэффициентами светового преломления, но первые ахроматические телескопы были созданы П. Доллондом на основе расчетов Л. Эйлера, Д. Клеро и Дж. Доллонда в 80-х годах XVIII в.

Телескопические наблюдения значительно расширили знания о природе объектов Солнечной системы: составлены первые карты Луны: лунным морям, горам и кратерам даны названия (Г. Галилей, П. Шейнер, Я. Гевелий, Д. Риччоли и др.); открыты кольца и спутник Сатурна Титан (Х. Гюйгенс); моря и полярные шапки Марса; исследуются солнечные пятна, открыто вращение Солнца (Г. Галилей, И. Фабрициус, П. Шейнер и др.), звездные скопления и туманности. Завершается разбиение небесной сферы на созвездия (Я. Гевелий и др.).

В 1664 г. жизненно заинтересованный появлением в небе яркой кометы король Людовик XIV собрал первую в мире международную научную конференцию астрономов, посвященную исследованиям комет.

Первая в Европе государственная астрономическая обсерватория открылась в Париже в 1671 г.; в 1675 г. начала работу Гринвичская обсерватория в Англии.

Современники часто называли XVIII в. «Веком Просвещения». Это было время возрождающихся материалистических учений, когда в науке стал главенствовать эксперимент и феноменологический подход в объяснении явлений природы, а наиболее разработанной научной теорией стала классическая механика Ньютона.

Астрометрия переживала бурный подъем. В XVII в. И. Байер ввел обозначение звезд буквами греческого алфавита, а в XVIII в. Дж. Флемстид стал обозначать звезды латинскими буквами. Применение оптических устройств в комбинации с угломерными инструментами (Ж. Пикар, 1671 г.) и изобретение пассажного инструмента О. Ремером (1689 г.) значительно повысило точность определения горизонтальных небесных координат светил. Это привело к открытию собственного движения звезд Э. Галлеем (1719 г.) и движения Солнца среди звезд. Изобретение Х. Гюйгенсом маятниковых часов и создание весьма точных приборов для хранения времени – хронометров (Д. Гаррисон, 1736 г.) позволило точно определять моменты небесных явлений и промежутки времени между ними. Разработанные Ньютоном и Лейбницем методы интегрального и дифференциального исчисления вместе с работами в области тригонометрии привели к созданию простых и точных способов астрономических расчетов по переводу небесных координат из одной системы в другую и предвычисления небесных явлений. Это позволило повысить точность определения географических координат местности, необходимую для мореплавания, картографии и военного дела, планирования времени, составления календарей и других практических нужд людей того времени. Сферическая астрономия достигла вершин своего развития и стала на время наиболее полно разработанным разделом астрономии.

Григорианский календарь к концу XVIII в. стал использоваться во всех государствах Германии, Норвегии, Дании, Швеции и Великобритании со всеми ее колониями, включая будущие Североамериканские Штаты. В годы революции во Франции постановлением На-

ционального конвента был введен новый солнечный 12-месячный календарь, разработанный комиссией (Ж. Ромм, Ж.Л. Лагранж, Ж.Ж. Лаланд, Г. Монж и др.): в каждом месяце насчитывалось по 30 суток; год начинался с 22 сентября; месяцам были даны новые названия, отражающие явления природы; 7-дневная неделя заменялась 10-дневной декадой.

За два в. визуальных телескопических наблюдений астрономы составили довольно верные представления о физической природе и основных физических характеристиках Солнца, Луны и планет и сделали ряд верных предположений о природе звезд и туманностей и колоссальности межзвездных расстояний (Х. Гюйгенс, И. Ламберт). В 1704 г. Э. Галлей (Англия) издал книгу «Обзор кометной астрономии», в которой высказал идею о периодическом возвращении комет и рассчитал элементы орбиты кометы, названной позднее в его честь кометой Галлея. В 1750 г. Т. Райт построил первую схему Галактики. В 1779 г. Х. Майером опубликован первый каталог двойных звезд. К главным астрономическим открытиям XVIII в. прибавились открытия атмосферы Венеры (М.В. Ломоносов, 1761 г.); планеты Уран (В. Гершель); нового класса планетных тел – метеороидов; затменно-переменных звезд и цефеид (Э. Пиготт, Дж. Гудрайк, 1782-1786 гг.). Ф. Эпиниус (1770 г.) предположил о разогреве Солнца за счет падения комет. Поскольку изготовление рефлектора много проще и дешевле, чем рефрактора таких же характеристик, то уже в 1789 г. английский астроном В. Гершель построил 122-см рефлектор. На основе этих знаний и законов механики были сформулированы первые научные космогонические и космологические гипотезы.

Шведский ученый **Э. Сведенберг** (1688-1772 гг.) развил гипотезу Декарта с учетом открытий классической механики считая, что Солнечная система образовалась в результате возникновения и развития в солнечной атмосфере «вихря материи», который отделился от Солнца под действием центробежных сил и распался затем на отдельные сгустки, из которых сформировались планеты и их спутники.

Одну из наиболее известных и детально разработанных космологических гипотез того времени сформулировал в 1755 г. великий немецкий философ **Иммануил Кант** (1724-1804 гг.): образование космических тел Солнечной системы происходило в крайне разреженной космической среде из мельчайших частиц разной массы (пространственная плотность распределения частиц была пропорциональной их массе), в которой под действием «внутренних связей» (негравитационных сил химического происхождения) возникали неоднородности плотности – сгустки вещества, уплотнявшиеся и под действием сил тяготения сближавшиеся и соединявшиеся с соседними; недра формирующихся объектов разогревались за счет «смещения» (сжатия) вещества. Главным недостатком гипотезы было отсутствие объяснения вращения Солнечной системы.

Свою космогоническую гипотезу И. Кант распространял на всю бесконечную в пространстве Вселенную. Он считал, что у Вселенной был момент рождения, а в настоящее время она развивается под действием естественных механических сил притяжения и отталкивания и будет существовать вечно. Космические тела возникают в недрах диффузных газопылевых туманностей (все наблюдаемые туманности являются формирующимися планетными системами); во Вселенной есть объекты разного возраста, а сама Вселенная имеет «островное» системное строение. В рамках своей гипотезы И. Кант блестяще предсказал существование двойных звезд, трансурановых планет, кометных резервуаров на границе Солнечной системы и закона межпланетных расстояний Тициуса-Боде (1772 г.). Он осуществил первый научный анализ проблемы существования внеземной жизни, отметив связь между формами жизни и физическими условиями на поверхности космических тел и сделал вывод, что жизнь может существовать лишь на поверхности наиболее благоприятствующих этому планет. Однако «Сочинения» Канта оставались без непосредственного результата до тех пор, пока долгие годы спустя Лаплас и Гершель не развили его содержание и не обосновали его детальнее, подготовив таким образом постепенное признание «небулярной» гипотезы» (Ф. Энгельс).

Вильям Гершель (1738-1822 гг.) – известный астроном-наблюдатель, конструктор телескопов, открыл около 2500 туманностей и 800 двойных звезд и в 1781 г., при испытании нового телескопа, планету Уран; в его трудах получила дальнейшую разработку гипотеза формирования звезд в газопылевых туманностях.

Пьер-Симон Лаплас (1749-1821 гг.) – один из крупнейших французских ученых XVIII в.: в физике он разработал теорию потенциала, теорию движения точки с переменной массой и теорию капиллярности; в математике стал одним из творцов теории вероятности и разработал основы теории ошибок. В астрономии его основные работы были связаны с исследованиями сложных случаев возмущенного движения космических тел (вековые возмущения Юпитера, Сатурна, Луны; фигуры планет; движение полюсов Земли; первая теория движения спутников Юпитера и динамической теории приливов; обоснование механической устойчивости Солнечной системы). Пяти томный «Трактат о небесной механике» (термин ввел Лаплас) стал классическим трудом и в течение 50 лет был основным руководством для астрономов в данном разделе науки.

В его работе «Изложение системы мира» (1796 г.) подробно рассматривалось формирование Солнечной системы из вращающейся газопылевой туманности. Планеты и спутники образовались одновременно с Солнцем из вещества его протяженной, горячей и разреженной атмосферы. Гипотеза Лапласа хорошо объясняла почти все известные научные факты и лежала в основу космогонии свыше 100 лет, до начала XX в.

П.-С. Лаплас был убежден во всеобщей и безграничной причинно-следственной обусловленности всех явлений природы: «Мы должны рассматривать современное состояние вселенной как результат ее предшествующего состояния и причину последующего. Разум, который для какого-нибудь данного момента знал бы все силы, действующие в природе и относительное расположение ее составных частей, если бы он был достаточно обширен, чтобы подвергнуть все эти данные анализу, объял бы в единой формуле движение самых огромных тел во Вселенной и самого легкого атома. Для него бы не было ничего неясного и будущего, как и прошлое, было бы у него перед глазами». «Лапласов детерминизм» был общепринятой методологией всех естественно-математических наук вплоть до конца XIX в.

В начале XIX в. небесная механика становится одним из классических разделов астрономии и привлекает к себе сердца большинства астрономов; поиску решения задач 3-х и n-тел уделяют силы многие выдающиеся ученые.

В 1796 г. астрономами Европы для поиска неизвестной планеты, которая согласно закону Тициуса-Боде (при $n = 3$) должна двигаться между орбитами Марса ($n = 2$) и Юпитера ($n = 4$), был создан «отряд небесной полиции» с целью «выследить и поймать беглого подданного Солнца». 1 января 1801 г. Дж. Пиацци (Италия) открыл первую из малых планет – Цереру ($a = 2,77$ а.е.); через год Г. Ольберс открыл Палладу и предложил первую гипотезу об образовании и характеристиках пояса астероидов, в рамках которой в 1804 г. была открыта Юнона, в 1807 г. – Веста; до конца XIX в. было открыто 400 астероидов. Увеличилось число известных спутников планет-гигантов; исследования тесных двойных систем привели к открытию нового класса космических тел – белых карликов. Было изучено движение многих комет и установлена связь между ними и метеорными потоками.

Подлинным триумфом теории Всемирного тяготения явилось открытие «на кончике пера» планет Нептун и Плутон.

Вскоре после открытия Урана выяснилось, что расчетное движение планеты не совпадает с данными наблюдений. Было высказано предположение, что за Ураном есть еще одна планета, которая силой своего притяжения воздействует на Уран, изменяя его орбиту. Зная характер движения Урана и силу притяжения, действующую на него со стороны Солнца и известных планет, ученые У. Леверье (Франция) и А. Адамс (Англия) в середине XIX в. независимо друг от друга рассчитали элементы орбиты этого неизвестного тела, определив, в какой области небесной сферы его следует искать с такой точностью, что уже в первые ночи наблюдений в 1846 г. немецкий астроном И. Галле открыл планету Нептун. Однако движение Нептуна не вполне соответствовало расчетам ученых, откуда следовало, что в Солнечной системе есть еще одна планета; поиски ее затянулись почти на 90 лет.

Россия постепенно выдвигается в число передовых астрономических держав мира; русские астрономы – Л. Эйлер, разработавший теорию движения Луны; династия Струве; исследователь физики комет Ф.А. Бредихин; А.А. Белопольский и многие другие.

В 1839 г. открылась Пулковская обсерватория, ставшая до конца XIX в. «астрономической столицей мира». Первым ее директором стал один из крупнейших астрономов В. Я. Струве, обосновавший вывод о существовании и величине межзвездного поглощения и совершивший в 1836 г. одновременно с Ф. Бесселем первое прямое измерение расстояния до звезды α Лиры: «Впервые лот, заброшенный в глубины мирового пространства, достиг дна»; при его участии было проведено градусное измерение дуги меридиана от побережья Ледовитого океана до устья Дуная. Аккуратность, объективность и прославленная точность работ пулковских астрономов обеспечила им высочайший авторитет в области астрометрии, результаты их работ широко использовались учеными всего мира. В течение XIX в. российскими учеными (И. Г. Медлером и др.) было разработано несколько проектов календарей точнее и удобнее юлианского, но их реализации и введению григорианского календаря воспрепятствовал священный Синод.

В 1884 г. в Вашингтоне состоялась международная конференция по введению единого поясного времени (С. Флешинг) и единого начального меридиана.

Бурно развивалась наблюдательная астрономия. Росло количество обсерваторий, особенно в Европе и России, появились первые обсерватории в южном полушарии (Дж. Гершель, В. Лассаль и др.). Увеличивалось число и мощность телескопов; их объективы стали изготавливать из различных сортов стекла. В 1842 г. У. Парсонс (Росс) построил крупнейший в XIX в. 2-метровый рефлектор; в 1861 г. 122-см рефлектор построил В. Лассаль. Развитие физики привело к появлению новых методов и инструментов астрономических исследований: в 1836 г. Дж. Гершель начал фотометрические наблюдения звезд, а в 1840 г. сделал попытку наблюдений Солнца в инфракрасном диапазоне; в 1841-1845 гг. У. Бонд и Дж. Бонд (США) начали первые фотографические наблюдения; в 1874 г. был опубликован первый фотографический атлас Луны; проводилось визуальное и фотографическое фотометрирование светил.

Подлинную революцию в астрофизике произвело открытие Р. Бунзеном и Г. Кирхгофом в 1859-62 гг. основ спектрального анализа, позволяющего устанавливать все основные физические характеристики космических тел. Первые спектральные наблюдения Солнца провел в 1814 г. И. Фраунгофер, в 1860 г. В. Хэггинс начал спектроскопические наблюдения звезд и уже в 1863 г. А. Секки предложил их первую спектральную классификацию. В 1868 г. Н. Локьер открыл на Солнце новый химический элемент – гелий. Создание протуберанц-спектроскопов и спектрогелиографов позволило подробно изучать атмосферу Солнца и происходящие в ней процессы. В 1869 г. Дж. Лейн публикует первую теорию внутреннего строения Солнца. К концу XIX в. были проведены первые спектральные исследования планет Солнечной системы и их спутников. Был исследован химический состав метеоритов. Классифицированы и изучены десятки переменных звезд. Г. Гельмгольц и У. Кельвин предложили гипотезу о том, что в основе энергетики Солнца лежит его гравитационное сжатие. Спектральный анализ подтвердил сходство химического состава космических объектов, Земли и Солнца, доказывающее материальное единство Вселенной. Исследования А.М. Ляпунова и А. Пуанкаре стали фундаментальными основами аналитических и качественных методов исследований в небесной механике XX в.

В начале XX в. астрофизика стала одним из основных разделов астрономии. За 50 лет спектральных, фотографических и фотометрических наблюдений при непрерывном увеличении мощности и числа инструментов (в первые десятилетия нового в. было построено несколько телескопов-рефлекторов с диаметром зеркала от 1 м до 2,5 м, астрономы накопили огромное количество данных о космических объектах, явлениях и процессах.

Вторая научная революция в истории естественных наук привела к полной замене классической гравитационно-космологической картины мира на новую.

В 1903 г. **К.Э. Циолковский** приступил к научной разработке основ космонавтики.

В 1905–1913 гг. **Э. Герцшпрунг** (Дания) и **Г. Рессел** (США) подвергли анализу огромный массив информации о звездах и, обобщив его, выявили основные закономерности в мире звезд, отразившиеся в известной диаграмме «спектр-светимость»; позднее были построены диаграммы «масса – светимость», «температура – светимость» и многие другие.

В 1908 г. Г. Ливитт открыл зависимость «период-светимость» у цефеид, позволившую определять расстояния до далеких звездных систем, содержащих цефеиды.

Экспериментальное доказательство давления света П.Н. Лебедевым позволило в 1910 г. объяснить существование кометных хвостов, зодиакального света, противостояния и других космических явлений и различий в химическом составе между планетами земной группы и планетами-гигантами.

Были открыты межзвездные линии поглощения в спектрах звезд (И. Гартман, 1904 г.), космические лучи (В. Гесс, В. Колхестер, 1912 г.), обнаружен первый белый карлик Сириус В (У. Адамс, 1915 г.), создана модель Галактики (Х. Шепли, 1918 г). Г. Рессел, А. Милн и С. Пейн применили к изучению звездных атмосфер теорию ионизации атомов М. Саха.

В 1915 г. **А.Л. Чижевский** начал многолетние исследования солнечно-биологических связей, заложив основы нового раздела астрономии – гелиобиологии.

Революция и гражданская война в России нанесли непоправимый ущерб развитию науки. Многие выдающиеся ученые (О.Л. Струве, Б. Шмидт, И.И. Сикора, а позднее, в 30-е годы – Г.А. Гамов, и другие) и их ученики, став эмигрантами, стали позже и гордостью науки – но не российской! Многие погибли или были лишены возможности заниматься наукой и мы никогда не узнаем, какую огромную пользу принесли бы они нашей стране и мировой науке. Остались нереализованными многие интереснейшие научные программы, не построен крупнейший в мире рефрактор с диаметром объектива свыше 1 м.

В то же время революция сделала астрономические и другие естественнонаучные знания достоянием широких народных масс: образованию и просвещению населения Советской России и развитию советской науки, в том числе астрономии, придавалось огромное значение. В 1918 г. страна перешла на григорианский календарь; в 1919 г. введено поясное время, в 1930 г. – декретное время; с 1929 по 1940 гг. последовало несколько попыток реформы календаря в интересах промышленности (5-ти и 6-дневная рабочая неделя; в году 12 месяцев по 30 суток и 5 праздничных дней и т.д.).

Дж. У. Джинс (1877-1946 гг., Англия) предположил, что энергетика звезд основана на ядерных процессах (аннигиляции вещества) и предложил расчет внутренних параметров звезд на основе решения основных уравнений молекулярно-кинетической теории. В 1916 г. он выступил с космогонической гипотезой о возникновении Солнечной системы в результате отделения от Солнца гигантского приливного выступа при прохождении вблизи другой звезды.

А. Эйнштейн (1879-1955 гг.) в 1916 г. завершил создание общей теории относительности (ОТО), ставшей фундаментом для создания релятивистской космологии и выявления самых общих свойств и закономерностей Вселенной. Она раскрывала неразрывную связь между пространством и временем, объясняла явление гравитации; геометрические свойства пространства объяснялись количеством, распределением и движением материи. Первым принципиально новым космологическим следствием явилось теоретическое обоснование идеи нестационарности Вселенной, осуществленное в 1922-24 гг. советским физиком **А.А. Фридманом** (1888-1925 гг.); на основе анализа основных уравнений ОТО о возможном изменении радиуса кривизны пространства во времени были разработаны возможные модели Вселенной: монотонно расширяющейся с некоторого точечного или конечного объема или пульсирующей. К тем же выводам в конце 20-х годов пришли бельгийский астроном Ж. Леметр, В. де Ситтер и А. Эддингтон.

А.С. Эддингтон (1882-1944 гг., Англия) в 1916-18 гг. сформулировал первую математическую теорию внутреннего строения звезд на основе термодинамической теории лучистого равновесия; в 1918-19 гг. строит первую теорию цефеид и при наблюдениях полного солнечного затмения получает первое доказательство теории Эйнштейна; в 1924 г. дает первое объяснение диаграмме Герцшпрунга-Рессела; последние годы жизни отдал разработке единой теории материи.

В 1918-1924 гг. был опубликован 9-томный каталог Гарвардской обсерватории со сведениями о спектрах 225300 звезд. В 1922 г. на первой Генеральной ассамблее Международного Астрономического Союза (МАС) был утвержден список из 88 созвездий небесной сферы; из них 51 созвездие имеет древнегреческое происхождение (указаны в каталоге Птолемея); 12 созвездий южного неба выделены П. Кейзером в 1595 г.; 3 созвездия введены П. Плациусом в 1598 г.; 7 созвездий созданы Я. Гевелием в 1690 г. и 14 южных созвездий выделены Н. Лакайлем в 1763 г. Современные границы созвездий были утверждены в 1928 г. на третьей Генеральной ассамблее МАС.

В 1925 г. выдающийся американский астроном **Э.П. Хаббл** (1889-1953 гг.) с помощью 258-см рефлектора, введенного в строй в 1917 г. и остававшегося на протяжении 33 лет крупнейшим телескопом мира, разрешил на звезды галактики М31 и М33. Он доказал гипотезу «островного» строения Вселенной, предложил первую морфологическую классификацию галактик и создал новый раздел науки – внегалактическую астрономию. 5 годами спустя **Я. Оорт** открыл дифференциальное вращение нашей Галактики.

В 1929 г. Э. Хаббл открыл «красное смещение» в спектрах далеких галактик – первое доказательство теории расширяющейся Вселенной, и сформулировал один из основных законов космологии (закон Хаббла). Одновременно в СССР Б.А. Воронцов-Вельяминов окончательно доказал существование поглощения света во Вселенной.

В 1923 г. в Женеве при Лиге Наций был создан Международный Комитет для подготовки Всемирного неизменного календаря. В 1931 г. Всемирная ассоциация по календарю провела международное совещание по этой проблеме. Учеными разных стран были разработаны многочисленные проекты точных «вечных» календарей. В 1937 г. на обсуждение Комитета лучшим был признан проект французского 12-месячного календаря, одобренного Международным астрономическим союзом и правительствами 70 государств. Введению нового Всемирного календаря помешало сопротивление католической церкви и Вторая мировая война.

В 1930 г. после многолетних поисков на основе точнейших расчетов П. Лоуэлла его ученик американский ученый К. Томбо открыл планету Плутон. К. Янский (США) открыл космическое радиоизлучение центра Галактики.

Б. Шмидт и Д.Д. Максудов создали новые зеркально-линзовые системы телескопов, сочетающие в себе достоинства рефракторов и рефлекторов.

Ф. Цвикки, В. Бааде, Г. Минковский выделили Сверхновые в отдельный класс звезд и начали их изучение, предположив, что при их вспышках образуются нейтронные звезды.

В 1937-1939 гг. К. Вейцеккер, Г. Бете, Г.А. Гамов, К. Кричфилд, Э. Теллер открыли протон-протонный и азотно-углеродный циклы термоядерного синтеза; Г. Бете (США) разработал первую теорию термоядерных реакций в недрах звезд, как основы их энергетики, а Г.А. Гамов в 1946 г. построил первую теорию эволюции звезд.

Теория о формировании Солнечной системы из вещества газопылевой туманности разрабатывалась советским ученым О. Ю. Шмидтом и уточнялась позднее А. Камероном, Э. Шацманом и другими учеными.

В Советском Союзе в конце 30-х годов в результате массовых репрессий пострадали многие ученые; был уничтожен почти весь научный состав Пулковской обсерватории (Б.П. Герасимович, М.И. Идельсон, Б.В. Нумеров, В.П. Цесевич и другие); усилилась идеологизация науки.

Многие молодые ученые погибли на фронтах Великой Отечественной войны.

В начале 50-х годов восстанавливаются разрушенные войной обсерватории Советского Союза, Восточной и Западной Европы, строятся новые, вступают в строй новые телескопы. На Земле стало свыше 20 телескопов с диаметром объектива свыше 1 м, используемых в основном для астрофизических внегалактических наблюдений; в 1948 г. в США в обсерватории Маунт-Паломар установлен мощнейший для того времени 5-метровый рефлектор.

Вопрос о реформе календаря неоднократно рассматривался ООН (1949, 1953, 1954, 1957 гг. и т.д.). Наилучшим оказался проект, рекомендованный к рассмотрению Генеральной Ассамблеи ООН в 1954 г.: при схожести с григорианским календарем он проще и удобнее его. Проект был одобрен СССР, Индией, Китаем, Францией и значительной частью государств Европы, Азии и Южной Америки. Против него по религиозным и политическим соображениям выступили США, Великобритания и некоторые другие государства.

Итогом развития науки и техники первой половины XX в. стало создание новых методов и инструментов астрономических исследований, обусловивших III астрономическую революцию и новый качественный скачок в познании Вселенной.

Развитие радиофизики привело к коренному усовершенствованию приемно-передающих устройств и обусловило появление нового раздела науки – радиоастрономии. В 1942 г. открыто радиоизлучение Солнца (Дж. Хей, Дж. Саутуорт, Г. Ребер) В 1943 г.

Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси (СССР) обосновали возможность радиолокации космических тел. В 1946 г. в Венгрии и США осуществлена первая радиолокация Луны и открыты космические радиоисточники (Дж. Хей, С. Парсонс, Дж. Филлипс). В 1951 г. обнаружено радиоизлучение межзвездного водорода; начались наблюдения космических радиоисточников и метеоров. 1955 г. стал годом рождения нейтринной астрономии. Аппаратура для исследования космических лучей устанавливалась на борту высотных ракет и аэростатов.

Продолжались исследования природы нашей Галактики: В. Бааде в 1944 г. выделил в 2 основных типа звездного населения. Советские ученые А.А. Калиняк, В.И. Красовский, В.Б. Никонов при наблюдениях в ИК-диапазоне открыли и исследовали ядро Галактики. Б.В. Кукаркин на основе изучения переменных звезд выделил в Галактике различные подсистемы. В.А. Амбарцумян открыл звездные ассоциации как отдельный класс звездных систем, существование которых свидетельствует о продолжающихся процессах звездообразования в нашей Галактике. В 1951-1954 гг. была установлена спиральная структура Галактики.

В 1952-1959 гг. В.А. Амбарцумян провел изучение активных ядер галактик, а Б.А. Воронцов-Вельяминов исследовал взаимодействующие галактики.

К 1956 г. было завершено создание основ теории звездной эволюции. С. А. Жевакин разработал теорию цефеид.

4 октября 1957 г. запуск первого в мире советского искусственного спутника Земли ознаменовал начало космической эры астрономических исследований. При помощи космических аппаратов был сделан ряд важных астрономических открытий, включая наличие у Земли радиационных поясов, исследована природа Луны, Венеры и Марса.

Были открыты источники космического рентгеновского и гамма-излучения; квазары (М. Шмидт, 1963 г.), нейтронные звезды – пульсары (Э. Хьюиш, Дж. Белл, 1967 г.). Открытие реликтового излучения А. Пензиасом, Р. Уилсоном в 1965 г. доказало истинность космологической теории «Большого Взрыва».

С развитием ядерной физики во второй половине XX в. получили полное объяснение диаграммы «спектр-светимость»; «масса – светимость», «температура – светимость» и другие закономерности в основных физических характеристиках, строении, составе, происхождении и эволюции звезд.

Происхождение химических элементов в результате термоядерных реакций в недрах звезд объяснили исследования Дж. и М. Бэрбидж, У. Фаулера, Ф. Хойла и Л. Камерона. В начале 60-х годов модели образования звезд были разработаны Ч. Хаяши и Д. Накано и были уточнены Р. Ларсоном и В. Чарнутером.

Разрабатывались и широко внедрялись новые методы и инструменты астрономических исследований (фотоэлектронная аппаратура, телекамеры, ПЗС-матрицы). Улучшилось оснащение обсерваторий Советского Союза, введены в строй новые мощные телескопы. В 1976 г. в СССР был построен и установлен в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР (САО) близ станции Зеленчукской на Северном Кавказе 6-метровый рефлектор БТА.

Во второй половине XX в. над теорией возникновения и развития Метагалактики работали многие выдающиеся ученые: Г.А. Гамов, Я.Б. Зельдович, В.Л. Гинзбург, А.Д. Сахаров, И.М. Халатников, А.Л. Зельманов, А.Д. Линде, С. Хокинг и другие. Было доказано наличие «скрытой массы» в галактиках (1973-1974 гг.), появились первые «кандидаты» в черные дыры, доказано существование гравитационных волн (1976 г.). Одним из важнейших космологических открытий 70-х годов стало установление ячеистой структуры Метагалактики (М. Йыэвер, Я. Эйнасто).

В середине-конце 70-х годов теория формирования двойных звезд и планетных систем из вращающейся газопылевой туманности была проверена с помощью компьютерных моделей. Ее авторы: В. Чарнутер, К.-Х. Винклер, Г. Йорк, М. Ружичка. В начале 80-х годов с борта ИСЗ ИРАС были открыты протопланетные газопылевые диски у ряда звезд (β Живописца, Вега, Фомальгаут и т.д.). В настоящее время теория формирования планетных систем всесторонне разработана и близка к завершению, подтверждена данными наблюдений и результатами компьютерного анализа. Проблемы внутреннего строения, химической и тепловой эволюции Земли и других планетных тел Солнечной системы рассматривались советскими учеными Б.Ю. Левиным, В.С. Сафроновым, В.Н. Жарковым, Е.А. Любимовой, Г.В. Войткевичем и другими.

Введение в строй новых мощных астрономических инструментов (КТХ, 8-м и 10-м телескопов в обсерваториях США и Южного полушария) в 90-х годах породило новые астрономические открытия: черных дыр звездной и галактической массы, коричневых карликов (М. Хокинс, 1990 г.), внесолнечных планетных систем (А. Вольшан, Д. Фрейл, 1992 г.; М. Мейор и Д. Квелотц, 1995 г.); объектов пояса Койпера (Дж. Джевитт, Дж. Лу, 1992 г.), анизотропии реликтового излучения (ИСЗ СОВЕ, «Реликт») и т.д.

Более интересен семинар, на котором студенты в ходе беседы (фронтального обсуждения, диспута) знакомятся с доказательствами сферичности формы Земли, вращения Земли вокруг своей оси и обращения Земли вокруг Солнца.

Основой может стать проблемная ситуация, в которой преподаватель сообщает, что в США благоденствует общество сторонников плоской неподвижной Земли, вокруг которой вращается Солнце. В ФРГ (по данным Институтом демоскопии) 11 % населения уверены, что Земля является центром Вселенной, а Солнце и другие космические тела вращаются вокруг нее и еще 6 затрудняются с ответом; теорию Коперника считают неверной 24 % жителей. По нашим данным, около 10 % российских школьников возрастом 10-12 лет тоже считают, что Солнце вращается вокруг Земли.

Преподаватель задает вопрос: а вы, будущие учителя? Вы знаете, какую форму имеет Земля? Двигается ли она в пространстве, а если «да», то как? **Как вы можете доказать свое мнение?**

Для осознания важности проблемы следует попросить студентов припомнить и изложить суть гео- и гелиоцентрических систем мира, рассказать об их создателях, предпосылках создания, содержании и следствиях теорий, их основных достоинствах и недостатках. Еще лучше заранее дать задание нескольким студентам подготовить краткие сообщения на эту тему и дополнительными вопросами вызвать обсуждение этой темы всем классом.

При этом нужно обратить внимание студентов на необходимость избегать штампов при знакомстве с материалом, обозначенном в школьном курсе астрономии как «Борьба за научное мировоззрение», а проявлять объективность в определении отношений науки и церкви. Учитель должен помнить, что все ученые XV-XVIII вв. были искренне и глубоко религиозными людьми. Н. Коперник (каноник, т.е. настоятель Фромбургского монастыря) не мог бояться преследований со стороны инквизиции: его труды были с интересом приняты в Ватикане и плохо – другими учеными, поскольку расчеты движения планет «по теории Коперника» давали меньшую точность в предвычислении положений планет, нежели расчеты «по теории Птолемея». (Студенты должны ответить на вопрос: почему? Ответ: в теории Коперника планеты движутся равномерно по идеально круглым орбитам. На самом деле орбиты планет имеют форму эллипса, а скорости движения периодически изменяются). Труды Коперника были запрещены лишь в 1618 г., через 75 лет после его смерти по политическим причинам: шарообразность форма Земли тогда уже ни у кого не вызывали сомнений. Дж. Бруно сожгли в 1600 г. как еретика и политического противника католицизма: в это время церковь учение Коперника юридически не преследовала. Идеи сферичности Земли, движения Земли в пространстве, множественности обитаемых миров и бесконечности Вселенной за 100 лет до Коперника в середине XV в. пропагандировал Н. Кребс (Кузанский), один из высших церковных чинов.

Дальнейший материал обрабатывается в ходе беседы или диспута, причем роль преподавателя будет двойной. На начальном этапе он – «адвокат дьявола», показывающий студентам, что сферичность Земли и вращение ее вокруг своей оси и вокруг Солнца – вовсе не очевидные явления, их существование требует научного доказательства. В ходе обсуждения преподаватель должен комментировать и корректировать высказывания студентов, обобщать их, наталкивать на выводы.

Проведению дискуссии предшествует работа с используемыми терминами. Обучаемый должен указать основания и проговаривать этапы своего доказательства:

Предположение: «Земля вращается вокруг своей оси». *Предмет исследования:* Земля. *Что происходит с предметом исследования:* Земля что делает? – вращается. *Как это происходит?* – как вращается Земля? – вокруг (около) своей оси. *С чем это связано?* – С чем связано вращение Земли? – с осью Земли. *Ось принадлежит чему (кому?)?* – Земле. *Где это происходит?* – Где вращается Земля? – в космосе (во Вселенной). *Что значит «вращаться»?* – ...

По словарям и справочникам определяются понятия физики, необходимые для объяснения соответствующих природных явлений. В нашем случае это понятия и законы вращательного движения, изучаемого в рамках двух разделов механики: в кинematике рассматриваются характеристики вращательного движения; в динамике – причины и следствия вращательного движения.

На основе анализа соответствующих законов физики ученик делает вывод: «Вследствие вращения Земли должны происходить явления: ...».

Информация к семинару:

Сферичность формы Земли косвенно доказывается: 1) округлой формой земной тени во время полного лунного затмения (Фалес Милетский, около 600 г. до н.э.); 2) кругосветными путешествиями (первое, под командованием Ф. Магеллана в 1519-1522 гг.); 3) градусными измерениями на поверхности Земли при определении ее размеров (от Эратосфена во II в. до н.э. до В.Я. Струве и других ученых в XIX-XX вв.). Сферичность Земли окончательно доказывают ее фотографии из космоса.

Вращение Земли вокруг своей оси доказывается многими наблюдениями и физическими экспериментами, в том числе:

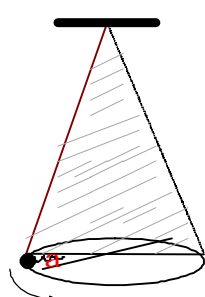


Рис. 18. Маятник Фуко

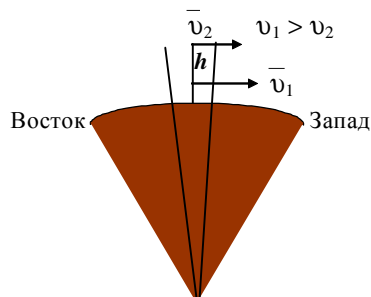


Рис. 19. Отклонение падающих тел к востоку

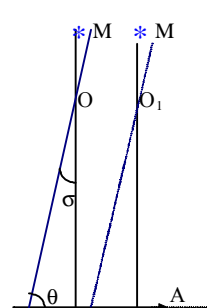


Рис. 20. Астрономическая абберация

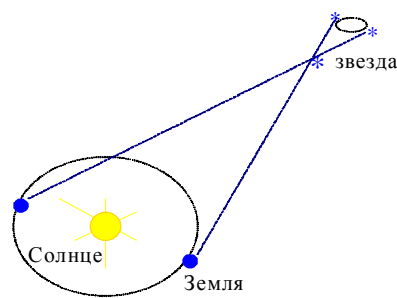


Рис. 21. Годичный параллакс

1. «Маятник Фуко». Из раздела физики «Механические колебания и волны» вам известно, что плоскость колебаний математического маятника есть величина постоянная. Опыт с маятником Фуко заключается в наблюдении кажущегося изменения плоскости колебаний математического маятника вследствие вращения Земли вокруг своей оси. Величина угла смещения маятника зависит от широты местности, увеличиваясь от 0° в час на экваторе до 15° в час на полюсах Земли; $a = 15^\circ \cdot \sin j$. В Ленинграде в здании Исаакиевского собора демонстрировался маятник Фуко длиной 98 м.

2. **Проявлениями действия силы инерции вращательного движения тел – силы Кориолиса** F_K : при любом движении тел во вращающейся системе сила Кориолиса направлена перпендикулярно оси вращения и скорости тел. $F_K = -m\omega \cdot (\omega^2 R_{\oplus} + 2u_0)$, где R_{\oplus} – радиус Земли, ω – угловая скорость вращения Земли; u_0 – скорость движения тела по поверхности Земли. Следствия:

Отклонение падающих тел к востоку, объясняемое тем, что с удалением точки от оси вращения Земли возрастает ее линейная скорость. Величина отклонения падающих тел в направлении вращения Земли определяется по формуле: $l = 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot h\sqrt{h} \cdot \cos j$, где h – высота, с которой падает тело, j – широта местности.

Закон Бэра: В северном полушарии сильнее подмываются водой, становятся крутыми и обрывистыми правые берега рек; в южном полушарии сильнее подмываются водой, становятся крутыми и обрывистыми левые берега рек. Пассаты – ветры, дующие от тропиков к экватору, в северном полушарии отклоняются к западу, в южном – к востоку. Воздушные массы в центре циклона и вода, вытекающая из ванны, закручиваются по спирали к центру: против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой стрелке в южном полушарии.

Вращение Земли вокруг своей оси и обращение Земли вокруг Солнца доказывает существование явлений суточных и годовых аббераций и параллакса звезд.

Абберация – кажущееся смещение положения светила на небосводе, возникающее за счет движения наблюдателя. Определяется как угол между видимым и истинным направлениями на светило вследствие сочетания скорости света и скорости наблюдателя. Различают **суточную абберацию**, возникающую в результате вращения Земли, и **годовую абберацию**, возникающую в результате вращения Земли вокруг Солнца: $s = 206265'' \frac{u}{c} \sin q$; $s_{\oplus} = 20,5'' \cdot \sin q$, где u – скорость наблюдателя, q – угловое расстояние видимого направления на светило от **апекса** – точки небосвода, в которую направлена скорость наблюдателя.

Апекс Солнечной системы находится в созвездии Геркулеса. Солнечная система перемещается относительно ближайших звезд со скоростью 20 км/с, и вместе с ними вращается вокруг центра Галактики, двигаясь со скоростью 250 км/с в направлении созвездия Цефея.

Параллактическим смещением называется изменение направления на объект при перемещении наблюдателя.

Параллакс – видимое ритмичное смещение относительно близких космических тел на фоне относительно далеких вследствие перемещения наблюдателя по поверхности Земли, вращения Земли вокруг оси (суточный параллакс) и вращения Земли вокруг Солнца (годовой параллакс).

Годичный или звездный параллакс заключается в видимом отображении годового движения Земли на небосводе. В геоцентрической теории Земля, являясь центром мира, неподвижна, и звезды сохраняют неизменным свое положение в небе; в гелиоцентрической теории при вращении Земли вокруг Солнца звезды на небе должны описывать крохотные окружности.

Другим эффективным способом проверки домашнего задания, проведения семинарских и практических занятий, когда обучаемые не только учатся аргументированно защищать свою точку зрения, но и рассматривать одну и ту же проблему с разных сторон, видеть в ней все положительные и отрицательные стороны, учитывать противоположные мнения людей, является «суд». Ученики по очереди выступают с докладами, сообщениями, результатами домашних заданий, проводят их «защиту» перед лицом своих товарищей; основные записи на доске делаются заранее. Класс анализирует их работу: один ряд последовательно критикует все основные положения выступления, другой ряд становится «защитниками» и последовательно защищает каждый «пункт обвинения», третий ряд «выносит приговор» по каждому пункту разбирательства. Каждый ученик работает со своим листом «обвинителя», «защитника» или «су-

дья». Затем, подводя итоги, от первого ряда выступает «генеральный обвинитель», от второго «общественный защитник», «главный судья» третьего ряда подводит итоги и оценивает работу. Педагог выступает в роли наблюдателя, комментатора и «верховного судьи». По окончании работы листы сдаются преподавателю для проверки и дополнительной оценки. На следующих занятиях ряды меняются ролями: «адвокаты» становятся «обвинителями» и т.д.

Лекция 3

Основы сферической астрономии

В число задач занятия входит не только формирование важнейших понятий астрометрии, но и отработка умений анализировать и давать определения научным понятиям, конспектировать лекционный материал, составлять опорные схемы. Методически оно остается «классической лекцией», но к чтению лекционного материала добавляется анализ понятий: «небесное светило», «небесная сфера» и «созвездие» на основе критериев, предъявляемых к определениям понятий.

Определение небесной сферы вначале дается с погрешностями:

«**Небесной сферой** называется воображаемая сфера произвольного радиуса, на которую проецируются изображения небесных светил так, как их видит наблюдатель в данный момент времени в данной местности». Ученики должны отметить и исправить тавтологию «проецируются изображения... светил» (варианты: проецируются космические тела», «наблюдаются небесные светила» и т.д.) и заменить размытую фразу «в данной местности» более точным выражением «в данной точке пространства».

• Основные круги, линии и точки небесной сферы

Небесные светила – проекции космических тел на небесную сферу.

Благодаря огромной удаленности от Земли небесные светила кажутся находящимися на одинаковом расстоянии от наблюдателя. Необходимость объяснения видимого движения и определения положения светил привела к возникновению понятия небесной сферы.

Небесной сферой называется воображаемая вспомогательная сфера произвольного радиуса, на которую проецируются все космические объекты так, как их видит наблюдатель в определенный момент времени из определенной точки пространства.

Помните! Небесная сфера является воображаемой и вводится как вспомогательное понятие, облегчающее определение положения и условий видимости небесных светил и нанесения их на звездную карту. Поскольку радиус Земли ничтожно мал по сравнению с размерами небесной сферы, мы можем в зависимости от целей решаемой нами задачи поместить в ее центр любую точку земной поверхности, центр Земли, всю Землю как материальную точку или Солнце (поэтому понятие небесной сферы находит свое применение в космонавтике для описания видимого движения космических аппаратов).

Небесная сфера разбита на 88 созвездий, различающихся по площади, составу, структуре (конфигурации ярких звезд, образующих основной узор созвездия) и другим особенностям.

Созвездие – основная структурная единица деления звездного неба – участок небесной сферы в строго определенных границах. В состав созвездия

включаются все светила – проекции любых космических объектов (Солнца, Луны, планет, звезд, галактик и т.д.), наблюдаемых в данный момент времени на данном участке небесной сферы. Хотя положение отдельных светил на небесной сфере (Солнца, Луны, планет и даже звезд) изменяется со временем, взаимное положение созвездий на небесной сфере остается постоянным.

Помните! Созвездие – это не «фигура из звезд», а участок небесной сферы со строго определенными границами – объекты созвездия физически никак не связаны между собой! На небесных картах границы созвездий указываются пунктирными линиями, а звезды в каждом из созвездий в зависимости от яркости обозначаются греческими и латинскими буквами. Самые яркие звезды имеют собственные имена.

Точки пересечения небесной сферы с отвесной линией, проходящей через ее центр, называются: верхняя точка – **зенитом** (Z), нижняя точка – **надиром** (Z'). Большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна к отвесной линии, называется **математическим**, или **истинным горизонтом**.

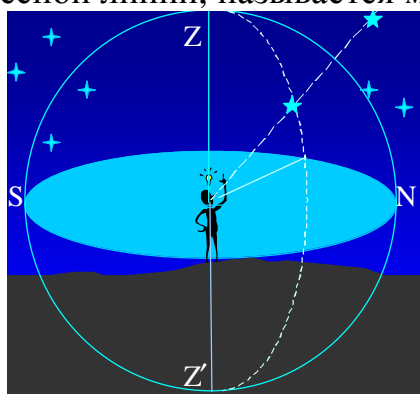


Рис. 22. Небесная сфера, Земля и наблюдатель

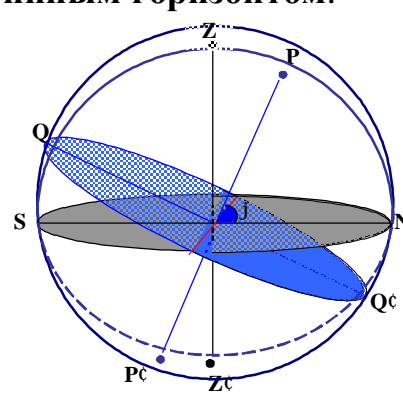
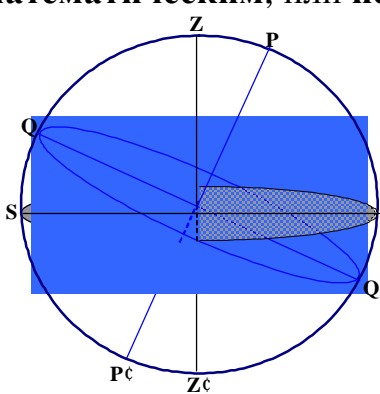


Рис. 23. Небесная сфера:

слева – «каноническое» изображение в плоскости небесного меридиана; справа – геометрически правильное изображение в ортогональной проекции

Десятки тысяч лет назад было замечено, что видимое вращение сферы происходит вокруг некоей невидимой оси. На самом деле видимое вращение неба с востока на запад является следствием вращения Земли с запада на восток.

Диаметр небесной сферы, вокруг которого происходит ее вращение, называется **осью мира**. Ось мира совпадает с осью вращения Земли. *Угол наклона оси мира к плоскости математического горизонта (высота полюса мира) равен углу географической широты местности.*

Точки пересечения оси мира с небесной сферой называются **полюсами мира**. Северный полюс мира находится в созвездии Малой Медведицы, в $0,51^\circ$ от звезды α Малой Медведицы, называемой «Полярная звезда». Южный полюс мира находится в малозаметном созвездии Октанта. Близость Полярной звезды к Северному полюсу мира позволяет ориентироваться и определять широту местности по наблюдениям Полярной звезды.

Большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, называется **небесным экватором** (QQ').

Большая окружность, проходящая через полюса мира и зенит, называется **небесным меридианом** ($PNQZP'SQZ$).

Плоскость небесного меридиана пересекается с плоскостью математического горизонта по прямой полуденной линии, которая пересекается с небесной сферой в двух точках: **севера** (*N*) и **юга** (*S*).

Видимое годичное движение Солнца на фоне звезд происходит по большой окружности небесной сферы – **эклиптике** (рис. 24). Направление этого медленного движения (около 1° в сутки) противоположно направлению суточного вращения Земли.

Ось вращения Земли имеет постоянный угол наклона к плоскости обращения Земли вокруг Солнца, равный $66^\circ 33'$. Вследствие этого угол e между плоскостью эклиптики и плоскостью небесного экватора для земного наблюдателя составляет: $e = 23^\circ 26' 25,5''$.

Точки пересечения эклиптики с небесным экватором называются **точками весеннего** (\wedge) и **осеннего** (\blacksquare) **равноденствий**. Точка весеннего равноденствия находится в созвездии Рыб (до недавнего времени – в созвездии Овна), дата весеннего равноденствия – 20(21) марта. Точка осеннего равноденствия находится в созвездии Девы (до недавнего времени в созвездии Весов); дата осеннего равноденствия – 22(23) сентября.

Точки, отстоящие на 90° от точек весеннего равноденствия, называются **точками солнцестояний**. Летнее солнцестояние приходится на 22 июня, зимнее солнцестояние – на 22 декабря.

• Системы небесных координат

Введение систем небесных координат породила практическая потребность людей в составлении точных географических, топографических и звездных карт, определении географических координат местности и точного времени. В силу аналогии небесных и географических координат наиболее важными построениями небесной сферы являются полюсы мира и небесный экватор. Обратите внимание на аналогии между: гринвичским меридианом и небесным меридианом (нулевым кругом склонений); земной и небесной (суточной) параллелями; географическим меридианом и кругом склонения светила; географической широтой и склонением; географической долготой и прямым восхождением. Но помните, что географические координаты рассматриваются для реальной земной поверхности, а небесные – для воображаемой небесной сферы.

Изменение небесных координат светил тесно связано с небесными явлениями. Так, в результате обращения Земли вокруг Солнца постоянно изменяются его экваториальные координаты на небесной сфере. Изменение склонения Солнца ведет к изменению его полуденной высоты, положения точек восхода и захода, продолжительности дня и ночи. Изменение прямого восхождения Солнца ведет к его перемещению по созвездиям Зодиака и изменению вида земного неба в течение года.

Для решения многих задач астрономии – определения географических координат местности и т.д. – нужно определять положение светила по отношению к горизонту – **горизонтальные координаты** светила.

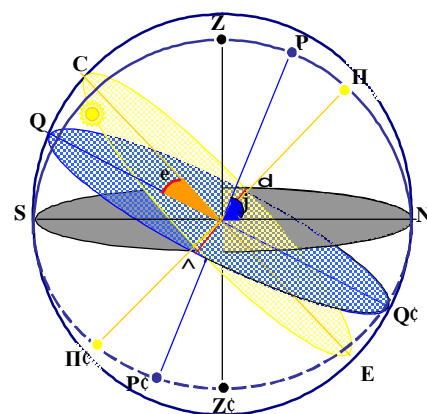


Рис. 24. Положение эклиптики на небесной сфере

В горизонтальной системе координат основной плоскостью является плоскость математического горизонта, отсчет ведется от зенита (z) или математического горизонта (h), и от одной из точек математического горизонта – точки юга.

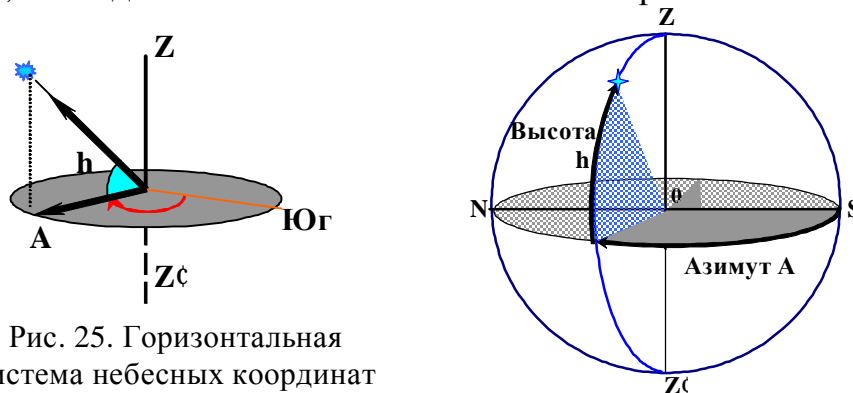


Рис. 25. Горизонтальная система небесных координат

Горизонтальная система координат:

- 1) h – **высота** светила над горизонтом; z – **зенитное расстояние** светила, $z = 90^\circ - h$;
- 2) A – **азимут** светила, отсчитывается к западу от точки юга.

Вследствие вращения небесной сферы горизонтальные координаты непрерывно меняются, поэтому вместе с горизонтальными координатами светила необходимо указывать время их определения.

Экваториальные системы координат определяют положение светила на небесной сфере и применяются: «первая» – для определения времени; «вторая» – для составления звездных карт и каталогов. Основной плоскостью является плоскость небесного экватора, отсчет ведется от полюса мира (P) или плоскости небесного экватора (d), и от одной из точек небесного экватора: в I-ой системе – от южной точки, во II-ой системе – от точки весеннего равноденствия.

I экваториальная система координат:

- d – **склонение** светила: угол между плоскостью небесного экватора и светилом;
- t – **часовой угол**: угол между плоскостью небесного меридиана и направлением на светило. Отсчитывается в сторону суточного вращения неба, выражается в градусах или часах и минутах.

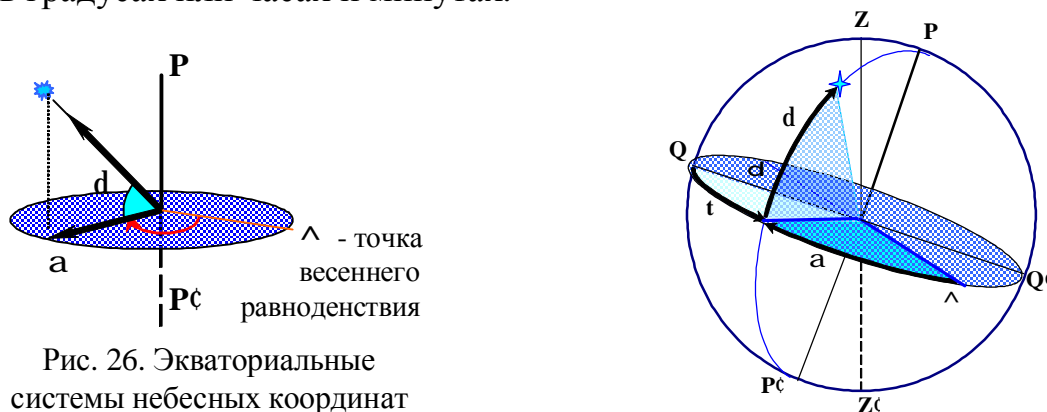


Рис. 26. Экваториальные системы небесных координат

II экваториальная система координат:

- d – **склонение** светила, P – **полярное расстояние**; $P = 90^\circ - d$;
- a – **прямое восхождение**: угол между точкой весеннего равноденствия и направлением на светило. Отсчитывается против часовой стрелки, выражается

в часах и минутах или в градусах. Разность прямых восхождений светил равна разности моментов их одноименных кульминаций.

Экваториальные координаты светил вычисляются путем сложных расчетов, переводящих значения горизонтальных координат с учетом времени наблюдения, получаемых в результате непосредственных астрономических наблюдений.

Для вычисления характеристик истинного движения космических тел в астрономии наиболее часто используются следующие системы координат: геоцентрическая (относительно центра Земли), бароцентрическая (относительно центра масс Солнечной системы) и (реже) гелиоцентрическая. Собственные движения звезд, определенные относительно далеких галактик, называют абсолютными. **Стандартная система** небесных координат определяется относительно расположения наиболее удаленных от Земли точечных источников излучения – квазаров.

• **Движение небесных светил.**

Условия наблюдения небесных светил и явлений

Видимость светил зависит от их небесных координат, положения наблюдателя на поверхности Земли и от времени наблюдения.

Кульминацией светила называется небесное явление прохождения светила через небесный меридиан. Ось мира делит небесный меридиан на 2 части – северную и южную. В северном полушарии в верхней кульминации светило пересекает северную часть небесного меридиана ближе к зениту; в нижней кульминации светило пересекает южную часть небесного меридиана ближе к надиру. Момент верхней кульминации Солнца называется истинным полуднем; момент нижней кульминации Солнца называется истинной полуночью.

Суточные движения светил совершаются по **суточным параллелям**.

На полюсах Земли суточные параллели светил (за исключением Луны и Солнца) параллельны математическому горизонту. Все светила (кроме Солнца и Луны) являются незаходящими или невосходящими. Небесный экватор параллелен (совпадает) с математическим горизонтом. Верхняя и нижняя кульминации совпадают (рис. 28а).

В средних широтах Земли небесный экватор пересекается с математическим горизонтом под углом: $90^\circ - j$ (рис. 28б). Для верхней кульминации к югу от зенита: $h = 90^\circ - j + d$; $z = j - d$.

Если склонение светила (угол между плоскостью небесного экватора и светилом): $d < -(90^\circ - j)$, то оно будет невосходящим.

Если склонение светила: $d > (90^\circ - j)$, оно будет незаходящим.

На экваторе Земли суточные параллели небесных светил перпендикулярны математическому горизонту. Все светила являются восходяще-заходящими. Верхняя кульминация происходит вблизи зенита, нижняя – вблизи надира (рис. 28в).

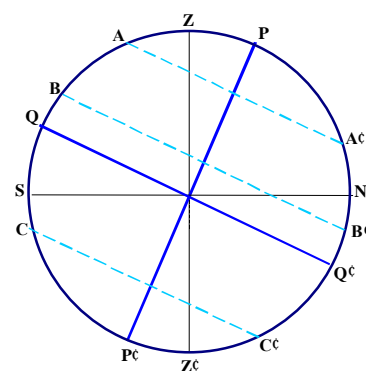


Рис. 27. Небесная сфера: суточные параллели светил: светила А, В, С в верхней кульминации; светила А', В', С' в нижней кульминации; светило А – восходящее и заходящее, светило В – незаходящее, светило С – невосходящее

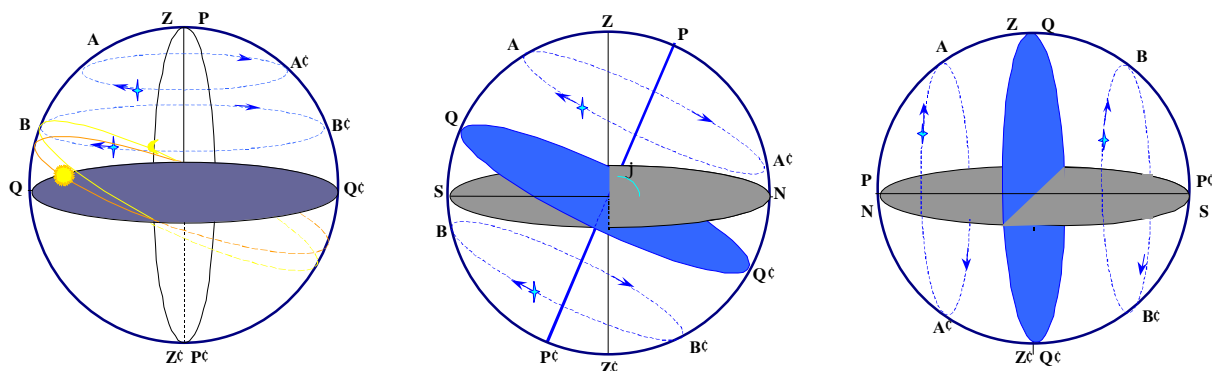
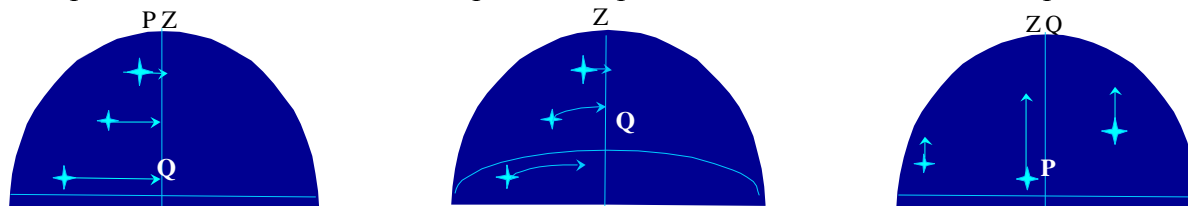


Рис. 28. Вид небесной сферы и условия видимости небесных светил из разных точек земной поверхности:
 а) Северный полюс Земли б) Средние широты Земли в) Экватор Земли



Условия видимости Солнца и смена времен года зависят от положения наблюдателя на поверхности Земли и от положения Земли на орбите.

Наземным наблюдателям кажется, что Солнце в течение года перемещается по небесной сфере вдоль эклиптики через 13 созвездий, называемых **зодиакальными** (Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей и Змееносец), а их совокупность – **Поясом Зодиака**. В каждом зодиакальном созвездии Солнце находится около 1 месяца (кроме Змееносца и Скорпиона). По традиции со времен Древнего Вавилона Змееносец не считается зодиакальным созвездием, хотя и лежит на эклиптике.

При этом происходят разнообразные небесные явления: постоянное изменение полуденной высоты, положение точек восхода и захода Солнца, продолжительности дня и ночи, изменяется вида звездного неба в течение года.

Движение Солнца по эклиптике является отображением вращения Земли вокруг Солнца. Эклиптика является проекцией плоскости земной орбиты на небесную сферу. Орбиты всех других планет лежат почти в той же плоскости. Поэтому видимое движение планет по небесной сфере будет осуществляться вдоль и вблизи эклиптики с переменной угловой скоростью и периодическим изменением направления движения.

Движение Солнца по эклиптике связано со сменой времен года. на Земле и климатическими поясами. В Северном полушарии астрономическая весна наступает с пересечением Солнцем небесного экватора 20 (21) марта. Пути Солнца над и под горизонтом равны, поэтому равны и продолжительность дня и ночи. 22 июня Солнце дальше всего от экватора к северу – день летнего солнцестояния, начало астрономического лета. 22 декабря в день зимнего солнцестояния Солнце отходит дальше всего к югу от экватора – день самый короткий, в полдень Солнце стоит низко над горизонтом, начало астрономической зимы.

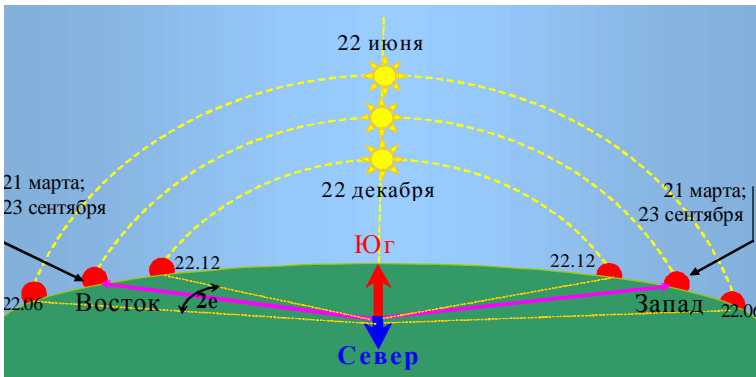


Рис. 29. Видимое перемещение Солнца по небу в течение года

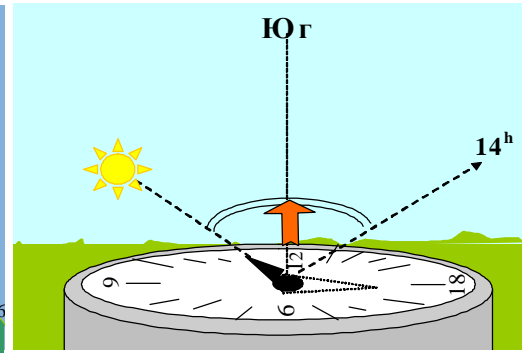


Рис. 30. Ориентация на местности по Солнцу с помощью ручных часов

Методы ориентации на местности по Солнцу:

В истинный полдень Солнце пересекает линию небесного меридиана, проекцией которого на плоскости математического горизонта является полуденная линия «север-юг». Ближайшей к Солнцу точкой горизонта является точка юга. Точное значение момента истинного полудня – верхней кульминации Солнца определяется по данным Астрономического календаря.

Приближенная ориентация по Солнцу при помощи наручных часов: циферблат располагается горизонтально так, чтобы часовая стрелка указывала на точку горизонта под Солнцем. Направление север-юг показывает биссектриса угла между этой стрелкой и направлением из центра циферблата к 13 часам зимой и к 14 часам летом.

Медленное конусообразное вращение земной оси с периодом 26000 лет под действием сил тяготения со стороны Луны и Солнца называется **прецессией**.

Прецессия меняет положение небесных полюсов. 2700 лет назад вблизи Северного полюса мира находилась звезда α Дракона, названная китайскими астрономами Царственной звездой. В настоящее время Полярной звездой является α Малой Медведицы. К 10000 г. Северный полюс мира сблизится со звездой Денеб, α Лебеда. В 13600 г. полярной звездой станет Вега, α Лиры.

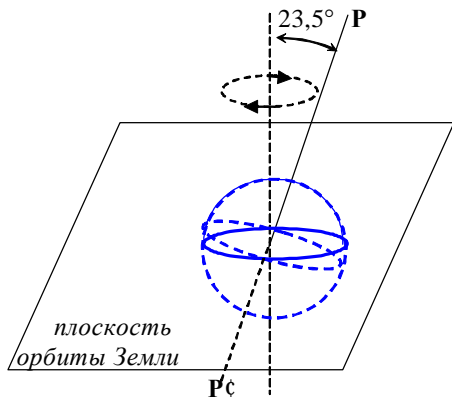


Рис. 31. Прецессионное движение земной оси PP'

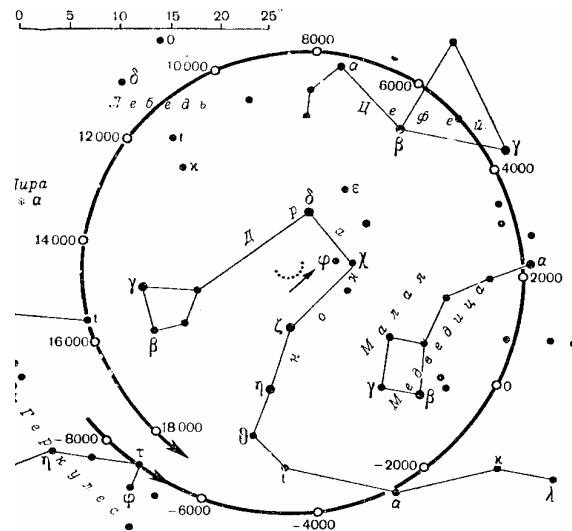


Рис. 32. Прецессионное движение Северного полюса мира

В результате прецессии точки весеннего и осеннего равноденствий, летнего и зимнего солнцестояний медленно перемещаются по созвездиям зодиакальным. 5000 лет назад точка весеннего равноденствия находилась в созвездии Тельца, затем переместилась в созвездие Овна, а сейчас находится в созвездии Рыб. Не знающие азов астрономии астрологи предлагают своим доверчивым читателям сведения, устаревшие на 2000 лет.

В конце занятия обучаемые – соседи по парте – проводят взаимную проверку конспектов (опорных схем) лекции.

Задание на дом:

1. Начать заполнение таблицы «Космические и небесные явления» на основе изученного материала:

| Космические явления | Небесные явления – следствия данных космических явлений |
|---------------------|---|
| | |

2. Составить тест, позволяющий определить качество усвоения материала занятия (задается впредь на всех занятиях).

3. Составить обобщенные планы по изучению космических и небесных явлений, космических объектов и космических процессов. За основу берутся обобщенные планы изучения основных групп понятий, разработанные академиком А.В. Усовой, распечатки которых даются каждой паре учащихся. Обучаемые могут использовать их при изучении любых предметов естественнонаучного цикла.

Обобщенный план изучения космических явлений:

1. Внешние признаки (описание) и геометрическая схема космического явления.
2. Условия протекания космического явления и факторы, на них влияющие.
3. Сущность явления и механизм его протекания (какие космические процессы или взаимодействие каких космических объектов порождают это явление, какие физические явления лежат в его основе; объяснение этих явлений с точки зрения современных физических теорий).
4. Определение космического явления.
5. Количественные характеристики космического явления.
6. Небесные явления, возникающие вследствие данного космического явления.
7. Влияние космического явления на геосферные процессы, техносферу, чел.о.
8. Использование космического явления человеком.
9. Способы предупреждения вредного действия явления на чел.о. и техносферу.

Обобщенный план изучения небесных явлений – упрощенный вариант изучения космических явлений:

1. Внешние признаки (описание) и геометрическая схема небесного явления.
2. Условия протекания небесного явления и факторы, на них влияющие.
3. Сущность явления и механизм его протекания (какие космические явления его порождают, какие физические явления лежат в его основе; объяснение этих явлений с точки зрения современных физических теорий).
4. Определение небесного явления.
5. Количественные характеристики небесного явления.
6. Использование небесного явления человеком.

Обобщенный план изучения космических объектов:

1. Внешние признаки (описание) космического объекта.
2. Основные качественные и количественные характеристики и свойства объекта (масса, размеры, плотность, температура, энергетика и т.д.).
3. Состав и строение объекта (у космических систем – их структурные элементы).
4. Основные этапы эволюции (происхождение, существование, взаимодействие с другими космическими объектами, развитие и т.д.)
5. Космические системы, в которые данный объект входит структурным элементом.

6. Место в классификации и в иерархии космических тел и их систем (тип, класс, группа объектов).

7. Определение космического объекта.

Обобщенный план изучения космических процессов:

1. Определение космического процесса.

2. Качественные и количественные характеристики и условия протекания.

3. Физическая сущность космического процесса (какие физические явления и процессы обусловили его возникновение и протекание).

4. Следствия космического процесса (влияние на возникновение и эволюцию космических объектов и на возникновение и протекание космических явлений).

5. Влияние космического процесса на основные геосферные процессы, возникновение и эволюцию жизни и разума на Земле и во Вселенной.

Лекция 4

Время и календарь

В число задач занятия входит не только формирование научного мировоззрения учащихся в ходе знакомства с системой понятий о методах и единицах измерения, счета и хранения времени, но и обучение работать с информацией: молодежь должна уметь критично воспринимать любые ее источники, анализировать содержание и структуру понятий, обнаруживать и исправлять ошибки в тексте и лекции преподавателя. Таким образом, мы можем определить занятие как «лекцию с ошибками», дополненную самостоятельной работой учащихся.

Поскольку одной из задач занятия является формирование умений анализировать информацию, обнаруживать и исправлять ошибки в тексте и лекции преподавателя, учащиеся предупреждают о необходимости быть внимательными. Все «ошибки» педагога, обнаруживаемые при сравнении материала лекции с данными учебника или справочника по астрономии (далее в материале лекции они выделены курсивом; правильный ответ – в квадратных скобках), ученики должны выписывать на левой половине отдельного листа. В конце занятия 5-7 мин. отводится на «работу над ошибками»: обучаемые должны будут исправить «ошибки» учителя, сделав соответствующие записи на правой половине листа, и объяснить причины появления этих ошибок. Результаты работы проверяются в ходе общего обсуждения.

При изложении материала нужно акцентировать внимание обучаемых на следующих положениях:

1. Продолжительность суток и года зависит от того, в какой системе отсчета рассматривается движение Земли (связана ли она с неподвижными звездами, Солнцем и т.д.). Выбор системы отсчета отражается в названии единицы счета времени.

2. Продолжительность единиц счета времени связана с условиями видимости (кульминациями) небесных светил.

3. Введение атомного стандарта времени в науке было обусловлено неравномерностью вращения Земли, обнаруженной при повышении точности часов.

4. Введение поясного времени обусловлено необходимостью согласования хозяйственных мероприятий на территории, определяемой границами часовых поясов. Широко распространенной бытовой ошибкой является отождеств-

ление местного времени с декретным временем.

Полезно задать ученикам на дом обобщение в форме таблиц наиболее важного лекционного материала. Например, «Календари»:

| Тип календаря | Космические явления, лежащие в основе счета времени | Небесные явления, по которым ведется отсчет времени | Соответствующие единицы измерения, их длительность | Достоинства календаря | Недостатки календаря |
|---------------|---|---|--|-----------------------|----------------------|
| | | | | | |

• **Время. Единицы измерения и счета времени**

Время выражает последовательную смену явлений и состояний материальных объектов, продолжительность их существования. Обладает свойствами: непрерывности; *3-мерности* [одномерности]; однородности; анизотропности; *обратимости* [необратимости].

Исторически все основные и производные единицы измерения времени определяются на основе астрономических наблюдений за протеканием небесных явлений, обусловленных: вращением Земли вокруг своей оси, вращением Луны вокруг Земли и вращением Земли вокруг Солнца. Для измерения и счета времени в астрометрии пользуются системами отсчета, связанными с теми или иными небесными светилами или определенными точками небесной сферы.

Первой единицей измерения времени свыше 50000 лет назад стали сутки.

Сутки – промежуток времени, в течение которого Земля делает один полный оборот вокруг Солнца [своей оси] относительно какого-либо ориентира.

Звездные сутки – период вращения Земли вокруг своей оси относительно неподвижных звезд. Определяется как промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия.

Истинные солнечные сутки – период вращения Земли вокруг своей оси относительно центра диска Солнца. Определяется как промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра диска Солнца.

Земля вращается вокруг Солнца по эллиптической (слегка вытянутой) орбите. Ось вращения Земли наклонена к плоскости земной орбиты под углом $23^{\circ}26'$. Поэтому скорость видимого движения Солнца по небесной сфере и продолжительность истинных солнечных суток будет постоянно изменяться на протяжении года: наиболее быстро вблизи точек равноденствий (март, сентябрь), наиболее медленно вблизи точек солнцестояний (июнь, январь).

Для упрощения расчетов времени в астрономии введено понятие средних солнечных суток – периода вращения Земли вокруг своей оси относительно «среднего Солнца» – воображаемой точки, равномерно перемещающейся по небесному экватору за тот же промежуток времени, за который истинное Солнце движется по эклиптике.

Средние солнечные сутки определяются как промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями «среднего Солнца».

Средние солнечные сутки на $3^m 55,009^s$ короче звездных суток.

$24^h 00^m 00^s$ звездного времени равны $23^h 56^m 4,09^s$ среднего солнечного времени.

Звездное, истинное и среднее солнечное «времена» согласуются между собой путем специальных расчетов. В повседневной жизни используется среднее солнечное время.

Звездные, средние солнечные и иные секунды мы получаем делением соответствующих суток на $86400 (24^h \times 60^m \times 60^s)$. Для теоретических расчетов в астрономии принята эфемеридная (табличная) секунда, равная средней солнечной секунде 0 января 1900 г. в 12 ч. равнотекущего времени, не связанного с вращением Земли.

С введением в 1967 г. атомного стандарта времени и Международной системы СИ в физике используется атомная секунда.

Определение точного времени, его хранение и передача по радио составляют работу **Службы Времени**, которая существует во всех развитых странах мира, в том числе и в России.

Около 35000 лет назад люди стали использовать новую меру времени – месяц.

Месяц – промежуток времени, в течение которого Луна делает один полный оборот вокруг Солнца [Земли].

Луна движется вокруг Земли в ту же сторону, в какую Земля вращается вокруг своей оси: с запада на восток. Отображением этого движения является перемещение Луны на фоне звезд навстречу вращению неба. Каждые сутки Луна смещается к востоку на 13° относительно звезд и за 27,3 суток совершает полный круг.

Сидерический (звездный) лунный месяц – период времени, в течение которого Луна совершает один полный оборот вокруг Земли относительно неподвижных звезд. Равен $27^d 07^h 43^m 11,47^s$

Синодический (календарный) лунный месяц – промежуток времени между двумя одноименными последовательными фазами Луны (обычно новолуниями). Равен $29^d 12^h 44^m 2,78^s$.

Фаза Φ небесного светила (Луны, планеты и т.д.) определяется отношением наибольшей ширины освещенной части диска d к его диаметру D : $\Phi = \frac{d}{D}$. Линия терминатора разделяет темную и светлую часть диска светила.

Совокупность явлений видимого движения Луны на фоне звезд и смены фаз Луны позволяет ориентироваться по Луне на местности. Луна появляется узеньким серпиком на востоке [западе] и исчезает в лучах вечерней зари [утренней зари] таким же узким серпом на

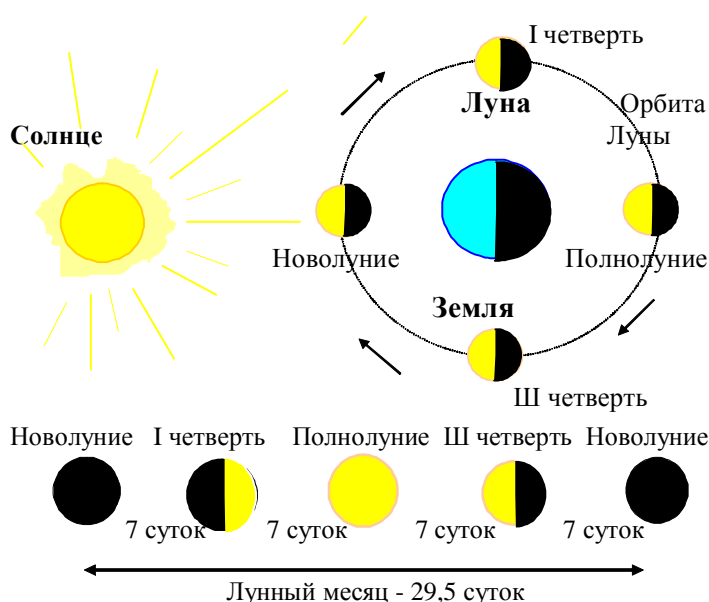
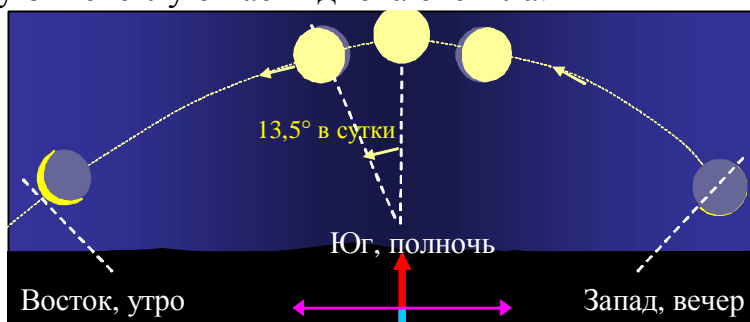


Рис. 33. Смена фаз Луны



Ориентация на местности по Луне

zanade [востоке]. Мысленно приставим слева к лунному серпу прямую линию. Мы можем прочесть на небе либо букву «Р» – «растет», «рога» месяца повернуты влево – месяц виден на западе; либо букву «С» – «стареет», «рога» месяца повернуты вправо – месяц виден на востоке. В полнолуние Луна в полночь видна на юге.

В результате наблюдений за изменением положения Солнца над горизонтом в течение многих месяцев возникла третья мера времени – **год**.

Год – промежуток времени, в течение которого *Солнце* [Земля] делает один полный оборот вокруг *Земли* [Солнца] относительно какого-либо ориентира (точки).

Звездный год – сидерический (звездный) период обращения Земли вокруг Солнца, равный 365,256320... средних солнечных суток.

Аномалистический год – промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Земли через избранную точку своей орбиты (обычно, перигелий), равен 365,259641... средних солнечных суток.

Тропический год – промежуток времени между двумя последовательными прохождениями среднего Солнца через точку весеннего равноденствия, равный 365,2422... средних солнечных суток или $365^d 05^h 48^m 46,1^s$.

Всемирное время определяется как местное среднее солнечное время на нулевом (Гринвичском) меридиане.

Поверхность Земли разбита на 24 участка, ограниченных меридианами – часовые пояса. Нулевой часовой пояс расположен симметрично относительно нулевого (гринвичского) меридиана. Нумерация поясов дается от 0 до 23 с запада на восток. Реальные границы поясов совмещены с административными границами районов, областей или государств. Центральные меридианы часовых поясов отстоят друг от друга ровно на 15° (1 час), поэтому при переходе из одного часового пояса в другой время изменяется на целое число часов, а число минут и секунд не изменяется. Новые календарные сутки (и Новый год) начинаются на линии перемены даты (демаркационной линии), проходящей в основном по меридиану 180° восточной долготы вблизи северо-восточной границы Российской Федерации. Западнее линии перемены дат число месяца всегда на единицу больше, нежели к востоку от нее. При пересечении этой линии с запада на восток календарное число уменьшается на единицу, а при пересечении линии с востока на запад календарное число увеличивается на единицу, что исключает ошибку в счете времени при кругосветных путешествиях и перемещениях людей из Восточного в Западное полушария Земли.

Поясное время определяется по формуле:

$T_{II} = T_0 + n$, где T_0 – всемирное время; n – номер часового пояса.

Декретное время – поясное время, измененное на целое число часов правительственным распоряжением. Все государства Европейского Союза живут по средневропейскому времени I часового пояса. Для России равно $T_D = T_{II} + 1$.

Московское время – декретное время второго часового пояса (плюс 1 час): $T_M = T_0 + 3$ (часа).

Летнее время – декретное поясное время, изменяемое дополнительно на плюс 1 час по правительственному распоряжению на период летнего времени с целью экономии энергоресурсов.

• Календари. Летоисчисление

Календарь – непрерывная система счисления больших промежутков времени, основанная на периодичности явлений природы, особенно отчетливо проявляющейся в небесных явлениях (движении небесных светил).

Календари определяли время наступления сезонных изменений в природе: весны, лета, осени и зимы, периоды цветения растений, созревания плодов, сбора лекарственных трав, изменений в поведении и жизни животных, погоды, время земледельческих работ и позволяли регулировать и планировать жизнь и хозяйственную деятельность людей. С календарями неразрывно связана многовековая история человеческой культуры.

Основными типами календарей являются:

1. **Лунный** календарь, в основе которого лежит синодический лунный месяц продолжительностью 29,5 средних солнечных суток. Возник свыше 300 000 [30 000] лет назад. Год лунного календаря содержит 12 лунных месяцев по 30 (нечетные) и 29 (четные) суток в каждом. В лунном году 365 [354 (355)] суток, он на 1 сутки [11,25 суток] короче солнечного. Новогодняя дата не фиксируется (медленно перемещается из года в год). Лунный календарь принят в качестве религиозного и государственного в мусульманских государствах Афганистане, Ираке, Иране, Пакистане, ОАР и других. Для планирования и регулирования хозяйственной деятельности параллельно применяются солнечный и лунно-солнечный календари.

2. **Лунно-солнечный** календарь, в котором движение Луны согласовывается с годичным движением Солнца. Год состоит из 12 лунных месяцев по 29 и по 30 суток в каждом, к которым для учета движения Солнца периодически добавляются «високосные» годы, удлиненные на дополнительный 13-й месяц. «Простые» годы продолжаются 353, 354, 355 суток, а «високосные» – 383, 384 или 385 суток. Возник в начале I тысячелетия до н.э., применялся в Древнем Китае, Индии, Вавилоне, Иудее, Греции, Риме. В настоящее время принят в Израиле (начало года приходится на разные дни между 6 сентября и 5 октября) и применяется, наряду с государственным, в странах Юго-Восточной Азии (Вьетнаме, Китае и т.д.).

3. **Солнечный** календарь, в основу которого положен тропический год. Возник свыше 8000 лет назад в эпоху перехода от охоты и собирательства к земледелию и скотоводству. Принят в качестве мирового календаря.

Точность определения продолжительности года, начала основных сезонов и важнейших природно-хозяйственных событий зависела от точности определения дат весеннего и осеннего равноденствий, летнего и зимнего солнцестояний. Астрономически значимые направления точек восхода и захода Солнца (при ведении лунно-солнечного календаря – Луны и некоторых звезд) отмечались на местности мегалитическими постройками.

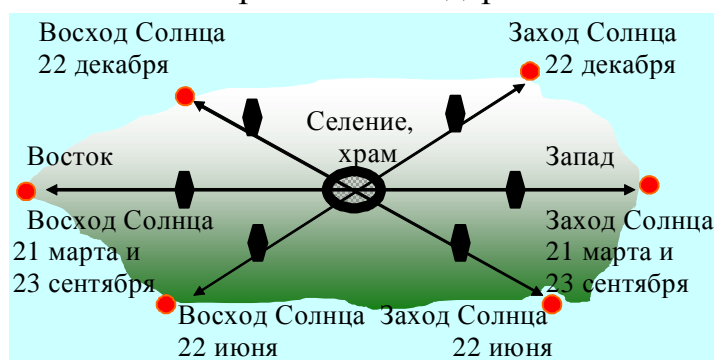


Рис. 35. Астрономически значимые направления для создания и ведения солнечного календаря

Юлианский солнечный календарь «старого стиля» содержит 365,25 суток. Разработан александрийским астрономом Созигеном, введен императором Юлием Цезарем в Древнем Риме в 46 г. до н.э. и распространился затем по всему миру. На Руси был принят в 988 г. н.э. В юлианском календаре продолжительность года определяется в 365,25 суток; три «простых» года насчитывают по 365 суток, один високосный – 366 суток. В году 12 месяцев по 30 и 31 день каждый (кроме февраля). Юлианский год *опережает тропический* [отстает от тропического] на 11 минут 13,9 секунды в год. За 1500 лет применения накопилась ошибка в 10 суток.

В **григорианском** солнечном календаре «нового стиля» продолжительность года составляет 365, 242500 суток. В 1582 г. юлианский календарь по указу Папы Римского Григория XIII был реформирован в соответствии с проектом итальянского математика Луиджи Лилио Гаралли (1520-1576 гг.). Счет дней передвинули на 10 суток вперед и условились каждое столетие, не делящееся на 4 без остатка: 1700, 1800, 1900, 2100 и т. д. не считать високосным. Тем самым исправляется ошибка в 3 суток за каждые 400 лет. Ошибка в 1 сутки «набегает» за 2735 лет. Новые столетия и тысячелетия начинаются с 1 января «первого» года данного столетия и тысячелетия.

В России до революции применялся юлианский календарь «старого стиля», ошибка которого к 1917 г. составляла 13 суток. В 1918 г. в стране был введен принятый во всем мире григорианский календарь «нового стиля» и все даты сдвинулись на 13 суток вперед.

Помимо этих основных типов календарей были созданы и в некоторых регионах Земли до сих пор применяются календари, учитывающие видимое движение планет на небесной сфере.

Восточный лунно-солнечно-планетный календарь основан на периодичности движения Солнца, Луны и планет Юпитера и Сатурна.

В 60-летнем цикле современного восточного календаря насчитывается 21912 суток. В этот промежуток времени укладывается два 30-летних цикла Сатурна, равных звездным периодам его обращения (≈ 30 лет), пять 12-летних циклов Юпитера, равных звездным периодам его обращения (≈ 12 лет) и пять 12-летних лунных циклов. Количество дней в году непостоянно; начало года в разных государствах приходится на различные даты с 13 января по 24 февраля. Возник в начале II тысячелетия до н.э. в Восточной и Юго-Восточной Азии. В настоящее время используется в Китае, Корее, Монголии, Японии и некоторых других странах данного региона. Текущий 60-летний цикл начался в 1984 г.

К началу XX в. рост международных научных, технических и культурно-экономических связей обусловил необходимость создания единого, простого и точного Всемирного календаря. Существующие календари имеют многочисленные недостатки в виде: недостаточного соответствия продолжительности тропического года и датам астрономических явлений, связанных с движением Солнца по небесной сфере, неравной и непостоянной продолжительности месяцев, несогласованности чисел месяца и дней недели, несоответствия их названий положению в календаре и т.д. Введение единого Всемирного вечного календаря остается одной из проблем современности.

Идеальный **вечный** календарь должен обладать неизменной структурой, позволяющей быстро и однозначно определять дни недели по любой календарной дате летоисчисления.

Один из наилучших проектов был рекомендован к рассмотрению Генеральной Ассамблеей ООН в 1954 г. В нем тропический год делится на 4 квартала по 91 сутки (13 недель). Каждый квартал начинается с воскресенья и кончается субботой; состоит из 3 месяцев, в первом месяце 31 сутки, во втором и третьем – 30 суток. В каждом месяце 26 рабочих дней. Первый день года всегда воскресенье. Проект не реализован по религиозным соображениям.

Начальная дата и последующая система летоисчисления называются **эрой**. Начальную точку отсчета эры называют ее **эпохой**.

С древних времен начало определенной эры (известно более 1000 эр в различных государствах различных регионов Земли, в том числе 350 – в Китае и 250 в Японии) и весь ход летоисчисления связывался с важными легендарными, религиозными или (реже) реальными событиями: временем царствования определенных династий и отдельных императоров, войнами, революциями, олимпиадами, основанием городов и государств, «рождением» бога (пророка) или «сотворением мира».

В Древней Греции счет времени велся по олимпиадам, с эпохи 1 июля 776 г. до н.э.

В Римской империи счет велся от «основания Рима» с 21 апреля 753 г. до н.э.

В Византийской империи и позднее, с принятия христианства, на Руси до указа Петра I (1700 г. н.э.) счет лет велся «от сотворения мира»: за начало отсчета была принята дата 1 сентября 5508 г. до н.э. (первый год «византийской эры»). Существовали и другие эры «от сотворения мира».

Рост культурно-экономических связей и широкое распространение христианской религии на территории Западной и Восточной Европы породили необходимость в унификации систем летоисчисления, единиц измерения и счета времени.

Современное летоисчисление – «**наша эра**», «**новая эра**» (н.э.), «эра от Рождества Христова» (**Р.Х.**), Anno Domini (**А.Д.** – «год господ») – ведется от произвольно выбранной даты рождения Иисуса Христа.

Поскольку ни в одном историческом документе она не указана, а Евангелия противоречат друг другу, византийский ученый монах Дионисий Малый решил «научно», на основе астрономических данных вычислить дату эпохи. В основу расчетов была положена: 28-летний «солнечный круг» – промежуток времени, за который числа месяцев приходятся точно на те же дни недели, и 19-летний «лунный круг» – промежуток времени, за который одинаковые фазы Луны приходятся на одни и те же дни месяца. Произведение циклов «солнечного» и «лунного» круга с поправкой на 30-летнее время жизни Христа ($28 \times 19 + 30 = 572$) дало начальную дату современного летоисчисления. Счет лет согласно эре «от Рождества Христова» «приживался» очень медленно: вплоть до XV в. н.э. (т.е. даже 1000 лет спустя) в официальных документах Западной Европы указывалось 2 даты: от сотворения мира и от Рождества Христова (А.Д.).

В мусульманском мире за начало летоисчисления принято 16 июля 622 г. нашей эры – день «хиджжры» (переселения пророка Мохаммеда из Мекки в Медину).

«Работа над ошибками»:

| Неверный вариант текста лекции | Исправленный вариант текста лекции | Причины ошибки |
|---|--|---|
| 1. Время обладает свойствами: <i>3-мерности; обратимости</i> | 1. Время обладает свойствами: одномерности; необратимости | Проверка внимательности; время перепутано с пространством; ошибка произношения слов |
| 2. Сутки – промежуток времени, в течение которого Земля делает один полный оборот вокруг <i>Солнца</i> | 2. Сутки – промежуток времени, в течение которого Земля делает один полный оборот вокруг своей оси | 1) перепутаны по смыслу слова «ось Земли» и «Солнце»; 2) перепутаны по смыслу понятия «сутки» и «год» |
| 3. Луна появляется узеньким серпиком на <i>востоке</i> и исчезает в лучах <i>вечерней зари</i> таким же узким серпом на <i>западе</i> | 3. Луна появляется узеньким серпиком на западе и исчезает в лучах утренней зари таким же узким серпом на востоке | 1) проверка внимательности; 2) ошибочная ориентация на местности и во времени |
| 4. Месяц – промежуток времени, в течение которого Луна делает один полный оборот вокруг <i>Солнца</i> | 4. Месяц – промежуток времени, в течение которого Луна делает один полный оборот вокруг Земли | 1) проверка внимательности; 2) перепутаны по смыслу слова «Земля» и «Солнце» |
| 5. Год – промежуток времени, в течение которого <i>Солнце</i> делает один полный оборот вокруг <i>Земли</i> | 5. Год – промежуток времени, в течение которого Земля делает один полный оборот вокруг Солнца | 1) проверка внимательности. 2) перепутаны по смыслу слова «Земля» и «Солнце». 3) автор определения – сторонник геоцентрической теории |
| 6. Лунный календарь возник свыше <i>300 000</i> лет назад | 6. Лунный календарь возник свыше 30 000 лет назад | 1) проверка внимательности; 2) ошибка произношения слов; 3) предполагается, что люди появились свыше 300 000 лет назад |
| 7. В лунном году <i>365</i> суток, он на <i>1</i> сутки короче солнечного | 7. В лунном году 354 (355) суток, он на 11,25 суток короче солнечного | 1) проверка внимательности; 2) ошибка произношения слов; 3) неверный расчет продолжительности лунного года. |
| 8. Юлианский год <i>опережает тропический</i> на 11 минут 13,9 секунды в году. | 8. Юлианский год отстает от тропического на 11 минут 13,9 секунды в год. | 1) проверка внимательности; 2) ошибка произношения слов; 3) неверное сравнение продолжительности юлианского и тропического года. |

Практическое занятие 4

Ознакомительные наблюдения звездного неба

Задачи: формирование системы практических знаний и умений:

- применять подвижную карту звездного неба, звездные атласы, Астрономический календарь для определения положения и условий видимости небесных светил и протекания небесных явлений;
- находить на небе Полярную звезду и ориентироваться по ней на местности;
- определять географические координаты местности по высоте (зенитному расстоянию) Северного полюса мира (Полярной звезды) и кульминациям звезд;
- находить на небе основные созвездия и наиболее яркие звезды, видимые в это время года в данное время в данной местности;
- определять блеск небесных светил по сравнению с блеском известных звезд.

Приборы и инструменты: подвижные карты звездного неба (у каждого ученика); атлас звездного неба А.А. Михайлова или А.Д. Марленского; Астро-

номический календарь на данный год; рамки для зарисовки созвездий, звездная указка; высотомер или школьный теодолит; бинокль или школьный телескоп; фонарик, часы, карандаш, бумага.

Методика проведения занятия:

Материала занятия лучше всего излагать в форме рассказа учителя или беседы (приводится ниже), в ходе которой он должен откликаться на вопросы обучаемых и сам задавать им вопросы и простейшие задания, позволяющие определить уровень и особенности их «донаучных» астрономических знаний и контролировать усвоение материала.

При рассказе о созвездиях нужно напомнить, что созвездие – это не «фигура из звезд», а участок небесной сферы со строго определенными границами и объекты созвездия физически никак не связаны между собой, правила обозначения звезд греческими и латинскими буквами в каждом из созвездий и о собственных именах наиболее ярких звезд. Учащиеся должны усвоить, что понятие «звездная величина» не имеет никакого отношения к размерам звезд.

• **Определение полюса мира и положения основных кругов, линий и точек небесной сферы:**

Задаем вопрос: «Кто знает, как найти в небе Полярную звезду?» Как правило, обучаемые этого не знают; большинство считает Полярную самой яркой из звезд. Преподаватель просит найти созвездие Большой Медведицы (большинство учащихся знают его под своим названием или как «Большой Ковш») и объясняет:

Для того чтобы найти Полярную звезду, нужно через звезды α и β Большой Медведицы (первые 2 звезды «ковша») мысленно провести прямую линию и отсчитать по ней 5 расстояний между этими звездами. В этом месте рядом с прямой мы увидим звезду, почти одинаковую по яркости со звездами «ковша» – это и есть Полярная звезда. Спрашиваем учащихся, поняли ли они как нужно находить в небе Полярную звезду и 2-3 раза повторяем вышеописанный способ.

Объясняем положение полюса мира и основных кругов, линий и точек небесной сферы. Моделью отвесной линии может служить отвес – нитка с привязанным грузом, мысленно удлиненная до бесконечности, упрется в небесную сферу в точке зенита. Отвесная линия приблизительно совпадает с продолжением радиуса Земли, а математический горизонт – с географическим горизонтом (нужно обязательно оговорить, почему абстрактный идеальный математический горизонт не совпадает с реальным географическим: по причине ограниченности размеров и кривизны поверхности сферичности Земли, явления рефракции и неровности краев физического горизонта). Напоминаем, что точка Северного полюса мира почти совпадает с Полярной звездой (отстоит от нее на $0,51^\circ$) – т.о., найдя в небе Полярную, мы находим тем самым положение Северного полюса мира. Спрашиваем, как определить стороны света? Ученики показывают: Полярная звезда находится на севере, значит повернувшись к ней спиной, мы будем смотреть на юг, слева от нас будет восток, справа – запад. Мысленно построим плоскость небесного меридиана: она пройдет через 3 точки: глаз наблюдателя, зенит и Северный полюс мира и пересечет горизонт в точках юга и севера. Линия, проходящая по земной поверхности от точки юга к точке севера, будет проекцией небесного меридиана – полуденной линией (желательно обозначить ее на земле мелом или мелкими камешками). Желательно, чтобы ученики при помощи компаса убедились в несовпадении сторон света, определяемых по компасу с истинными географическими сторонами света, и объяснить причины этого явления. Положение плоскости небесного экватора на небесной сфере ученики могут определить сами



Рис. 36. Ориентация на местности по Полярной звезде

при помощи своих подвижных карт звездного неба (по звездам вдоль линии небесного экватора на карте). Другой способ: ученик располагает прямоугольный треугольник (лист тетради или книгу) так, чтобы одна грань была нацелена на Северный полюс мира (Полярную звезду): тогда поворот нижней грани обозначит положение плоскости небесного экватора.

Наиболее простой способ определения географической широты с точностью до 1° состоит в определении высоты (зенитного расстояния) Полярной звезды с помощью простейшего угломерного прибора – высотомера или, что даст несколько более точный результат, при помощи школьного теодолита. Измерения следует повторить несколько раз, вычислить среднее значение и величину погрешностей.

- **Знакомство с основными созвездиями, наиболее яркими звездами и шкалой звездных величин. Наблюдения суточного вращения небесной сферы и кульминаций светил**

Обзор звездного неба дается на 15 сентября, 21 ч. На юге четко выделяются среди других три яркие звезды, которые часто называют Большим летне-осенним треугольником, потому, что лучше всего они видны летом и осенью. Этот треугольник образуют звезды трех созвездий: Лиры, Лебеда и Орла.

Верхний прямой угол летне-осеннего треугольника – звезда Вега, α Лиры. Вега – одна из красивейших звезд северного неба, первая звезда, до которой русский астроном В.Я. Струве в 1836 г. измерил расстояние – 26,1 св. лет. Вега – горячая белая звезда с температурой поверхности 10600 К. Вега в 3 раза больше Солнца по размерам. Вокруг нее газопылевой протопланетный диск – формирующаяся планетная система. Через несколько миллионов лет вокруг Веги будут вращаться планеты. Созвездие Лиры представляет собой скошенный четырехугольник из слабых звезд левее и чуть ниже Веги.

Верхний острый угол летне-осеннего треугольника – звезда Денеб, α Лебеда (переводится с арабского как «хвост» Лебеда). Денеб – горячий белый гигант с температурой поверхности 9800 К, в 35 раз больше Солнца по размерам и в 6000 раз по яркости. Крестообразный Лебедь, широко раскинув крылья, летит наискось вниз, к Земле. Древние греки говорили, что Лебедь – это сам бог Зевс в виде лебеда летит на свидание к своей земной любимой женщине. «Голова» Лебеда – красивейшая двойная звезда β Лебеда Альбирео.

Нижний острый угол летне-осеннего треугольника – звезда Альтаир, α Орла, одна из ближайших звезд (16,3 св. лет), горячая белая звезда ($T = 8400$ К) в 8 раз ярче Солнца и в 2,2 раза больше его по размерам. Орел в отличие от Лебеда летит вверх и несет в своем клюве пальмовую ветвь – символ победы (две слабые звездочки по обе стороны от «головы» Орла Альтаир). Четыре звезды ниже – распахнутые крылья и хвост Орла.

Над Лирой мы видим перекошенный четырехугольник Головы Дракона, а сам Дракон извивается по небу, обвиняя созвездия Малой Медведицы. Дракон – самое извилистое созвездие северного неба. Внутри летне-осеннего треугольника чуть видны созвездия Лисички, Стрелы и Дельфина.

Обратите внимание на некоторые другие летне-осенние созвездия:
На юго-востоке мы видим созвездие Пегаса – четыре звезды, образующие квадрат, в верхнем правом углу которого располагаются треугольником еще 3 слабые звезды, а от нижнего правого угла изгибается «крыло» из 4 звезд. Цепочка звезд, тянущихся из левого верхнего угла квадрата, является созвездием Андромеды. Левее и выше Андромеды восходит созвездие, очертаниями напоминающее перекошенный стул – созвездие Персея. Правее Персея созвездие Кас-

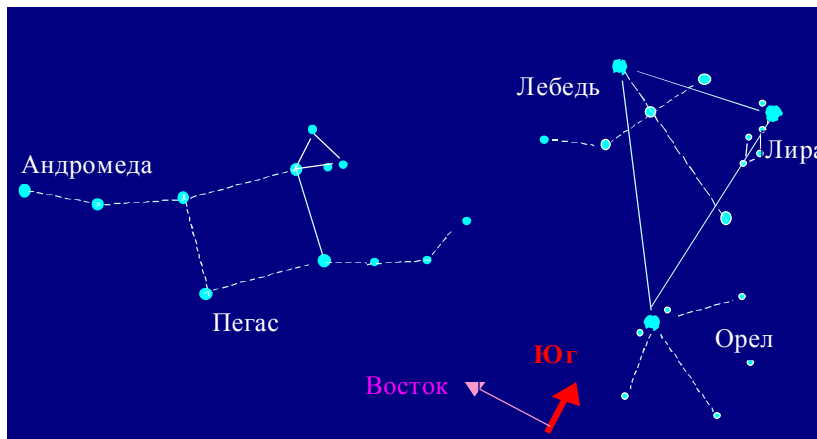


Рис. 37. Основные созвездия осеннего неба

сиопеи, похожее на перевернутую букву «М» (или на латинскую букву «W»). Созвездие Цефея представляет собой пятиугольник из слабых звезд правее и ниже Кассиопеи. Под Андромедой находится небольшое скромное созвездие Овна, состоящее из 3 звезд. Ниже расположены Рыбы, а еще ниже – созвездие Кита. В нем выделяется красноватая звезда о Кита Мира (по-латыни «Удивительная») – долгопериодическая переменная, изменяющая свой блеск в течении 332 суток в 28 000 раз. Между Пегасом и Орлом, ниже их – созвездия Водолея и Козерога. На северо-востоке невысоко над горизонтом горит яркая желтоватая звезда Капелла, α Возничего.

Знаете ли вы легенду о прекрасной Андромеде, ее родителях – хвастливой Кассиопее и нерешительном Цефее, страшном чудовище Ките, мужественном Персее и его крылатом коне Пегасе? Вот они, герои древнегреческих мифов, ставшие созвездиями темного осеннего неба и по-прежнему подмигивает глаз Медузы Горгоны – вторая снизу в правой «ножке» стула Персея изменяющая свой блеск затменно-переменная звезда Алголь, β Персея (по-арабски «Дьявол» или «глаз дьявола»). Желательно рассказать ученикам эту легенду или, еще лучше, попросить об этом кого-нибудь из них (задание можно дать заранее).

На юго-западе склоняется к горизонту «весеннее» созвездие Волопаса, напоминающее наклоненную к югу дубинку или кристалл, в основании которого сияет яркая звезда Арктур, α Волопаса. Арктур – оранжевый гигант в 26 раз крупнее Солнца, но холоднее его (около 5000 К); до него около 35,9 св. лет. Левее Волопаса – венок из звезд – созвездие Северной Короны. Между Северной Короной и Орлом – состоящее в основном из неярких звезд протяженное округлое созвездие Змееносца. Над ним, правее Лиры, напоминающее букву « χ » созвездие Геркулеса.

Задание: Запомните созвездия: Большая и Малая Медведица, Лира, Лебедь, Орел, Пегас, Андромеда, Персей, Кассиопея.

Широкая тускло-звездная полоса Млечного Пути протянулась по созвездиям Орла, Лебеда, Кассиопеи, Персея. В Млечном Пути сливается сияние миллиардов звезд нашего гигантской звездной системы – Галактики. Центр ее в созвездии Стрельца уже зашел за горизонт на юго-западе.

Взглянем еще раз на Большую Медведицу. Проверим Ваше зрение: видите ли вы маленькую звездочку рядом со второй «от хвоста» яркой звездой ξ Большой Медведицы? Если видите, то ваше зрение хорошее: еще древние арабские ученые проверяли на них зоркость своих учеников. Названия звезд – Мицар («Конь») и Алькор («Всадник»). Мицар является кратной звездой. По современным данным, от 50 % до 70 % звезд Галактики являются двойные системы, и около 10 % – кратными.

Обратите внимание на цвет звезд: у Веги, Денеб, Альтаир он голубовато-белый, у Капеллы желтоватый, у Арктура – оранжевый. Цвет звезды зависит от ее температуры: самые горячие звезды – голубые, самые холодные – красные. Солнце относится к классу желтых звезд с температурой поверхности 6000 К. Наши глаза по принципу контраста дополнительно усиливают различия в цвете звезд, несколько искаженном влиянием атмосферы.

Вы уже заметили, что одни звезды на небе светятся ярче других? Это потому, что звезды расположены на разных расстояниях от Земли, отличаются друг от друга по размерам и по температуре поверхности. Два тысячелетия назад древнегреческий ученый Гиппарх разделил звезды по степени яркости на 6 «звездных величин». Самые яркие назвали звездами первой величины, самые слабые – шестой величины. Одна звездная величина отличается от другой в 2,5 раза. Промежуток в 5 звездных величин соответствует 100-кратной разности в яркости звезд.

С изобретением телескопа люди смогли наблюдать еще более слабые звезды и уточнили шкалу звездных величин: звезды, в 2,5 раза слабее звезд шестой величины, названы звездами седьмой величины и т.д. В самые мощные телескопы современности наблюдаются объекты 28 звездной величины, в миллиарды раз слабее видимых невооруженным глазом.

Звезды в 2,5 раза ярче звезд первой величины назвали звездами «нулевой» величины, а еще более ярким присваиваются отрицательные значения: «-1» звездная величина, «-2», «-3» и так далее. Ярчайшая из звезд Сириус, α Большого Пса, имеет блеск $-1,2$ звездной величины. Луна в полнолуние имеет -12 звездную величину, Солнце $-26,8$ величину.

Задание: Определите яркость звезд Веги и Полярной, если Альтаир и Денеб – звезды первой величины.

Посмотрите: пока мы с вами разговаривали, звезды на востоке поднялись чуть выше, а на западе, наоборот, опустились ниже и некоторые из них зашли за горизонт. Как вы думаете, отчего это происходит?

Вращение звездного неба вокруг полюса мира с востока на запад вследствие вращения Земли вокруг своей оси с запада на восток удобно демонстрировать учащимся следующим образом. Наведем телескоп на какую-либо звезду вблизи небесного экватора – смещаясь к западу, звезда быстро уходит из поля зрения на восток (у телескопа перевернутое изображение); звезды вблизи полюса мира уходят из поля зрения телескопа намного медленнее.

Следует навести телескоп или бинокль на 2-3 яркие звезды (Вега, Капеллу, Арктур) и обратить внимание учащихся на цвет звезд и то, что в телескоп они становятся не крупнее, а ярче: телескоп не «увеличивает», а собирает свет и увеличивает угол, под которым наблюдаются космические объекты. Можно сказать ученикам, что звезды являются природными моделями точечных источников света, и даже в самый мощный телескоп они будут выглядеть яркими точками.

Желательно показать обучаемым вид в телескоп еще 2-3 объектов: двойных звезд (Мицар, β Лебеда, γ Андромеды) и звездных скоплений: рассеянного s и h Персея и шарового M13 (или M15).

Задания для работы с подвижной картой звездного неба:

1. Найти созвездия, о которых рассказывал педагог.
2. Определить, какие созвездия взойдут над горизонтом: через час; на рассвете.
3. Зарисовать (по группам) с помощью рамки для зарисовки созвездий следующие объекты: летне-осенний треугольник; Большую и Малую Медведицу; Пегаса и Андромеду; Кассиопею и Персея.
4. Определить, какая звезда кульминирует сейчас вблизи зенита; какие звезды находятся сейчас в верхней кульминации, а какие – в нижней кульминации.

Лабораторные работы для самостоятельного выполнения:

Определение координат местности по наблюдениям Солнца

Оборудование: гномон; мел (колышки); «Астрономический календарь», тетрадь, карандаш.

Порядок выполнения работы:

1. Определение полуденной линии (направления меридиана).

При суточном движении Солнца по небу тень от гномона постепенно меняет свое направление и длину. В истинный полдень она имеет наименьшую длину и показывает направление полуденной линии – проекции небесного меридиана на плоскость математического горизонта. Для определения полуденной линии необходимо в утренние часы отметить точку, в которую падает тень от гномона и провести через нее окружность, принимая гномон за ее центр. Затем следует подождать, когда тень от гномона вторично коснется линии окружности. Полученную дугу делят на две части. Линия, проходящая через гномон и середину полуденной дуги, будет полуденной линией.

2. Определение широты и долготы местности по наблюдениям Солнца. Наблюдения начинаются незадолго до момента истинного полудня, наступление которого фиксируется в момент точного совпадения тени от гномона и полуденной линии по хорошо выверенным часам, идущим по декретному времени. Одновременно измеряют длину тени от гномона. По длине тени l в истинный полдень к моменту его наступления T_d по декретному времени с помощью простых расчетов определяют координаты местности. Предварительно из соотношения $tg h_{\odot} = \frac{H}{l}$, где H – высота гномона, находят высоту гномона в истинный полдень h_{\odot} .

Широта местности φ вычисляется по формуле $j = (90^{\circ} - h_{\odot}) + d_{\odot}$, где δ_{\odot} – склонение Солнца.

Для определения долготы местности l используют формулу $l = 12^h + h + \Delta - T_d$, где n – номер часового пояса, η – уравнение времени на данные сутки (определяется по данным «Астрономического календаря»). Для зимнего времени $\Delta = n + 1$; для летнего времени $\Delta = n + 2$.

Лекция 5

Небесные явления

Лекционный способ подачи материала дополняется беседой с обучаемыми в начале и конце занятия: при заполнении на доске таблицы «Космические и небесные явления» на основе данных предшествовавшего домашнего задания учащихся (педагог называет космические явления, ученики перечисляют небесные явления – следствия данных космических явлений) и при составлении алгоритма работы с таблицами и обобщенных планов деятельности по изучению космических и небесных явлений.

Лекция должна сопровождаться демонстрацией цветных фотографий, слайдов (серия «Небесные явления», «Солнечные и лунные затмения») или видеоматериала о космических и небесных явлениях.

Небесные явления – наблюдаемые с поверхности Земли космические явления, возникающие при взаимодействии космических тел или вследствие воздействия космических процессов и явлений на Землю.

Многие небесные явления являются видимыми следствиями космических явлений вращения Земли вокруг своей оси, вращения Луны вокруг Земли и вращения Земли вокруг Солнца (см. табл. 1):

Таблица 1

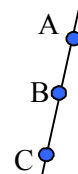
| Космические явления | Небесные явления, возникающие вследствие данных космических явлений |
|---------------------------------|---|
| Вращение Земли вокруг своей оси | 1. Суточное вращение небесной сферы вокруг оси мира с востока на запад. 2. Восход и заход светил. 3. Кульминация светил. 4. Смена дня и ночи... и т.д. |
| Обращение Луны вокруг Земли | 1. Видимое движение Луны по небесной сфере. 2. Смена фаз Луны. 3. Солнечные и лунные затмения ... и т.д. |
| Обращение Земли вокруг Солнца | 1. Годичное изменение вида звездного неба. 2. Годичное движение Солнца по эклиптике с запада на восток. 3. Изменение полуденной высоты Солнца над горизонтом в течение года. 4. Смена времен года ... и т.д. |

Многие небесные явления могут быть проиллюстрированы с помощью простейших геометрических построений:

1. Если небесное светило пересекает прямую, проходящую через два других небесных светила, или проходит вблизи нее на расстоянии, сравнимом с видимыми угловыми размерами этих светил, то в зависимости от названий светил (А, В, С), угловых размеров и расстояний между ними наблюдаются следующие небесные явления:

- затмения Солнца и Луны; затмения в системах планет-гигантов; изменение блеска затменно-переменных звезд;

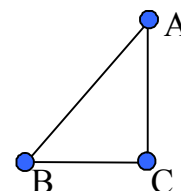
- покрытия звезд и планет Луной; покрытия в системах планет-гигантов; покрытия звезд планетными телами;



- прохождения Меркурия и Венеры по диску Солнца; прохождения спутников по диску планет-гигантов;

- конфигурации планет: верхнее и нижнее соединения, противостояния;
- фазы Луны: полнолуния и новолуния.

2. Если небесные светила находятся в вершинах прямоугольного треугольника ABC, или находятся вблизи его вершин на расстояниях, сравнимых с угловыми размерами светил, то в зависимости от названий светил (A, B, C), угловых размеров и расстояний между ними наблюдаются следующие небесные явления:



- конфигурации планет: западная и восточная квадратуры и элонгации внутренних планет;

- фазы Луны: I четверть и III четверть;
- годовые параллакс и абберация.

• Затмения, прохождения и покрытия небесных светил

В ходе затмений, покрытий и прохождений одно небесное тело частично или полностью перекрывает световой поток, исходящий от поверхности другого небесного тела вдоль прямой, проходящей через центры этих светил.

1. Если A – Земля, B – Луна, C – Солнце, то на Земле наблюдается **солнечное затмение**.

Солнечные затмения происходят в новолуние, когда тень Луны падает на Землю. Угловые размеры Солнца и Луны почти совпадают ($31^{\circ}31' \leq d_{\text{С}} \leq 32^{\circ}36'$; $29^{\circ}20' \leq d_{\text{Л}} \leq 33^{\circ}32'$), и при расположении центров Земли, Луны и Солнца на одной линии затмения Солнца будут полными ($d_{\text{С}} \leq d_{\text{Л}}$) или кольцеобразными ($d_{\text{С}} > d_{\text{Л}}$).

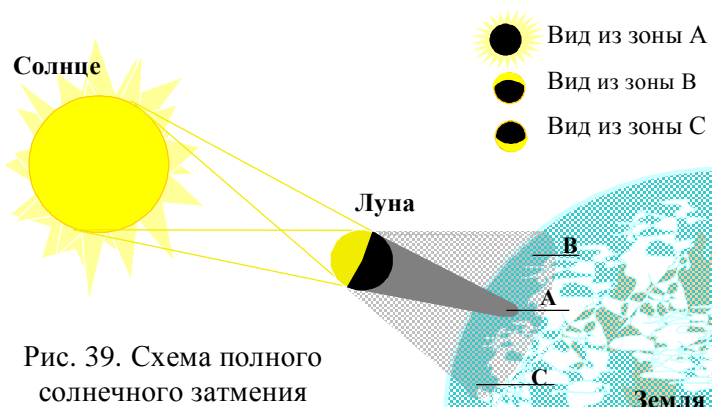


Рис. 39. Схема полного солнечного затмения

Лунная тень перемещается по поверхности Земли со скоростью 500-1000 м/с с запада на восток, образуя полосу затмения шириной от 40 до 200 км и длиной несколько тысяч километров, по обе стороны от которой в широкой зоне лунной полутени наблюдается частное солнечное затмение, в котором диск Луны закрывает от наблюдателя лишь часть солнечного диска.

Продолжительность полного солнечного затмения не превышает $7^{\text{м}} 31^{\text{с}}$.

Наблюдения солнечных затмений представляют большой интерес для науки: часто для наблюдений полных затмений снаряжаются экспедиции ученых разных стран мира. Важнейшими задачами наблюдений являются: уточнение теорий движения Земли и Луны, всестороннее изучение атмосферы Солнца, структуры и физических характеристик солнечной короны.

2. Если A – Луна, B – Земля, C – Солнце, то на Земле наблюдается **лунное затмение**. Лунные затмения происходят в полнолуние, когда Луна входит в тень Земли.

Диаметр земной тени на расстоянии лунной орбиты втрое превышает диаметр Луны и полные лунные затмения продолжаются до 1 часа 40 минут, наблюдаясь практически на всей территории ночного полушария Земли. Когда Луна скрывается в тени Земли близ ее края, лунное затмение будет частным; когда Луна скрывается в полутени Земли, затмение будет полутеневым (невидимым невооруженным глазом).

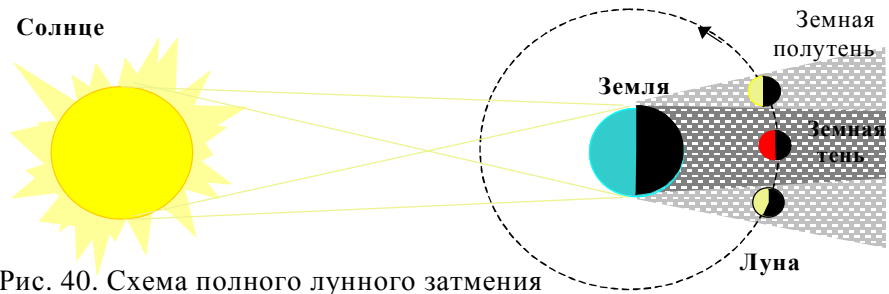


Рис. 40. Схема полного лунного затмения

Наблюдения лунных затмений позволяют уточнить характеристики движения Луны и Земли, исследовать некоторые свойства земной атмосферы.

Если бы Луна вращалась вокруг Земли в плоскости эклиптики, то солнечные затмения происходили бы каждое новолуние, а лунные в каждое полнолуние. Но плоскость лунной орбиты имеет наклон: $i = 5^{\circ}09'$ к плоскости эклиптики и затмения могут происходить лишь тогда, когда Луна пересекает плоскость эклиптики вблизи своего полнолуния или новолуния (проходит один из **узлов** своей орбиты).

Промежуток времени в 27,2122... сут., за который Луна возвращается к тому же узлу своей орбиты, называется **драконическим месяцем**.

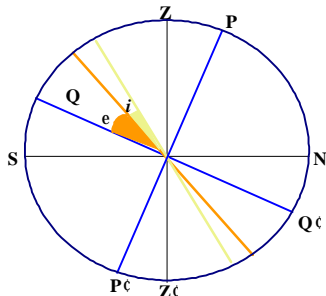


Рис. 41. Наклон лунной орбиты к плоскости эклиптики

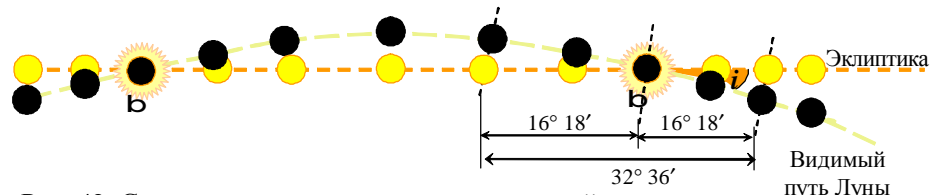


Рис. 42. Схема наступления солнечных затмений

Он короче сидерического месяца и поэтому каждые 27,2122 суток Луна пересекает эклиптику в $1,5^{\circ}$ западнее предыдущей: узлы лунной орбиты непрерывно перемещаются по эклиптике навстречу Солнцу.

Промежуток времени, за который центр диска Солнца проходит через один и тот же узел лунной орбиты, называется **драконическим годом**. $T_{\delta} = 346,62$ суток.

Все солнечные и лунные затмения периодически повторяются через сарос.

Сарос – промежуток времени, включающий целое число сидерических месяцев, драконических месяцев и драконических лет. Равен 18 годам 11,3 суткам ($10,3^d$).

Поскольку сарос не содержит целого числа суток, полоса затмения смещается по земной поверхности приблизительно на 120° .

Располагая данными об обстоятельствах предшествовавших затмений и саросе, можно путем относительно несложных вычислений предсказывать солнечные и лунные затмения на любой промежуток времени.

Ежегодно может произойти не менее 2 и не более 5 солнечных и не более 3 лунных затмений.

В первой половине XXI в. на территории России будут наблюдаться лишь три полных и кольцеобразных солнечных затмения (см. табл. 2):

Таблица 2

| Дата | Явление | Районы видимости в РФ |
|----------------|-----------------------------------|--|
| 1. 08.2008 г. | Полное солнечное затмение | Арктика, Западная Сибирь |
| 1. 06. 2030 г. | Кольцеобразное солнечное затмение | Юго-Восточная Европа, Южный Урал, Сибирь |
| 9. 04.2043 г. | Полное солнечное затмение | Магадан, Камчатка |

Ближайшие полные лунные затмения, которые можно будет наблюдать на территории России:

| Дата | Районы видимости в РФ |
|-----------------|---|
| 4. 05. 2004 г. | Европейская часть, запад, центр и юг Сибири |
| 28. 10. 2004 г. | Европейская часть России |

Затмения происходят в системах тесных двойных звезд при условии:

3. Если А – Земля, В и С – звезды, образующие двойную систему и вращающиеся вокруг общего центра тяжести в плоскости, параллельной к лучу зрения земного наблюдателя. Вследствие точечных угловых размеров светил затмения в системах звезд наблюдаются в виде периодических изменений блеска системы: звезда на небе периодически то становится ярче, то слегка «гаснет» (рис. 43).

Типичный представитель этого класса **переменных**, изменяющих свой блеск звезд – Алголь, *b* Персея, с периодом изменения блеска от 3,5^м до 2,3^м за 68 часов 49 минут. В переводе с арабского Алголь – «дьявол» или «глаз дьявола»: арабские астрономы открыли (но не могли объяснить) ее переменность около 2000 лет назад.

В настоящее время известно более 4000 **затменно-переменных звезд**.

Наблюдения затменно-переменных звезд позволяют определить размеры, массу, характеристики орбит звезд и получить ряд сведений об их физической природе.

Покрытия небесных светил наблюдаются при условии, когда видимые угловые размеры одного светила значительно превосходят угловые размеры другого светила:

4. Если А – Земля, В – Луна, С – звезда или планета, то на Земле наблюдается покрытие Луной этой звезды или планеты: светило скрывается за восточным краем Луны, чтобы спустя некоторое время вынырнуть из-за ее западного края. Наблюдения покрытий Луной звезд и планет помогают уточнить теорию движения Земли и Луны, в последнее время эти наблюдения стали привлекаться для прямых измерений размеров звезд.

Покрытия происходят также в системах планет-гигантов:

5. Если А – Земля, В – планета-гигант, С – звезда.

Эти явления происходят довольно редко и позволяют уточнить характеристики орбит планет. В 1976 г. при наблюдении покрытия Ураном звезды были открыты кольца планеты.

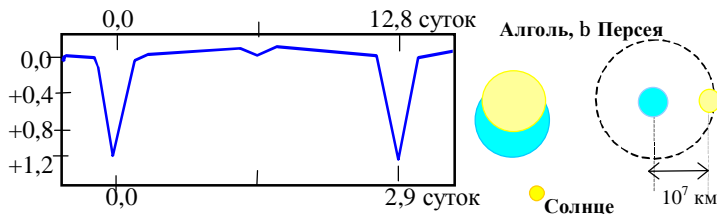


Рис. 43. График изменения блеска затменно-переменной звезды *b* Персея (если звезда А ярче звезды В, то наблюдается вторичный, слабый минимум блеска; если звезда В ярче А, наблюдается основной минимум блеска. При $A > B$ (по размерам) наблюдается кольцеобразное затмение, при $A \leq B$ наблюдается полное затмение в системе звезд А и В)

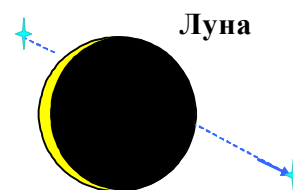


Рис. 45. Покрытие звезд и планет Луной

Прохождениями одного небесного светила по диску другого называются явления, при которых одно светило проецируется на диск другого, имеющего большие угловые размеры:

6. Если А – Земля, В – Меркурий или Венера, С – Солнце, то на Земле наблюдается прохождение Меркурия или Венеры по диску Солнца. Крохотный кружочек – диск планеты проползает по солнечному диску от восточного к западному его краю.

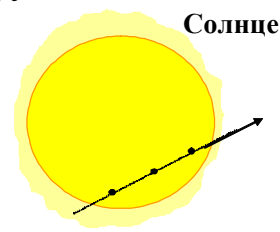


Рис. 44. Прохождение планеты по диску Солнца

Прохождения происходят и в системах планет-гигантов и в системах затменно-переменных (двойных звезд). Наблюдения прохождений позволяют уточнить характеристики движения космических тел. При наблюдениях прохождения Венеры по диску Солнца в 1761 г. М.В. Ломоносов открыл атмосферу Венеры. Прохождения Меркурия по диску Солнца происходят раз в 10,3; 13 и 7 лет, прохождения Венеры наблюдаются гораздо реже – раз в 121,5; 105,2 и 7 лет (циклами). Последние прохождения планет по диску Солнца: Меркурия 7 мая 2003 г., Венеры – 8 июня 2004 г.

• Видимое движение и конфигурации планет

Сложное видимое движение планет на небесной сфере обусловлено обращением планет Солнечной системы вокруг Солнца. Само слово «планета» в переводе с древнегреческого означает «блуждающая» или «бродяга».

Траектория движения небесного тела называется его **орбитой**. Скорости движения планет по орбитам убывают с удалением планет от Солнца.

По отношению к орбите и условиям видимости с Земли планеты разделяются на **внутренние** (Меркурий, Венера) и **внешние** (Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон).

Внешние планеты всегда повернуты к Земле стороной, освещаемой Солнцем. Внутренние планеты меняют свои фазы подобно Луне.

Плоскости орбит всех планет Солнечной системы (кроме Плутона) лежат вблизи плоскости эклиптики, отклоняясь от нее: Меркурий на 7° , Венера на $3,5^\circ$; у других наклон еще меньше.

Характерные взаимные положения Солнца, Земли и планет называются **конфигурациями**. Одинаковые конфигурации планет происходят в разных точках их орбит, в разных созвездиях, в разное время года.

Конфигурации, при которых внутренняя планета, Земля и Солнце выстраиваются по одной линии, называются **соединениями**.

7. Если А – Земля, В – внутренняя планета, С – Солнце, небесное явление называется **нижним соединением**. В «идеальном» нижнем соединении происходит прохождение Меркурия или Венеры по диску Солнца.

8. Если А – Земля, В – Солнце, С – внутренняя планета, явление называется **верхним соединением**. В «идеальном» случае происходит покрытие Солнцем планеты, которое, конечно, не может наблюдаться из-за несравнимой разницы в блеске светил.

Для системы Земля-Луна-Солнце в нижнем соединении происходит новолуние, в верхнем соединении – полнолуние.

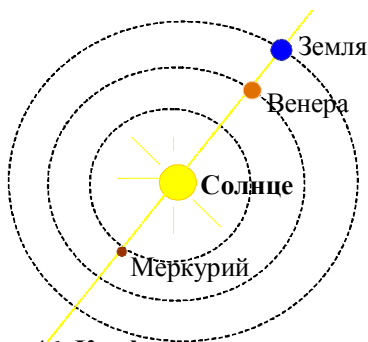


Рис. 46. Конфигурации планет: Земля в верхнем соединении с Меркурием, в нижнем соединении с Венерой и в противостоянии с Марсом

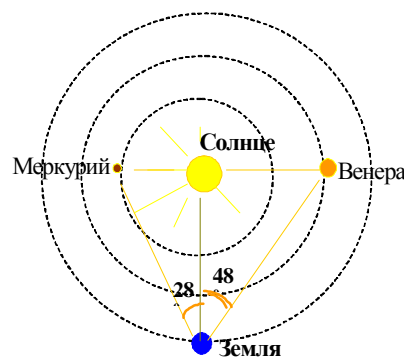
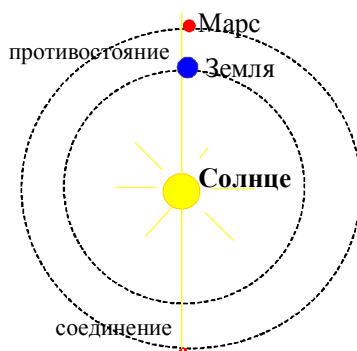


Рис. 47. Элонгации планет

Конфигурация, в которой Земля, Солнце и внутренняя планета располагаются в вершинах прямоугольного треугольника, называется **наибольшим удалением** или **элонгацией**. При этом угол между направлениями на Солнце и Меркурий может составлять от $17^{\circ}30'$ до $27^{\circ}45'$ (в зависимости от расстояния от Земли до Солнца и планеты). Угол между направлениями на Солнце и Венеру может составлять от 43° до 48° . В зависимости от положения планеты относительно солнца выделяют восточную и западную элонгации. Внутренние планеты могут наблюдаться только вблизи Солнца и только по утрам или вечерам, перед восходом или сразу после захода Солнца. Видимость Меркурия не превышает часа, видимость Венеры – 4 часов.

Конфигурации, при которой Солнце, Земля и внешняя планета выстраиваются на одной линии, называются:

- 1) если А – Солнце, В – Земля, С – внешняя планета – **противостоянием**;
- 2) если А – Земля, В – Солнце, С – внешняя планета – **соединением** планеты с Солнцем.

Конфигурация, в которой Земля, Солнце и планета (Луна) образуют в пространстве прямоугольный треугольник называется **квадратурой**: восточной при расположении планеты в 90° к востоку от Солнца и западной при расположении планеты в 90° к западу от Солнца.

Видимое движение небесных светил целиком складывается из:

- 1) перемещения наблюдателя по поверхности Земли;
- 2) вращения Земли вокруг Солнца;
- 3) собственных движений небесных тел.

Движение внутренних планет на небесной сфере сводится к их периодическому отдалению от Солнца вдоль эклиптики то к востоку, то к западу на угловое расстояние элонгации (см. рис. 48).

Движение внешних планет на небесной сфере носит более сложный петлеобразный характер. Скорость видимого движения планеты неравномерна, поскольку ее величина определяется векторной суммой собственных скоростей Земли и внешней планеты. Форма и размеры петли планеты зависят от скорости планеты по отношению к Земле и наклона планетной орбиты к эклиптике (см. рис. 49).

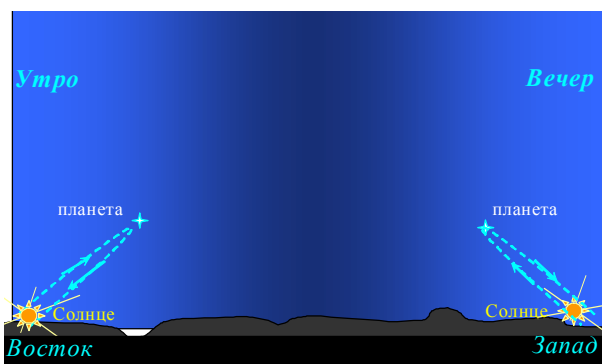


Рис. 48. Условия видимости внутренних планет

Сидерическим (звездным) периодом обращения планеты называется промежуток времени T , за который планета совершает один полный оборот вокруг Солнца по отношению к звездам.

Синодическим периодом обращения планеты называется промежуток времени S между двумя последовательными одноименными конфигурациями. С точки зрения физики за промежуток времени, равный синодическому периоду планеты, Земля обгоняет ее на 360° в движении вокруг Солнца, если это планета внешняя или отстает от нее на 360° , если планета внутренняя.

Синодический период обращения планеты определяется из наблюдений за ее видимым движением, сидерический – вычисляется по формулам.

Для нижних (внутренних) планет: $s = \frac{T \cdot T_{\oplus}}{T_{\oplus} - T}$. Для верхних (внешних) планет: $s = \frac{T \cdot T_{\oplus}}{T - T_{\oplus}}$

Продолжительность средних солнечных суток s для планет Солнечной системы зависит от сидерического периода их вращения вокруг своей оси t , направления вращения и сидерического периода обращения вокруг Солнца T .

Для планет, обладающих прямым направлением вращения вокруг своей оси (тем же, в котором они движутся вокруг Солнца): $s = \frac{T - t}{T \cdot t}$

Для планет, обладающих обратным направлением вращения (Венера, Уран): $s = \frac{T + t}{T \cdot t}$

• Атмосферные явления

На основе законов геометрической оптики – законов преломления света можно объяснить ряд небесных явлений.

Астрономическая рефракция – явление преломления (искривления) световых лучей при прохождении через атмосферу, вызванное оптической неоднородностью атмосферного воздуха.

Вследствие уменьшения плотности атмосферы с высотой искривленный луч света обращен выпуклостью в сторону зенита. Рефракция изменяет зенитное расстояние (высоту) светил по закону: $r = a \cdot \text{tg}z$, где: z – зенитное расстояние, $a = 60,25''$ – постоянная рефракции для земной атмосферы (при $t = 0^\circ\text{C}$, $p = 760$ мм. рт. ст.).

В зените рефракция минимальна: она возрастает по мере наклона к горизонту до $35'$ и сильно зависит от физических характеристик атмосферы: состава, плотно-

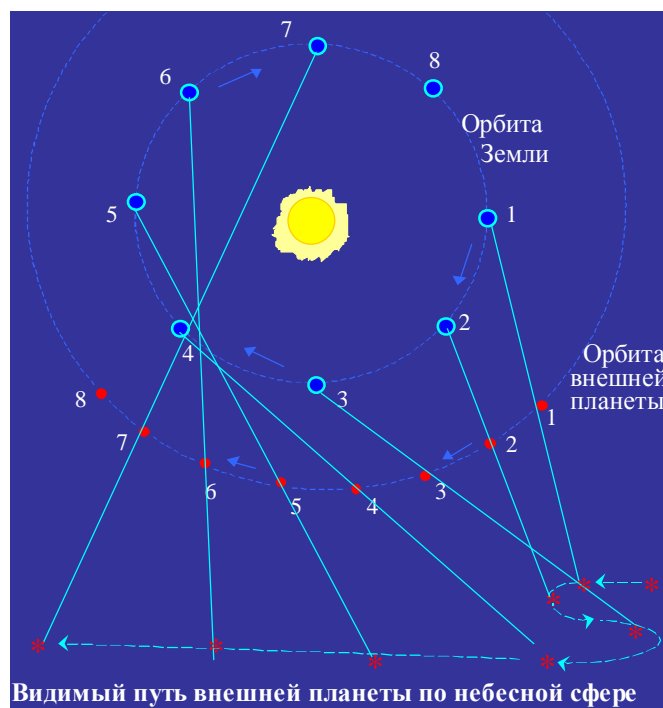


Рис. 49. Объяснение видимого петлеобразного движения внешних планет

сти, давления, температуры. Вследствие рефракции истинная высота небесных светил всегда меньше их видимой высоты: рефракция «поднимает» изображения светил над их истинными положениями. Искажаются форма и угловые размеры светил: на восходе и закате близ горизонта «сплющиваются» диски Солнца и Луны, поскольку нижний край диска поднимается рефракцией сильнее верхнего.

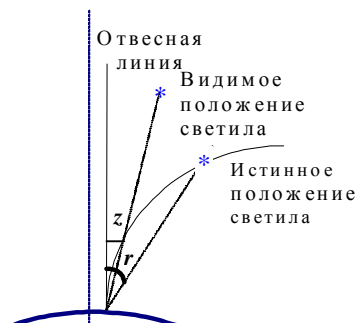


Рис. 50. Астрономическая рефракция

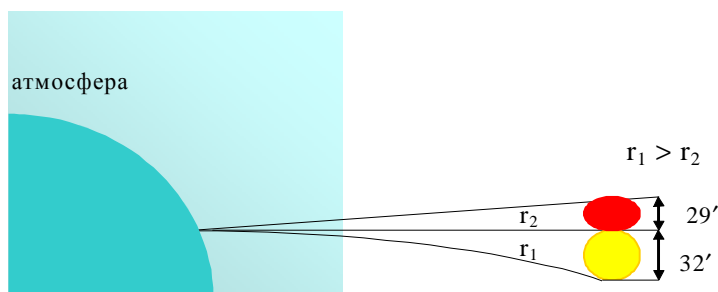


Рис. 51. Искажение формы и угловых размеров светил атмосферной рефракцией

Искажается показатель преломления света в зависимости от длины волны: при очень чистой атмосфере человек может увидеть на заходе или восходе Солнца редкий «зеленый луч». Поскольку расстояния до звезд несравнимо превосходят их размеры, можно считать звезды точечными источниками света, лучи которых распространяются в пространстве по параллельным прямым. Преломление лучей звездного света в атмосферных слоях (потоках) разной плотности вызывает **мерцание** звезд – неравномерные усиления и ослабления их блеска, сопровождающиеся изменениями их цвета («игрой звезд»).

Земная атмосфера рассеивает солнечный свет. Рассеяние света происходит на случайных микроскопических неоднородностях плотности воздуха, сгущениях и разрежениях размерами 10^{-3} – 10^{-9} м.

Интенсивность рассеяния света обратно пропорциональна четвертой степени длины световой волны (закон Рэля). Сильнее всего рассеиваются фиолетовые, синие и голубые лучи, слабее всего – оранжевые и красные.

Вследствие этого земное небо имеет днем голубой цвет: наблюдатель воспринимает рассеянный в атмосфере солнечный свет, спектр излучения которого сдвинут в сторону коротких волн. По той же причине далекие леса и горы кажутся нам голубыми и синими.

Диски Солнца и Луны на восходе и закате приобретают красный цвет: с приближением к горизонту удлиняется путь световых лучей, прошедших без рассеяния, спектр их сдвигается в сторону длинных волн. Обратите внимание на зори: вначале узенькая, кроваво-красная полоска утренней зари бледнеет, розовеет, наливаясь желтизной, а небо в зените из темного, почти черного становится густо-фиолетовым, потом сиреневым, синим и голубым, а вечером все происходит наоборот. Ночью на Земле никогда не бывает абсолютно темно: рассеянный в атмосфере свет звезд и давно зашедшего Солнца создает ничтожно малую освещенность в 0,0003 лк.

Продолжительность светлого времени суток – **дня** всегда превышает промежуток времени от восхода до захода Солнца.

Рассеяние солнечных лучей в земной атмосфере порождает **сумерки**, плавный переход от светлого времени суток – дня к темному – ночи, и обратно.

Сумерки возникают из-за подсвечивания верхних слоев атмосферы Солнцем, находящимся ниже линии горизонта. Продолжительность их определяется положением Солнца на эклиптике и географической широтой места.

Различают гражданские сумерки: период времени от захода Солнца до его погружения на 6° – 7° под горизонт; навигационные сумерки – до момента погружения Солнца под горизонт на 12° и астрономические, – пока угол не составит 18° . На высоких ($\pm 59,5^{\circ}$) широтах Земли наблюдаются **белые ночи** – явление прямого перехода вечерних сумерек в утренние при отсутствии темного времени суток.

Практическое занятие 5

Задачи астрометрии

В начале занятия учащихся знакомят с атласами и картами звездного неба; основными обозначениями, принятыми в астрономии и правилами работы с подвижными картами звездного неба.

Демонстрируется решение основных типов задач сферической астрономии, связанных с использованием подвижной карты звездного неба. Вслед за объяснением педагога обучаемые составляют алгоритмы решения задач и тренируются в решении задач каждого типа. (Ответы к задачам приводятся вслед за их условиями в квадратных скобках).

1. Определение условий видимости светил:

Задачи: А. Будут ли сегодня (25 октября) в 22 часа видны созвездия: Лиры [да]; Ориона [нет]; Льва [нет]? Б. В какое время взойдет над горизонтом 12 апреля звезда α Лиры? [около $19^{\text{h}} 30^{\text{m}}$] В. В какое время зайдет 5 июля звезда α Волопаса? [около $3^{\text{h}} 30^{\text{m}}$]

Решения: А. Совместите подвижную карту звездного неба с накладным кругом так, чтобы время наблюдения, обозначенное на краю накладного круга, совпадало с датой наблюдения на краю круга подвижной карты. Проверьте, будут ли видны искомые созвездия к отверстию накладного круга.

Б. В. Небесные светила восходят на востоке и заходят на западе. Совместите подвижную карту звездного неба с накладным кругом так, чтобы искомое небесное светило лежало на границе восточного края (западного) накладного круга. Посмотрите, в какое время для соответствующей даты наблюдения произойдет явление восхода (захода) светила.

При решении задач ученики должны учитывать, что «летнее» время отличается от «зимнего» (декретного) на 1 час: $T_{\text{л}} = T_{\text{д}} + 1^{\text{h}}$.

2. Определение моментов кульминаций светил:

Задачи: А. Определите момент верхней кульминации звезд: α Большой Медведицы на 22 декабря [около $5^{\text{h}} 15^{\text{m}}$]. Б. Определите момент нижней кульминации звезд α Кассиопеи на 21 марта [около $0^{\text{h}} 35^{\text{m}}$].

Решения: Совместите подвижную карту звездного неба с накладным кругом так, чтобы искомое небесное светило лежало на линии небесного меридиана, соединяющей точки севера и юга (желательно натянуть меж ними нить или волосок). В верхней кульминации светило наблюдается в вырезе накладного круга ближе к его центру (зениту). Посмотрите, в какое время для соответствующей даты наблюдения произойдет верхняя кульминация светила $T_{\text{в}}$. В нижней кульми-

нации светило может оказаться за пределом вырезного круга вне видимости, однако момент нижней кульминации T_H легко вычисляется из расчета: $T_H = T_B - 12^h$.

3. Определение положения Солнца на эклиптике для избранной даты.

Задача: Установите, «под каким знаком Зодиака вы родились»: в каком созвездии было Солнце в ваш день рождения. Почему результат расходится с указанным в гороскопе? Сделайте вывод об уровне астрономических знаний астрологов.

Решение: соедините линией полюс мира и дату вашего рождения и посмотрите, в каком созвездии эта линия пересечет эклиптику. Различия с гороскопом обусловлены влиянием прецессии: в гороскопах данные о положении Солнца на эклиптике соответствуют «нулевому» году нашей эры.

4. Определение моментов восхода, верхней кульминации, захода Солнца и продолжительности дня.

Задача: Определите время и азимуты точек восхода и захода Солнца, момент верхней кульминации и высоту Солнца в верхней кульминации 22 июня в г. Магнитогорске.

Решение: Задача может быть решена 2 способами: 1) просто, но приближенно при помощи подвижной карты звездного неба; 2) точно, но сложно, путем вычислений с использованием данных Астрономического календаря и формул сферической астрономии.

Первый способ решения задачи: на подвижной карте звездного неба отмечается положение Солнца на эклиптике 22 июня, затем накладной круг прикладывается сверху так, чтобы эта точка находилась на краю выреза – сначала с его восточной стороны, затем с западной; обозначенные на краю накладного круга часы и минуты покажут нам искомое местное время T_B и T_3 . Для определения момента верхней кульминации Солнца T_K с точкой совмещается нить, соединяющая точки севера и юга (полуденная линия). При этом (предварительно разметив с соблюдением соответствующего масштаба, внутренний край накладного круга) можно приблизительно определить азимуты точек восхода и захода Солнца A_B и A_3 .

$h_{\text{я}} = \delta_{\text{я}} + \varphi$. 22 июня $\delta_{\text{я}} = \varepsilon = 23^\circ 26'$; широта г. Магнитогорска $\varphi = 54^\circ 24'$.

Ответы: $T_B \approx 4^h 15^m$; $T_3 \approx 20^h 50^m$; $T_K \approx 13^h 00^m$ (с учетом поправки на летнее время нужно к полученным результатам прибавить 1 час). $h_{\text{я}} = 77^\circ 50'$. Солнце всходит на северо-востоке ($A_B \approx 225^\circ$), кульминирует на юге, а заходит на северо-западе ($A_3 \approx 135^\circ$).

Более точно искомые величины можно определить при помощи расчетов, с использованием данных соответствующих таблиц Астрономического календаря.

Моменты восхода, верхней кульминации и захода Солнца определяются по формуле: $T_m = T_0 + x_j + x_l$, где T_0 – табличный момент восхода, верхней кульминации или захода Солнца, указанный в эфемеридах Астрономического календаря на этот год; x_φ , x_λ – поправки на географическую широту и долготу:

$x_l = \frac{1 - x_j}{48^h} (T_1 - T_2)$, где T_1 и T_2 – табличные моменты восхода, верхней кульминации или захода Солнца в предшествующие и последующие сутки соответственно.

Для 22 июня $x_\varphi = 0$. Географическая долгота г. Магнитогорска $\lambda = 59^\circ 05'$ восточной долготы или $3^h 56^m$. Магнитогорск расположен в 4-м часовом поясе.

Для 22 июня 2000 г.:

$$T_{1B} \approx 3^h 13^m; T_{2B} \approx 3^h 14^m; T_{0B} \approx 3^h 13^m 30^s.$$

$$T_{13} \approx 20^h 51^m; T_{23} \approx 20^h 51^m; T_{03} \approx 20^h 51^m.$$

$$T_{1K} \approx 12^h 01^m 49^s; T_1 \approx 12^h 01^m 49^s; T_{0K} \approx 12^h 02^m 02^s; x_\lambda = +2,1^s \approx 2^s.$$

$$T_B = 3^h 13^m 32^s; T_K = 12^h 02^m 04^s; T_3 = 20^h 51^m.$$

Время наблюдений этих явлений в Магнитогорске, с учетом летнего времени, рассчитывается по формуле: $T_M = T_m - \lambda + n + 1^h + 1^h$, где n – номер часового пояса. $T_{MB} = 5^h 17^m 32^s$; $T_{M3} = 22^h 55^m 00^s$; $T_{MK} = 14^h 06^m 04^s$.

Азимуты точек восхода и захода светил определяются на основе формул сферической астрономии, связывающих горизонтальные и экваториальные координаты светил: $\sin d = \sin j \cdot \sin h - \cos j \cdot \cos h \cdot \cos A \Rightarrow \cos A = \frac{\sin d_\odot - \sin j \cdot \sin h}{\cos j \cdot \cos h}$.

Считая, что наблюдения проводятся на равнине и высота линии географического горизонта $h = h_0 = 0^\circ$, упрощаем формулу к виду: $\cos A = \frac{\sin d_\odot}{\cos j}$.

Рассчитываем азимуты точек восхода и захода Солнца в день летнего солнцестояния на широте г. Магнитогорска: при $A = 48,15^\circ$ $A_B \approx 228,15^\circ$; $A_3 \approx 131,15^\circ$.

Однако это решение задачи также является недостаточно точным, поскольку мы не учитываем в нем кривизну географического горизонта ($x = 0,0045^\circ$ на 1 км удаления по лучу зрения; на равнине линия горизонта удалена на расстояние до 30 км), параллакс Солнца ($p = 0,002^\circ$) и астрономическую рефракцию ($r = 0,6^\circ$ на высоте $h_0 = 0^\circ$). В окончательном варианте формула для расчета азимута точек восхода и захода светил имеет вид: $h = h_0 - x + p - r$.

Ответ: $A_B = 226^\circ 50,4'$; $A_3 = 133^\circ 09,6'$

5. Определение экваториальных координат светил.

Задача: определите экваториальные координаты звезд:

а) Бетельгейзе, α Ориона [$\alpha = 5^h 52^m$; $\delta = +7,5^\circ$]; б) Веги, α Лиры [$\alpha = 18^h 35^m$; $\delta = +39^\circ$]; в) Антарес, α Скорпиона [$\alpha = 16^h 26^m$; $\delta = -26^\circ$].

6. Определение положения светил на карте звездного неба и условий их видимости на основе данных об их экваториальных координатах:

Задача: Отметьте на своих подвижных картах звездного неба положение планет на небесной сфере и определите условия их видимости на сегодняшний день, если их экваториальные координаты:

| Планета | 20.10.2002 г. | | 30.10.2002 г. | |
|----------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | Прямое восхождение α | Склонение d | Прямое восхождение α | Склонение d |
| Меркурий | $12^h 42^m$ | $+1^\circ$ | $13^h 29^m$ | $-7,5^\circ$ |
| Венера | $14^h 36^m$ | $-22,5^\circ$ | $14^h 21^m$ | $-20,5^\circ$ |
| Марс | $12^h 11^m$ | 0° | $12^h 35^m$ | $-2,5^\circ$ |
| Юпитер | $9^h 12^m$ | $+16,7^\circ$ | $9^h 16^m$ | $+16,5^\circ$ |
| Сатурн | $5^h 55^m$ | $+22^\circ$ | $5^h 54^m$ | $+22^\circ$ |

7. Определение условий видимости светил в данной местности (решаются 2 способами: путем вычислений и при помощи подвижной карты звездного неба):

Задачи: 1. Можно ли наблюдать над горизонтом г. Челябинска ($j = 55^\circ 10'$) звезду Фомальгаут (α Южной Рыбы)?

2. Можно ли наблюдать в Москве, на широте $55^\circ 45'$, обе кульминации звезд

ды Арктур (α Волопаса)?

3. В корейской сказке «Недостойный друг» герою приснилось:

«Молодой месяц светил в далеком небе. Но темно было, и нежный Скорпион как бриллиантами горел вокруг месяца своими звездами и все глубже, казалось, проникал в синеву темного неба». В какое время года это происходило?

Ответ: Данное явление (молодой месяц виден в небе на западе в созвездии Скорпиона), с учетом широты Корейского полуострова наблюдается около 18h местного времени в конце сентября – середине октября.

4. Вычислить высоту, азимут и часовой угол Полярной звезды ($\alpha = 2^h 07^m$; $\delta = +89^\circ 09'$) в моменты верхней и нижней кульминации в г. Челябинске ($j = 55^\circ 10'$).

Решение и ответ:

В верхней кульминации к северу от зенита: $h_B = 90^\circ + \varphi - \delta = 56^\circ 01'$, $A_B = 180^\circ$, $S_B = \alpha = 2^h 07^m$, $t_B = 0^h$. В нижней кульминации: $h_H = \varphi + \delta - 90^\circ = 54^\circ 19'$, $A_H = 180^\circ$, $S_H = \alpha + 12^h = 14^h 07^m$, $t_H = 12^h$.

8. Определение положения основных кругов и линий небесной сферы в данной местности (решаются устно).

Задачи: 1. Под каким углом небесный экватор пересекает горизонт для наблюдателя: а) на Южном полюсе [0°]; б) на экваторе [90°]; в) на широте 25° [65°].

2. Определите угол между осью мира и горизонтом а) на Северном полюсе [90°]; б) на экваторе [0°]; в) на широте 25° [25°]; г) на широте 57° [57°].

9. Умение ориентироваться по Солнцу (решаются устно):

«Красноармеец идет под утро в разведку по направлению Полярной звезды. После восхода Солнца он поворачивает обратно. Как он должен идти, руководствуясь Солнцем, если ему надо идти обратно час времени?» (Учебник астрономии 1935 г.).

10. Задачи «антиастрологического» содержания:

Установите, «под каким знаком Зодиака вы родились», то есть в каком созвездии было Солнце в ваш день рождения. Сходится или нет полученный результат с тем, который публикуют в гороскопах? Почему результат расходится с указанным в астрологической литературе? Сделайте вывод об уровне астрономических знаний астрологов.

Решение и ответ: Для определения своего «знака Зодиака» нужно соединить прямой линией полюс мира (центр подвижной карты звездного неба) и дату рождения ученика, и посмотрите, в каком созвездии эта линия пересечет эклиптику. (В 90 % случаев ученики обнаруживают, что они родились «под чужим (соседним) знаком Зодиака», а некоторые – «под знаком Змееносца», не считающимся зодиакальным созвездием, и весьма эмоционально на это реагируют). Несовпадение полученного результата с астрологическими данными объясняется: 1) действием прецессии, смещающей все соответствующие даты вдоль линии эклиптики с периодом в 26000 лет, примерно на 1 созвездие за 2000 лет; 2) в гороскопах и прочей астрологической литературе все данные приводятся без учета явления прецессии, на эпоху «нулевого» года нашей эры (т.е. «запаздывают» на 2000 лет!); 3) созвездие Змееносца всегда лежало на эклиптике, но по традиции исключалось из Пояса Зодиака; 4) точные границы всех созвездий (в т.ч. зодиакальных) были определены I съездом МАС лишь в 1925 г.

Полученные результаты должны убедить в ложности астрологических предпосылок, в том, что астрология – лженаука, мошенничество, основанное на легковёрности людей при отсутствии у них элементарных астрономических знаний.

11. Комплексные задания должны включать задачи, проверяющие знания основных плоскостей, линий и точек небесной сферы, созвездий, блеска звезд и шкалы звездных величин, систем небесных координат, условий видимости светил на разных широтах Земли, видимого движения Солнца, основных способов и единиц измерения времени, причин и условий протекания солнечных и лунных затмений, видимого движения и конфигураций планет. Решение задач выполняется с использованием подвижной карты звездного неба, эфемерид планет и (или) Астрономического календаря.

Первая группа задач связана с анализом визуальной информации: сравнения видимого положения и условий видимости светил на небесной сфере, известного ученикам из собственных наблюдений, карт и атласов звездного неба и т.д. Задачи с элементами занимательности могут быть связаны с анализом описания видимости светил и протекания небесных явлений, описанных в научно-популярной и художественной литературе, поиску и объяснению соответствующих ошибок. Основой других задач могут стать неудачные рисунки художников, иллюстрирующих научно-популярные или художественные книги:

1. Перечислите ошибки, допущенные художником (рисунок на с. 17 книги Е.П. Левитана «Странствия Альки и гномов по Млечному Пути». – М.: Издательский дом «Дрофа», 1999).

Ответы к задаче:

- судя по цвету неба, время наблюдений – сумерки, когда звезды Большой Медведицы еще не различимы на фоне светлого неба;

- звезды не различаются по блеску;

- очертания созвездия Большой Медведицы искажены;

- Луна почти точно на севере в фазе 0,2.

2. В стихотворении М.А. Светлова «В разведке» есть такие строки:

*«...И звезда на нас взглянула
Из-за дымных облаков.
Наши кони шли понуро,
Слабо чуя повода,
Я сказал ему: – «Меркурий
Называется звезда»...
Полночь пулями стучала,
Смерть в полночи брела...
Ночь звенела стременами,
Волочились повода,
И Меркурий плыл над нами –
Иностранная звезда».*



Рисунок к задаче 1

Верно ли красноармеец назвал светило, которое они увидели? Почему? Какое светило могли видеть в небе красноармейцы летом во время Граждан-

ской войны на юге России?

Решение и ответ:

Светило не может быть планетой Меркурий, т.к. она не может быть видна в полночь: Меркурий бывает виден не более 1 часа после захода Солнца и 1 часа перед восходом Солнца и никогда не поднимается в зенит.

Наиболее вероятными светилами, которые могли быть приняты за Меркурий, являются звезды Летне-осеннего треугольника: Вега, α Лиры и Денеб, α Лебеда.

Вторую группу комплексных задач мы можем назвать «вычислительной»:

10 марта в 7 ч 20 мин по Всемирному времени (T_B) начнется полное солнечное затмение, доступное наблюдениям с территории Южного Урала. Определите экваториальные координаты Солнца и зарисуйте вид звездного неба в момент наибольшей фазы, если Венера находится в восточной элонгации, а Юпитер – в западном соединении с Луной (5°). В какое время в Челябинске следует начинать наблюдения?

Решение и ответ к задаче:

Экваториальные координаты Солнца определяются при помощи подвижной карты звездного неба и составляют: $\alpha_\odot = 23^h 20^m$; $\delta_\odot = -4^\circ$. Поскольку территория Южного Урала находится в 4-м часовом поясе, время начала наблюдений определяется по формуле: $T_{\text{местное}} = T_B + n + 1$ (декретного времени). $T_{\text{местное}} = 12^h 20^m$.

На основе карты звездного неба ученики делают схематический рисунок, на котором отмечают положение на эклиптике Солнца во время затмения на фоне 2-3 близких созвездий и наиболее ярких звезд. Положение планет относительно Солнца определяется на основе указаний об их конфигурациях: Венера находится на эклиптике в 48° восточнее (левее) Солнца; поскольку координаты Луны и Солнца в момент затмения совпадают, Юпитер будет наблюдаться в 5° западнее (правее) Солнца.

Задачи для домашнего решения:

1. Определите время и азимуты точек восхода и захода Солнца, момент верхней кульминации и высоту Солнца в верхней кульминации 22 декабря в г. Челябинске.

Приблизительные ответы к задаче: $T_B \approx 9^h 25^m$; $T_3 \approx 16^h 25^m$; $T_K \approx 13^h 55^m$.

Солнце восходит на юго-востоке ($A_B \approx 315^\circ$), кульминирует на юге, а заходит на юго-западе ($A_3 \approx 45^\circ$). $h_\alpha = 31^\circ 44'$.

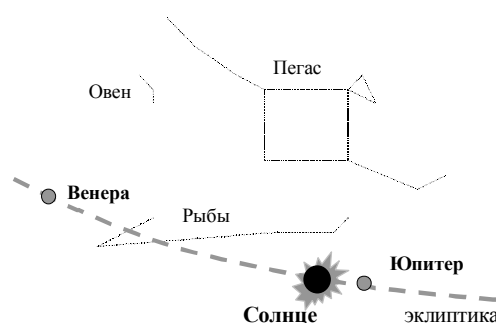
Уточненные ответы к задаче:

$T_B = 8^h 30,5^m$; $T_K = 11^h 58^m 40^s$; $T_3 = 15^h 27,5^m$; $A_B \approx 314,14^\circ$; $A_3 \approx 45,86'$.

Точные ответы к задаче:

$T_{MB} = 9^h 25,5^m$; $T_{M3} = 16^h 22,5^m$; $T_{MK} = 13^h 53^m 40^s$; $A_B = 315^\circ 35' 43,6''$; $A_3 = 44^\circ 24' 14,4''$.

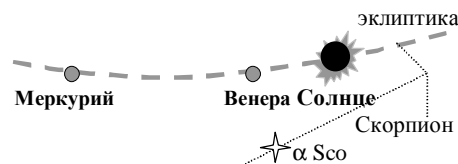
2. 23 ноября в 11 ч 38 мин по Всемирному времени (T_B) начнется полное солнечное затмение, доступное наблюдениям в Москве. Определите экваториальные координаты Солнца и зарисуйте вид звездного неба в момент наибольшей фазы, если Меркурий находится в восточной элонгации, а Ве-



нера – в восточном соединении с Луной (5°). В какое время в Москве следует начинать наблюдения?

Ответ: $\alpha_{\text{я}} = 16^{\text{h}} 09^{\text{m}}$; $\delta_{\text{я}} = -20^\circ$. $T_{\text{местное}} = 14^{\text{h}} 38^{\text{m}}$

Меркурий находится на эклиптике в 18° восточнее (левее) Солнца; поскольку координаты Луны и Солнца в момент затмения совпадают, Венера будет наблюдаться в 5° восточнее (левее) Солнца.



...В конце занятия проводится проверка ранее приобретенных знаний по основам сферической астрономии – контрольная работа с взаимопроверкой:

1. Задания для контрольной работы ученики составляют дома (по 5 задач, не менее 3 из них должны предусматривать работу с подвижными картами звездного неба). Контрольная работа оформляется на 2 листах: на первом листе записываются условия 5 задач, на втором – их решения и ответы.

2. Педагог собирает пронумерованные листы с заданиями контрольной работы и раздает их другим ученикам (1 половина I ряда – 2 половине II ряда и т.д. – так, чтобы никому не достались своя работа или работа соседа).

3. Ученики выполняют контрольные работы в течение 15 минут. Затем дежурные собирают их и передают для проверки ученикам, составившим соответствующие задания.

4. Ученики проверяют правильность выполнения контрольных работ и выставляют отметки. Затем работы сдаются учителю.

5. Дома преподаватель просматривает работы и выставляет по 3 отметки каждому ученику: 1) за составление контрольной работы; 2) за выполнение контрольной работы; 3) за проверку контрольной работы.

Семинар 3

Диспут «Астрология – наука или лженаука?»

Цель занятия: борьба с астрологическими предрассудками.

Общеобразовательные задачи:

1. Обобщение, повторение и закрепление учебного материала о космических и небесных явлениях, небесных светилах и созвездиях, небесной сфере и системах небесных координат.

2. Формирование понятия об астрологии как лженауке.

3. Формирование начального понятия о космическо-земных связях.

Воспитательные: формирование научного мировоззрения и атеистическое воспитание в ходе повторения и обобщения совокупности изученного астрометрического материала, антиастрологическое просвещение молодежи.

Развивающие: формирование умений готовить доклады, выступать, дискутировать, отстаивать свою точку зрения.

Ученики должны **научиться** доказывать ложность астрологических предрассудков, основываясь на знании физической природы и основных характеристик небесных и космических объектов и явлений.

Методика проведения занятия:

Опасным следствием пренебрежения сообщения школьникам элементар-

ных астрономических знаний, играющих особо важную роль в формировании научного мировоззрения учащихся, стало одной из причин повального увлечения оккультизмом и астрологией. Астрономическую безграмотность людей с успехом и выгодой используют разного рода секты и конфессии, свободно ведущие пропаганду своих антинаучных взглядов на мир среди школьников и студентов. Учителям физики и астрономии следует вести активную пропаганду научных знаний, бороться с суевериями среди учеников и их родителей.

Целью мероприятия является борьба с астрологическими предрассудками подрастающего поколения россиян.

К сожалению, современные программы по астрономии средней школы не предусматривают изучения соответствующего материала. В подготовке к занятию учителю и учащимся следует опираться на приведенный ниже справочный материал, немногие статьи в научно-популярных журналах («Земля и Вселенная»), литературу по истории астрономии и многочисленные астрологические публикации в периодической печати и книги по астрологии. Следует дать задание нескольким ученикам составить гороскопы на самих себя или каких-либо знаменитых людей и затем проверить результаты «предсказаний».

Рекомендуемые темы докладов и сообщений:

1. История возникновения и становления астрологии в Древнем Мире (Египте, Вавилоне, Китае, Греции, Риме); астрологические предания и мифы, сведения о догороскопической астрологии и астролатрии – доклад и 2-3 сообщения.

2. Астрология в Средневековой Европе и странах Ближнего Востока – доклад; астрология на Руси – сообщение.

3. Основные положения астрологии. Гороскопы. Правила составления гороскопов – доклад и 2-3 сообщения. Ученики делятся опытом составления гороскопов и их результатами.

4. Астрология в современном мире (Европе, Америке и России). Роль астрологии в современном обществе – доклад.

5. Космическо-земные связи – доклад. Поскольку данный материал еще не изучался и достаточно сложен и неоднозначен, следует поручить его разработку наиболее способным и заинтересованным ученикам.

Педагог должен помочь обучаемым с литературой, выбором материала, составлением плана выступления. Во время занятия ему следует быть готовым помочь выступающему ученику, акцентировать внимание на отдельных моментах его доклада, исправить ошибки, дополнить. Следует разрешить комментировать, исправлять и дополнять сообщения и доклады товарищей.

В начале занятия при постановке проблемы, акцентируя внимание учащихся на возможностях космическо-земных связей, следует расспросить о природе известных им небесных и космических явлений:

1. Какие небесные явления происходят в результате: вращения Земли вокруг своей оси; обращения Луны вокруг Земли; обращения Земли и других планет вокруг Солнца?

2. Дайте описание небесных явлений, порожденных обращением планет вокруг Солнца. Ответы строятся на основе обобщенного плана для изучения космических и небесных явлений с использованием соответствующих геометрических схем.

Далее следуют выступления обучаемых с докладами и сообщениями.

Справочный материал по астрологии:

Астрология – мнимая наука (лженаука), пытающаяся предсказывать будущее отдельных личностей и человечества в целом из наблюдений за видимыми движениями небесных светил.

Становление астрологии определено серией последовательных переходов: архаическое (мифосимволическое) сознание – астролатрия – догороскопическая астрология – гороскопическая астрология. На стадии архаического сознания чел. каменного в. оформляется система единого фетишизированного космоса, когда любой из элементов мира является определенным символом его. Позднее, на стадии перехода от первобытнообщинного строя к классовому обществу зарождается астролатрия – выделение небесных светил как объектов поклонения за счет их отождествления с богами. Необходимость координировать небесные явления с процессами индивидуальной и общественной жизни в эпоху возникновения и начального развития сельского хозяйства привела к целенаправленным наблюдениям видимых движений светил. Догороскопическая астрология возникла, вероятно, в V-IV тыс. до н.э. и окончательно оформилась как отдельная специфическая область познаний в Древнем Вавилоне не позднее середины VII в. до н.э. Она основывалась на предположении о синхронности небесных (космических) и земных циклов, так что знание первых давало знание о вторых. В своей работе древневосточные астрологи давали предсказания на основе прямого сопоставления таблиц небесных светил, составленных на основе многолетних систематических наблюдений, с историческими хрониками с экстраполяцией прошлого в будущее; предсказания носили исключительно качественный характер: «...В месяц абу на востоке появится *Нин дар ан на* (Венера) – будут дожди и земля опустеет. Она будет стоять на востоке до 11-го дня первого месяца нисана, а затем исчезнет на три месяца... В стране начнется война, но урожай уцелеет» (запись из библиотеки Ашшурбанипала).

Последующее развитие астрологии связано с конкретизацией роли небесных светил: Солнце, Луна и планеты связываются с определенными днями, часами, минералами, металлами и т.д. (Солнце – воскресение, золото, желтый цвет). Небесным светилам приписывают власть над определенными частями человеческого тела, чертами характера, склонностями. Оценки взаимных положений планет, гелиактических восходов и заходов с их влиянием на человеческие судьбы привело к убеждению о существовании счастливых и критических дней: «...Тот (сентябрь): 21-го не убивать быков, 22-го не есть и не ловить рыбу; ... атир (ноябрь): 5-го не зажигать огня и не смотреть на огонь; 24-го – счастливый день, следует пить» (Древний Египет, 1200 г. до н. э.).

Развитию астрологии способствовали разработанные стоиками и Гипархом концепция единства чел. и Вселенной, идеи Евдокса и Вергилия о воздействии небесных тел на земную погоду и т. д. Так как светила, представляющие земные качества, определяли, по мнению астрологов, порядок вещей, появилась необходимость вычислять волю светил применительно к произвольной временной точке, что стимулировало появление и развитие искусства моделирования взаимных положений светил и обусловило отказ от прогнозирования событий по историческим хроникам. Появились предсказания, составленные на основе гороскопов.

В своем специальном значении слово «гороскоп» означает точку эклиптики, восходящую в момент рождения (на Востоке – зачатия) данного лица. Далее определялись точки: «середины небес» – верхней точки пересечения эклиптики с меридианом, «захода» – западного пересечения эклиптики с меридианом. Эклиптика делилась на 12 «домов» – дуг эклиптики, отсчитываемых от гороскопа вниз: «эквализация» домов: жизни, счастья (богатства), братьев, родственников, детей, слуг (здоровья), брака, семьи, веры, чинов, дружбы и вражды. С помощью этих 12 домов составлялась «небесная фигура», в которой обозначались положения планет в разных домах и их аспекты (причем Солнце и Луна считались «планетами», а Уран, Нептун и Плутон были неизвестны); знаки Зодиака и некоторые другие звезды.

Предсказания осуществлялись на основании того, в какие «дома» попадали светила и знаки Зодиака, их сочетания и «влияния» друг на друга; теория экзальтаций описывала точки наибольшей силы планет, депрессий – наименьшей силы; знаки Зодиака трактовались как «жилища планет» (Овен и Скорпион для Марса и т. д.).

Астрология была доходным, но небезопасным занятием: западная и, особенно, восточная церковь относилась к астрологам с большим подозрением (конкуренты) и неприязнью. Образованные люди над астрологией смеялись (или использовали ее в своих целях).

«Слово против Николая Немчина, обманщика и звездочета:

О кончине мира поспешил ты, о Николае, предвозвестить, повинуюсь звездам, внезапное же прекращение своей жизни не смог ты не предсказать, не предугадать. Что же может быть безумнее твоего безумия! Поэтому поистине вы учителя суетной мудрости, вы, думающие, что все управляется звездами, своего же несчастья не можете предугадать, как говорит Леонид: «Волхвы, наблюдающие за движением звезд! Исчезните вы, учителя лжи и суетной мудрости! Вас породила дерзость, воспитало безумие, но вы и собственного несчастья не можете предвидеть» (Максим Грек, первая половина XVI в.).

В период античности было создано 175 «трудов» по астрологии, до изобретения книгопечатания 339 книг написали на Востоке и 569 в Западной Европе, во второй половине XV в. опубликованы 51 сочинение, в XVI в. – 306, в XVII в. – 339, в XVIII в. – 108 и XIX в. (до 1880 г.) – 47 книг. Развитие науки вытеснило астрологию из области интересов образованных людей. Астрология XX в. – часть массовой культуры (читать умеют все, а критически думать – немногие); астрология – некая отрывка «массовой науки» – доступного понимания массового читателя суррогата настоящей науки, создающей иллюзию приближения к ее самым передовым рубежам, недоступным даже большинству «ученых ретроградов». По мнению психологов, астрология есть «в ее наиболее расхожем виде необоснованная и неопровергнутая, примитивно сформулированная, – потенциальный опиум для необразованных людей», страдающих комплексом неполноценности по отношению к культурным, образованным, умеющим и любящим думать людям. По данным американской статистики, «треть населения Соединенных Штатов и Западной Европы верит в астрологию... и по крайней мере 90 % «свободомыслящих» людей не отвергает астрологии так же безоговорочно, как они отвергли бы идею о плоской Земле».

Вера в астрологию проистекает не из-за каких-то мистических наклонностей челов. и не от особой убедительности в астрологическом гадании, а в основном из-за недостатка знаний по астрономии, от низкого культурного уровня. В нашей стране этому способствует кризис в общественной жизни страны, разрушение мифа об единой, «избранной» судьбе граждан России вместе с ростом общественного интереса к отдельной, личной судьбе, чьи усилия направлены к устройению собственного благополучия. Астролога с его клиентом связывает совершенно специфический тоннель смысловой многогранности, в которой клиент ищет и находит лишь созвучное его устройению. Он сам извлекает из предсказаний понятный ему одному смысл, выступая соучастником, соавтором астрологического действия. Причиной «достоверности» астрологических прогнозов будет адекватность не астролога, а вашего сознания собственной жизни. И. Кеплер, не веривший в астрологию астролог императора Рудольфа II., писал: «Ошибки, то есть неисполнение предсказаний, забываются, так как это не представляет ничего особенного, о совпадениях же помнят по-бабьи, таким образом к астрологам продолжают относиться с почтением».

Анализ прогностической деятельности астрологов показывает, что она не имела и не имеет необходимого и достаточно рационального обоснования. Однако, по мнению некоторых ученых, «Астрология... всегда была тесно связана с астрономией и несмотря на ее существенные ошибки, она явилась причиной того, почему люди в течение тысячелетий занимались наблюдением звезд, которые, если бы они не верили в астрологию, казались бы очень отдаленными и бесполезными» (Дж. Бернал).

Важнейшим этапом занятия является свободное обсуждение докладов и сообщений, диспут учащихся. Преподаватель должен внимательно, доброжелательно выслушивать мнения молодых людей и не навязывать им своего. При внешнем отсутствии контроля за спором учащихся преподаватель должен исподволь (намекami, дополнительными вопросами, осторожными замечаниями и т.д.) вести его как процесс поиска истины, направлять его в нужное русло. Следует отмечать ошибки в предсказаниях астрологов прошлого и настоящего, не-

знание ими физической природы космических тел и космических явлений, многозначность гороскопов, ориентацию прогнозов на легковерие людей, факт того, что астрология является очень выгодным бизнесом и т.д. и т.п.

Желательно напомнить учащимся и о других формах «астрономического мошенничества»: продаже земельных участков на Луне, Марсе и других планетах; продаже названий звезд и даже самих звезд (при этом ученики знакомятся с соответствующими постановлениями Международного законодательства).

Результатом проведения занятия должны стать выводы:

1. Астрология возникла как наука, изучающая космическо-земные связи.
2. В настоящее время астрология не имеет никакого отношения не только к астрономии, но и к науке вообще.

3. Астрология – лженаука, одурачивание и одурманивание широких масс населения. Это – область деятельности легковерных людей, граничащая с религией. Организаторов этой деятельности – астрологов – не признает «своими» ни одна церковь мира; их предприятие – выгодный бизнес, граничащий с мошенничеством.

4. Космическо-земные связи являются реальным фактором, влияющим на главные параметры и состояние околоземного космического пространства и всех основных оболочек Земли (литосферу, гидросферу, атмосферу, биосферу), на жизнь и здоровье людей и созданную ими технику.

5. Космическо-земные связи многообразны, их характер не выяснен до конца. Выделяют множество природных ритмов, синхронизированных с космическими явлениями и процессами. Наиболее глубоко исследованы обусловленные воздействием солнечной активности солнечно-земные связи.

6. Изучение космическо-земных связей является одним из интереснейших новейших разделов современной астрономии. Этот раздел еще не имеет своего названия; чаще всего его именуют гелиобиологией. Он тесно связан с физикой, биофизикой, химией, биохимией, биологией и другими естественно-математическими науками. Эффективную работу в этом направлении могут вести лишь крупнейшие научно-исследовательские коллективы в рамках тесного международного сотрудничества.

Минимальный эффект занятия: ученики должны усомниться в точности и объективности астрологических предсказаний и пользе гороскопов.

Максимальный эффект занятия – их полное неверие в астрологию и желание проводить контрастрастологическую пропаганду среди друзей и близких.

Лекция 6

Основы небесной механики

Небесная механика как астрономическая наука основана на теории Всемирного тяготения. Следствиями закона Всемирного тяготения являются многочисленные космические явления и процессы, обусловленные действием сил гравитации. Почти все они могут объясняться в рамках трех разделов механики: кинематики, динамики и статики. Поскольку расстояния между космическими объектами во много раз больше их размеров, понятие «космического тела» в небесной механике часто заменяется понятием «небесного тела» – астрономическим аналогом понятия «материальная точка» в физике. Основной задачей становится определение положения материальной точки при известных на-

чальных координатах и скорости в любой последующий момент времени.

Исследование движения небесных тел предусматривает установление общих закономерностей движения, определение их положения и скорости по отношению к избранной системе координат для произвольного момента времени.

• **Движение космических тел в центральных полях тяготения**

I закон Кеплера: *Траектории движения небесных тел в центральном поле тяготения представляют собой коническое сечение (кривую II порядка): эллипс, окружность, параболу или гиперболу, в одном из фокусов которой находится центр масс системы.*

Орбиты планет Солнечной системы имеют форму эллипса, в одном из фокусов которого находится Солнце. Масса Солнца в 750 раз больше массы всех остальных тел Солнечной системы, поэтому центр масс Солнечной системы находится внутри Солнца, почти совпадая с его геометрическим центром. Эллиптические орбиты имеют спутники планет, в том числе ИСЗ, астероиды и часть комет. Эксцентриситет e планетных орбит очень мал ($e_{\oplus} = 0,017$). Эксцентриситеты орбит астероидов значительно больше, многие кометы имеют параболические и гиперболические орбиты.

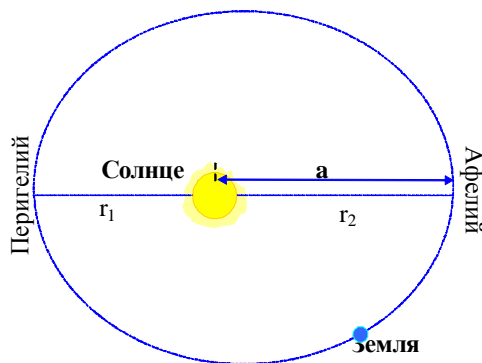


Рис. 52. Первый закон Кеплера

Перицентром называется ближайшая к центру масс системы точка орбиты небесного тела; **апоцентром** – наиболее удаленная. Для орбит небесных тел, вращающихся вокруг Солнца, они будут соответственно называться перигелием и афелием; для орбит тел, вращающихся вокруг Земли – перигеем и апогеем и т.д.

Большая полуось орбиты a является средним расстоянием космического тела от Солнца и определяет размеры его орбиты: $a = \frac{r_1 + r_2}{2}$, $r_1 = a(1-e)$, $r_2 = a(1+e)$, где r_1 – расстояние космического тела от Солнца в перигелии, r_2 – в афелии.

Большая полуось земной орбиты принята за астрономическую единицу расстояний: $a_{\oplus} = 1 \text{ а. е.} = 149000000000 \text{ м}$.

Орбита небесного тела зависит от его скорости в данной точке пространства.

I космическая скорость является скоростью кругового движения: $u_I = \sqrt{\frac{G(M+m)}{r}}$.

Для ИСЗ, запускаемых на низкие околоземные орбиты ($h = 200 \text{ км}$), $v_I = 7,78 \text{ км/с}$.

II космическая скорость – скорость параболического движения: $u_{II} = \sqrt{\frac{2G(M+m)}{r}}$.

Для стартовых с Земли автоматических межпланетных станций $v_{II} = 11,02 \text{ км/с}$.

При $u_I < u < u_{II}$ тело движется по эллиптической орбите. При $u < u_I$ тело также движется по эллиптической орбите, которая за исключением точки апоцентра будет целиком лежать внутри круговой орбиты. Такие траектории полета земных космических летательных

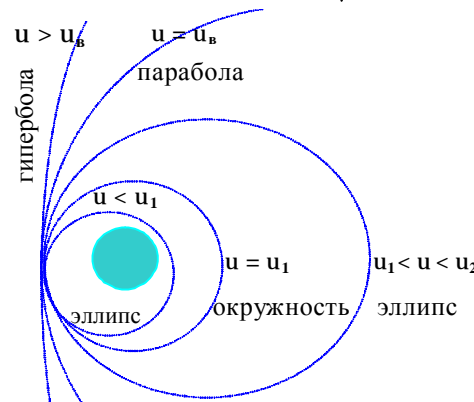


Рис. 53. Космические скорости. Зависимость формы орбиты от скорости небесного тела

аппаратов (КЛА) называются баллистическими. Период вращения небесных тел вокруг центра масс можно определить по формуле: $T = \frac{2\pi\sqrt{a^3}}{\sqrt{G(M+m)}}$.

При $u > u_{II}$ траектория движения небесного тела представляет собой гиперболу.

Скорость, с которой запущенный с Земли КЛА покинет пределы Солнечной системы, называют иногда третьей космической скоростью. Она равна сумме скоростей движения Земли вокруг Солнца и II космической скорости КЛА относительно Земли, $u_{III} = 42$ км/с.

II закон Кеплера: *Прямая, соединяющая небесное тело с центром масс, описывает равные площади в равные промежутки времени. Площадь, описанная радиус-вектором тела, пропорциональна времени, в течение которого она описана: при $t_1 = t_2$, $S_1 = S_2$, $u_1 \perp u_2$ ($u_1 > u_2$).*

Так как за одно и то же время небесное тело проходит разные по протяженности участки орбиты, его движение будет неравномерным. Небесные тела вблизи перигея имеют скорость большую, чем вблизи апогея.

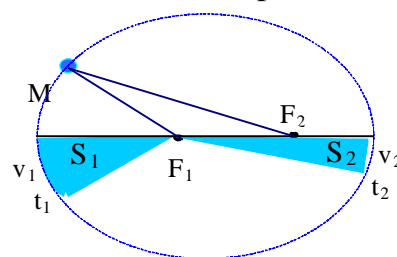


Рис. 54. Второй закон Кеплера

III закон Кеплера:

Произведение сумм масс небесных тел и их спутников с квадратами их сидерических периодов обращения относятся как кубы больших полуосей их орбит: $\frac{(m_1 + M_1)}{(m_2 + M_2)} \cdot \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$, где M_1 и M_2 – массы небесных тел, m_1 и m_2 – соответственно массы их спутников, a_1 и a_2 – большие полуоси их орбит, T_1 и T_2 – сидерические периоды обращения.

Следствия гравитационно-обусловленных космических явлений:

1. Обращение космических тел с меньшей массой вокруг космических тел с намного большей массой, когда центр масс системы находится вблизи центра массы массивного объекта.

Спутниками космических объектов называются объекты, вращающиеся вокруг них (общего центра тяжести) под действием сил тяготения. Луна – единственный естественный спутник Земли, а искусственных спутников Земли (ИСЗ) в настоящее время насчитывается свыше 7500. Спутники есть у всех планет Солнечной системы, кроме Меркурия и Венеры: у Марса 2 спутника, у Юпитера – 61; у Сатурна – 31; Урана – 21; Нептуна – 11 и у Плутона – 1 спутник.

В зависимости от масс, размеров, формы и характеристик орбит выделяют:

1) внутренние спутники – объекты неправильной формы размерами около 10 км – обломки более крупных космических тел. Располагаются на расстоянии до 3 радиусов планеты (в пределах зоны Роша). Имеют почти круговые орбиты в плоскости ее экватора.

2) главные спутники – сфероидальной формы, размерами от 400 до 5000 км. Образуются одновременно с планетами из протопланетного облака, имеют регулярные почти круговые орбиты на расстоянии от 3 до 100 радиусов планеты в плоскости ее экватора, движутся вокруг планет в сторону их вращения (обладают прямым движением).

3) внешние спутники – объекты неправильной формы размерами от 1 км до нескольких десятков километров, находятся на эллиптических орбитах с большими эксцентриситетами (0,15-0,6) и наклонами (20°- 40°), как с прямым так и с обратным движением на расстоянии свыше 100 радиусов планеты. Вероятно, захвачены из межпланетного пространства.

У крупных астероидов в роли спутники выступают мелкие астероиды. Все планеты Солнечной системы можно считать спутниками Солнца. Наша Галактика имеет 2 больших спутника – галактики Большое и Малое Магеллановы Облака и 14 других звездных систем поменьше.

2. Обращение двух или более сравнимых по массе космических тел вокруг общего центра масс, когда положение последнего не совпадает с положением объектов системы. Примерами являются системы двойных и кратных планетных тел, звезд, звездные скопления и галактики.

Описание движения двух космических тел под действием сил их взаимного притяжения в отсутствие действия каких-либо других сил называется задачей 2 тел и решается просто и однозначно.

В реальных ситуациях космические системы только из 2 тел встречаются сравнительно редко. Чаще приходится описывать движение 3 небесных тел, определяя движение 2 тел относительно третьего или всех трех тел относительно центра масс (например, для системы Земля – Луна – Солнце). Точное решение задачи 3 тел носит очень сложный характер и, как правило, заменяется приближенным решением.

Обычно астрономам приходится решать задачу n-тел, описывая движения большого числа космических тел под действием сил их взаимного тяготения. Учесть влияние всех тел друг на друга исключительно сложно. Вначале решается задача 2 избранных тел, выделяемых из всей совокупности взаимодействующих космических объектов, а затем поочередно учитываются все воздействия, которые оказывают на исследуемое тело все остальные объекты системы.

• **Возмущения** – изменения характеристик движения космических тел вследствие притяжения со стороны других космических тел, помимо центрального тела данной космической системы. Наблюдаются в виде отклонений от траекторий, вычисленных на основе задачи 2 тел (законов Кеплера). Невозможным называется довольно редкий вид движения космических тел, строго подчиняющегося законам Кеплера.

В зависимости от силы и времени воздействия возмущения разделяются на вековые и периодические, играющие важную роль в эволюции орбит космических тел.

Вековые возмущения зависят от взаимного положения космических тел и происходят в одном направлении, постепенно накапливаясь с течением времени. Структура Солнечной системы почти не изменяется со временем. В других планетных и звездных системах вековые возмущения (эксцентриситета, большой полуоси и других элементов орбит) могут стать причиной частичного или даже полного разрушения этих космических систем.

Долгопериодические и короткопериодические возмущения зависят от относительного положения космических тел, изменяют все элементы их орбит попеременно в противоположных направлениях и повторяются во времени.

Особую роль в движении космических тел в космических системах играют соизмеримости средних движений – орбитальные резонансы: так, периоды обращений Сатурна и Юпитера относительно Солнца соотносятся как 5:2; Урана и Нептуна как 1:2; Нептуна и Плутона как 2:3. Резонансы планетных орбит возникли в эпоху образования Солнечной системы. Резонансными орбитами обладают Меркурий, Венера, многие спутники планет, астероиды и кометы.

В соответствии с **принципом синхронности** любая планетная система независимо от начального состояния эволюционирует к резонансному состоянию, в котором между основными параметрами системы (средними движениями $n = \frac{360^\circ}{T}$, эксцентриситетами, наклонами орбит планет и спутников и т.д.) преобладают резонансные соотношения (например, $\frac{n_1}{n_2} = \frac{a}{b}$,

где a и b – целые числа). Всякая планетная система за время своего существования может пройти через несколько резонансных и нерезонансных состояний в зависимости от того, какие силы преобладают в ней на данном этапе эволюции.

Наличие возмущений препятствует точному расчету орбит небесных тел на длительные промежутки времени. Причиной невозможности точных расчетов является существование локальной неустойчивости орбит космических тел относительно малых, в том числе и негравитационных, возмущений, сумма которых на протяжении больших промежутков времени оказывает значительное непредсказуемое воздействие на элементы орбит. Даже при наличии мощных ЭВМ невозможно рассчитать элементы орбит планет на сроки, отстоящие более чем на 15 миллионов лет от настоящего момента.

Анализ возмущений и решение задач трех и, чаще, n -тел для вычисления основных характеристик орбитального движения космических тел естественного (планетные тела Солнечной системы, компоненты двойных и кратных звездных систем и т.д.) и искусственного (ИСЗ, АМС и т.д.) происхождения – основная область работы ученых – специалистов по небесной механике.

Вследствие возмущений происходят явления:

1. **Захват** движущегося небесного тела с превращением траектории его движения из параболической или гиперболической в эллиптическую. Захваченное небесное тело становится спутником захватившего его силой своего притяжения массивного небесного тела. Многие спутники планет-гигантов прежде были астероидами, захваченными гравитационными полями этих планет. Комета Шумейкера-Леви-9 была захвачена гравитационным полем Юпитера, изменила свою орбиту на эллиптическую и при очередном сближении столкнулась с планетой.

2. **Аккреция** – выпадение вещества из окружающего космического пространства на космическое тело под действием его притяжения.

3. **Приливы** – деформации литосферы (коры) и гидросферы космических тел в результате воздействия притяжения других космических тел.

На Земле приливы наблюдаются как периодические повышения и понижения уровня воды в морях и океанах вследствие разности между притяжением Луной и Солнцем всей Земли в целом и ее водной оболочки (рис. 6). Происходят 2 раза в сутки. Средняя их продолжительность 12 часов 25 минут. Приливы лунного происхождения в 2,2 раза мощнее солнечных приливов. Наиболее высокие (сизигийные) приливы происходят при совпадении направлений действия сил притяжения со стороны Луны и Солнца через 1–2 суток после новолуния и полнолуния. Помимо «космических» причин на высоту приливов влияют характеристики побережья: наиболее мощные приливы происходят в узких глубоких бухтах (фиордах) со скалистыми берегами. 18-метровые приливы наблюдаются на атлантическом побережье Канады; в России в Пенжинской губе Охотского моря они достигают 13-метровой высоты. Самые низкие (квадратурные) приливы происходят при противоположных направлениях действия сил притяжения Солнца и Луны, через 1–2 суток после I и III четверти.

Причиной приливов является приливное ускорение: разность ускорений, вызываемых притяжением небесного тела в данной точке и в центре планеты.

Согласно закону Всемирного тяготения Луна притягивает к себе каждую частицу твердой поверхности Земли и каждую каплю воды в ее океанах. Равнодействующая ускорений проходит через центр Земли: $a_r = \frac{GM}{r^2}$, r – расстояние до Луны.

В точках А и В Луна ускоряет движение вод: $a_A = \frac{GM_L}{(r - R_{\oplus})^2}$; $a_B = \frac{GM_L}{(r + R_{\oplus})^2}$

Противоположно направленные разности ускорений ($a_A - a_T$) и ($a_B - a_T$) почти равны. В точках А и В притяжение Луны ослабляет силу тяжести на земной поверхности, а в точках С и Д наоборот, усиливает. В результате действия этих ускорений вода в океанах на одной половине Земли стремится к точке А, над которой Луна в зените; в другой половине Земли – к точке В, где Луна в надире: в точках А и В будет прилив, в точках С и Д – отлив.

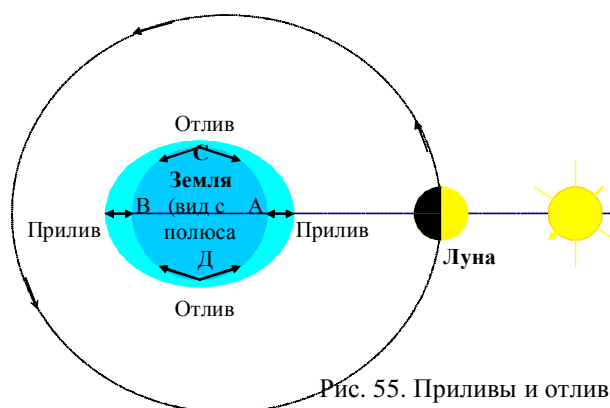


Рис. 55. Приливы и отливы

Первое научное объяснение приливов было сделано И. Ньютоном. Теория приливов совершенствовалась на протяжении столетий Л. Эйлером, Д.Г. Дарвином и другими учеными.

Использование энергии приливов может дать значительный вклад в энергетику приморских стран. Приливные электростанции (ПЭС) действуют в России, США и других государствах.

Приливы уменьшают скорость вращения космических тел, пока она не сравняется с синодическими периодами вращения этих тел вокруг центрального тела. Приливная сила со стороны Солнца значительно уменьшает скорость вращения вокруг своей оси близких к нему планет: меркурианский год ($87,94^d$) составляет $3/2$ меркурианских суток ($58,64^d$); почти совпадают периоды вращения Венеры вокруг Солнца ($224,7^d$) и вокруг оси ($243,0^d$).

Удаление Луны от Земли со скоростью $1,5$ см/год связано с уменьшением действия приливных сил, синхронизировавших периоды вращения Луны вокруг своей оси и вокруг Земли, и значительно уменьшивших скорость вращения Земли вокруг своей оси. Сила трения, возникающая между перемещающимися массами воды и твердыми породами дна океанов и внутри самой литосферы ведет к торможению вращения Земли. В настоящее время длительность суток увеличивается на $0,001^s - 0,002^s$ в столетие.

Земля в свою очередь тормозила вращение Луны, а поскольку масса нашего спутника в $81,2$ раза меньше массы Земли, то скорость вращения Луны вокруг своей оси уменьшалась быстрее и совпадает сейчас со скоростью вращения вокруг Земли. Луна повернута к Земле всегда одной и той же стороной. Однако можно наблюдать до 60% лунной поверхности за счет либраций – «покачиваний» лунной оси в результате действия приливных сил со стороны Земли и Солнца.

4. Прецессия – перемещение оси вращения Земли вокруг своего среднего положения по конусу с раствором под углом $23,5^\circ$ (см. рис. 17).

Совокупные причины прецессии: а) действие сил тяготения Луны и Солнца; б) наличие «избыточной массы» на экваторе Земли вследствие ее «сплюснутости» у полюсов; в) наклон земного экватора к плоскости эклиптики под углом $23,5^\circ$; г) гироскопический эффект вращения Земли вокруг своей оси. Следствиями космического явления прецессии являются небесные явления:

– «предварение равноденствий» («прецессия» в пер. с древнегреческого);

- перемещение точек весеннего и осеннего равноденствий вдоль эклиптики из одного зодиакального созвездия в другое со скоростью $0,52''$ в год;
- конусообразное движение полюсов мира по небесной сфере;
- большая продолжительность звездного года по сравнению с тропическим;
- изменение экваториальных координат небесных светил и т.д.

Области пространства, в которых силы притяжения космических тел взаимно уравниваются друг друга, называются точками Лагранжа. Их можно обнаружить в любой системе небесных тел: планет и их спутников, двойных и т.д.

Участки пространства вокруг космических тел внутри эквипотенциальной поверхности с гравитационным потенциалом, равным потенциалу в точке Лагранжа, называют **полостями Роша**. Космическое тело с недостаточно высокой плотностью в пределах полости Роша разрывается приливными силами: так образуются кольца планет-гигантов.

Гравитационно-обусловленные космические явления оказывают мощное влияние на все природные оболочки Земли и эволюцию планеты.

Работы ученых Э. Брикнера, А. Дугласа, Ч. Брукса, О. Петерсона, А.А. Чижевского, В.И. Вернадского позволили достоверно установить ряд циклов природных явлений. Самые продолжительные из них имеют гравитационную природу и воздействуют на все природные оболочки Земли. Так, эксцентриситет орбиты Земли испытывает незначительные изменения с периодичностью 90–92 тыс. лет; время прохождения перигелия – с периодичностью в 21000 лет. Прецессия и нутации изменяют угол наклона земной оси к плоскости ее орбиты с периодом в 40000 лет, влияя на климатические и биосферные процессы. При увеличении наклона земной оси вращение планеты ускоряется, возрастают летние температуры. Одновременное увеличение эксцентриситета земной орбиты с увеличением наклона земной оси ведет к глобальному потеплению: тают ледники, повышается уровень Мирового океана. Уменьшение угла e замедляет скорость вращения Земли, ослабляет контрасты зим и лет, которые становятся все холоднее. Совпадение уменьшения эксцентриситета орбиты и наклона земной оси приводят к глобальному похолоданию, росту ледникового покрова и понижению уровня Мирового океана.

Установлено воздействие на земной климат периодических деформаций не только земной орбиты, но и формы внутренних оболочек Земли, вызываемых притяжением планет, особенно Юпитера и Сатурна, влияние которых усиливается резонансом с процессами в недрах Земли. В число следствий входят дрейф географических полюсов со скоростью 6–10 см в год и периодические «большие» оледенения планеты.

Установлены следующие вариации скорости вращения Земли вокруг оси: 1) годовые; 2) сезонные; 3) месячные и полумесячные, с периодом около 14 суток, обусловленные лунно-солнечными зональными приливами (порождаются периодическими изменениями момента инерции Земли, экваториальное растяжение которой под действием сил тяготения Луны и Солнца вдоль прямой, проходящей через центры Земли и Солнца периодически изменяется в течение месяца). За сидерический месяц Земля 4 раза меняет скорость вращения: 2 раза ускоряет и 2 раза замедляет свое вращение со средней продолжительностью каждого режима 6,8 суток. Вблизи экстремумов приливных колебаний угловой скорости вращения Земли происходит перестройка синоптических (гидрометеорологических) процессов в атмосфере в естественных синоптических районах планеты. Предполагается, что ускорение вращения Земли с 1973 г. закончится в 2005–2010 гг.: начнется новая климатическая эпоха длительностью около 35 лет.

На заключительном этапе занятия в ходе фронтального обсуждения обучаемые проверяют и дополняют таблицу «Космические и небесные явления»:

Космические и небесные явления

| Космические явления | Небесные явления, возникающие вследствие данных космических явлений |
|--|--|
| Вращение Земли вокруг своей оси | <p>1. <u>Отображения истинного вращения Земли вокруг своей оси:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - суточное вращение небесной сферы вокруг оси мира с востока на запад; - восход и заход светил; - кульминация светил; - смена дня и ночи; - суточная абerrация светил; - суточный параллакс светил; - суточное изменение горизонтальных координат и часового угла светил. <p>2. <u>Физические явления:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - отклонение падающих тел к востоку; - существование сил Кориолиса |
| Обращение Луны вокруг Земли | <p>1. <u>Отображения истинного обращения Луны вокруг Земли:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - видимое движение Луны по небесной сфере; - смена фаз Луны; - солнечные и лунные затмения; - покрытия звезд и планет Луной |
| Обращение Земли вокруг Солнца | <p>1. <u>Отображения истинного вращения Земли вокруг Солнца:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - годовое изменение вида звездного неба; - годовое движение Солнца по эклиптике с запада на восток; - изменение полуденной высоты Солнца над горизонтом в течение года; - изменение продолжительности светового времени суток в течение года; - полярный день и полярная ночь на высоких широтах планеты; - смена времен года; - годовая абerrация светил; - годовичный параллакс светил; - годовичное изменение горизонтальных координат и часового угла светил |
| Обращение планет Солнечной системы вокруг Солнца | <p>1. <u>Видимое перемещение внутренних и внешних планет по небесной сфере.</u></p> <p>2. <u>Конфигурации планет:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - соединения: верхнее и нижнее; - элонгации (наибольшие удаления); - квадратуры: восточная, западная; - противостояния. <p>2. <u>Явления в системе Солнце – внутренняя планета:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - прохождение Меркурия и Венеры по диску Солнца. - смена фаз внутренних планет (Меркурия и Венеры). <p>3. <u>Явления в системах планет и их спутников:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - изменение положения спутника относительно диска планеты; - прохождения спутников по диску планет; - затмения спутников диском планет <p>4. <u>Покрытия звезд дисками планет (планетных тел)</u></p> |

| Космические явления | Небесные явления, возникающие вследствие данных космических явлений |
|---|--|
| Атмосферные явления | 1. <u>Атмосферная рефракция</u> : - искажение небесных координат светил; - необходимость поправки экваториальных координат небесных светил на рефракцию; - искажение формы и угловых размеров небесных светил по высоте на восходе и закате; - мерцание звезд; - «зеленый луч». 2. <u>Рассеяние света в атмосфере Земли</u> : - голубой цвет дневного неба; - синий, сиреневый цвет вечернего (утреннего) неба; - сумерки; - продолжительность светового времени суток (дня) всегда превышает промежуток времени от восхода до захода Солнца; - белые ночи; полярный день и полярная ночь на высоких широтах; - свечение ночного неба; - заря; красный цвет зари; - покраснение дисков Солнца и Луны на восходе и закате; - гало вокруг Луны и Солнца; - «ложные» солнца и луны. 3. <u>Метеоры, болиды, метеорные потоки, звездные дожди</u> . 4. <u>Серебристые и жемчужные облака</u> . 5. <u>Зодиакальный свет и противосияние</u> . 6. <u>Полярные (северные) сияния</u> . |
| Вращение компонент двойных звезд вокруг центра систем | Изменение блеска системы вследствие затмения (или покрытия) одной из звезд вторым компонентом системы |

Составляется **алгоритм работы с простыми таблицами (пример)**:

1. Установить значение используемых терминов по справочникам и словарям.
2. Установить прямую причинно-следственную связь на основе схемы «если ... то ...». *«Если Земля вращается вокруг своей оси, то происходит смена дня и ночи».*
3. Объяснить условия возникновения и причины данного явления (работа с обобщенными планами изучения космических и небесных явлений).
4. Определить смысловую нагрузку и эмоциональную окраску описанной связи.
5. Проверить положения необходимости и достаточности для прямой связи: ...
6. Продумать, можно ли установить взаимно-обратную связь: *«если происходит смена дня и ночи, то это доказывает, что Земля вращается вокруг своей оси».*
7. Истинно ли данное выражение: «да» / «нет», «почему». Проверка положений необходимости и достаточности для обратной связи: *необходимо ли для смены дня и ночи вращение Земли вокруг своей оси? Достаточно ли для смены дня и ночи вращения Земли вокруг своей оси?*
8. Повторить действия для всех положений данной строки таблицы.
9. Вывод из общей проверки: *"Вращение Земли вокруг своей оси является необходимым и достаточным условием для того, чтобы происходили следующие явления: ..."*

10. Общий вывод. Какую информацию мы получили в работе с материалом таблицы?

Практическое занятие 6

Определение космических расстояний, размеров и масс космических тел

В начале занятия обучаемые знакомятся с основными методами определения космических расстояний, размеров и масс космических тел, которые используются в небесной механике и астрофизике:

1. Геометрический метод определения космических расстояний основан на явлении параллактического смещения.

Угол, под которым со светила виден радиус Земли или радиус земной орбиты, перпендикулярный к лучу зрения, называется суточным или годичным **горизонтальным параллаксом**. Параллакс Солнца - $8,8''$; параллакс Луны - $57'$; параллакс Проксимы Центавра - $0,75''$ (расстояние 270000 а.е.).

Для измерения расстояний до тел Солнечной системы за базис берется расстояние между двумя обсерваториями или радиус Земли R_{\oplus} ; до ближайших звезд - радиус земной орбиты a .

Расстояние до звезд выражается в световых годах (св. год) или в парсеках (пк).

Световой год - расстояние, которое луч света в вакууме преодолевает за 1 год.
 $1 \text{ св. г.} = 9,463 \cdot 10^{15} \text{ м} = 63 \text{ 240 а.е.}$

Парсек – расстояние, с которого большая полуось земной орбиты, перпендикулярная лучу зрения, видна под углом в $1''$. Расстояние в парсеках обратно величине годового параллакса в секундах дуги.

$1 \text{ пк} = 3,26 \text{ световых годов} = 206265 \text{ а.е.} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м.}$

До последнего времени параллактический метод измерения межзвездных расстояний был применим лишь для звезд, удаленных от Солнечной системы на относительно небольшие расстояния (до 100 св. лет); расстояние до более далеких космических объектов определялось иными способами. В последние годы ряд ученых пытается при помощи космической системы радиотелескопов определять межгалактические расстояния, измеряя ничтожно малый параллакс космических мазеров – точечных источников радиоизлучения в ближайших галактиках.

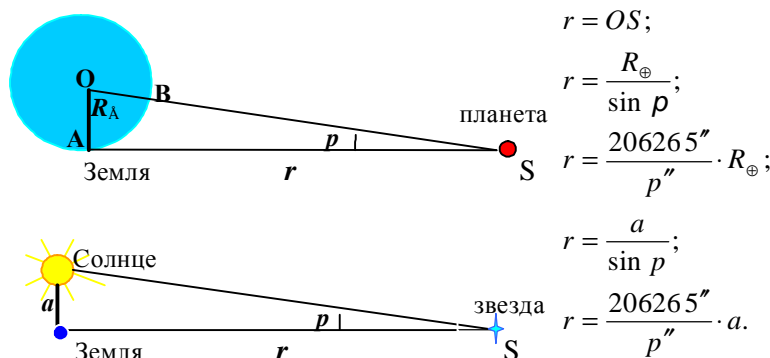


Рис. 56. Измерение космических расстояний

$$r = OS;$$

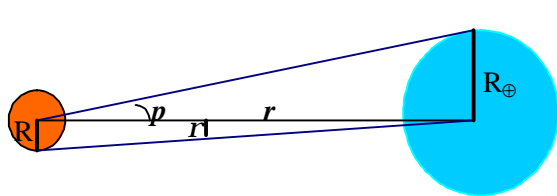
$$r = \frac{R_{\oplus}}{\sin p};$$

$$r = \frac{206265''}{p''} \cdot R_{\oplus};$$

$$r = \frac{a}{\sin p};$$

$$r = \frac{206265''}{p''} \cdot a.$$

2. Размеры космических тел определяются по формулам:



$$R = r \cdot \sin \alpha$$

$$R = \frac{r}{p} R_{\oplus}$$

$$R = \frac{r''}{206265''} \cdot r$$

где r – видимые угловые размеры светила, p – горизонтальный параллакс. Этот метод применяется лишь при возможности измерения диска светила, т.е. в основном для объектов Солнечной

Рис. 57. Измерение размеров космических тел

системы. Размеры звезд определяются другими способами.

В настоящее время расстояние и размеры тел внутри Солнечной системы определяются в основном посредством радиолокации.

3. Массы планет, Солнца, спутников планет, астероидов, двойных и кратных звезд и других космических тел – компонентов космических систем можно определять по формуле III закона Кеплера, уточненного Ньютоном: $\frac{(m_1 + M_1)}{(m_2 + M_2)} \cdot \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$, где M_1 и M_2 – массы небесных тел, m_1 и m_2 – соответственно массы их спутников, a_1 и a_2 – большие полуоси их орбит, T_1 и T_2 – сидерические периоды обращения.

Так, массу Солнца можно определить по формуле: $\frac{M_{\odot} + M_{\oplus}}{M_{\oplus} + m_{\zeta}} \cdot \frac{T_{\oplus}^2}{T_{\zeta}^2} = \frac{a_{\oplus}^3}{a_{\zeta}^3}$, где

M_{\odot} – масса Солнца, m_{ζ} , a_{ζ} , T_{ζ} – соответствующие характеристики Луны.

Массы спутников определяются по формуле: $m = M_1 - \frac{a_1^3}{a_2^3} \cdot \frac{T_2^2}{T_1^2} \cdot (M_2 + m_2)$.

Можно вывести формулы, позволяющие вычислить средние расстояния спутников от центральных тел (например, планет от Солнца и т.д.) и средние скорости их движения по орбитам: при $a_{\oplus} = 1$, $T_{\oplus} = 1$ $a = T^{\frac{2}{3}}$, $u = u_{\oplus} \sqrt{\frac{a_{\oplus}}{a}}$.

Вторая половина занятия посвящена решению задач.

Задания комплексного характера должны включать задачи, предусматривающие проверку знаний законов Кеплера, характеристик орбит космических тел, космических скоростей, теоретических основ космонавтики и расчет основных физических характеристик космических тел: массы, размеров и расстояния по известному годовичному параллаксу и видимым угловым размерам, а также физических условий на поверхности планетных тел.

Группа относительно несложных задач должна демонстрировать всеобщность закона Всемирного тяготения и его следствий – законов движения космических тел (Кеплера). Условия таких задач предельно разнообразны и предусматривают использование одних и тех же законов в разных ситуациях, для разных типов, классов и групп космических систем (двойные звезды, внесолнечные планетные системы, разные объекты Солнечной системы, движение космических аппаратов).

Группа более сложных задач призвана демонстрировать, насколько глубоко законы небесной механики, астрофизики и космогонии позволяют изучать движение космических тел, их основные физические характеристики, атмосферы, рельеф и условия на поверхности.

1. Исследования с борта автоматической межпланетной станции показали, что у 214-километрового астероида Евгения есть 13-километровый спутник Маленький Принц. Может ли космонавт перепрыгнуть с астероида на спутник и наоборот? Средняя плотность вещества астероида около $3,5 \text{ г/см}^3$.

Решение и ответ задачи:

1) Массы астероида M_1 и его спутника M_2 можно оценить, исходя из предположения их сферической формы: $M = r_{cp} \cdot V$, где $V = \frac{4}{3} p R^3$ – объем планеты.

$$\underline{M_1 \approx 1,8 \cdot 10^{19} \text{ кг}; M_2 \approx 4 \cdot 10^{15} \text{ кг.}}$$

2) Чтобы «перепрыгнуть» с одного космического тела на другое, космонавт должен приобрести космическую скорость u_{II} относительно поверхности этого космического тела: $u_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$, где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная, R – размеры (радиус) космического тела.

$$\underline{u_{II-1} \approx 150 \text{ м/с}; u_{II-2} \approx 9 \text{ м/с.}}$$

Поскольку максимальная скорость бега чел. составляет около 10 м/с, то перепрыгнуть с поверхности Евгении на Маленький Принц космонавт не сможет, а вот прыжок с Маленького Принца на Евгению может увенчаться успехом.

2. Определите большую полуось орбиты, период обращения и размеры крупнейшего из астероидов, Цереры, если в эпоху противостояния его параллакс составляет $5''$, а угловые размеры $0,8''$.

1) Расстояние до астероида рассчитывается по формуле: $r = \frac{R_{\oplus}}{\sin p}$ $r = \frac{206265''}{p''} \cdot R_{\oplus}$,

где p – параллакс космического тела, $R_{\oplus} = 6370 \text{ км}$ – радиус Земли. Большая полуось орбиты $a_* = r + r_{\oplus}$, где – расстояние от Земли до Солнца, $r_{\oplus} = 1,49 \cdot 10^8 \text{ км} = 1 \text{ а.е.}$ $\underline{r = 2,63 \cdot 10^8 \text{ км}; a_* = 4,12 \cdot 10^8 \text{ км} = 2,76 \text{ а.е.}}$

2) Размеры астероида определяются по формуле: $R = \frac{r}{p} R_{\oplus}$ или $R = \frac{r''}{206265''} \cdot r$,

где r – видимые угловые размеры светила. $\underline{R_* = 1020 \text{ км.}}$

3) Период обращения астероида T_* определяется из III закона Кеплера: $\frac{T_*^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{r_*^3}{r_{\oplus}^3}$, где $T_{\oplus} = 365,26^{\text{д}}$ – сидерический период обращения Земли. $\underline{T_* \approx 4,6 \text{ г.}}$

3. Определите, на каком расстоянии от звезды u Андромеды вращаются три ее планеты, если масса звезды равна $1,25 M_{\odot}$ (массы Солнца), а периоды обращения планет составляют соответственно: $T_1 = 4,71^{\text{д}}$; $T_2 = 241^{\text{д}}$; $T_3 = 1266^{\text{д}}$.

Решение задачи:

Среднее расстояние планеты от звезды – большая полуось ее орбиты a_* определяется из III закона Кеплера, уточненного Ньютоном: $\frac{M_* + m_*}{M_{\oplus} + m_{\oplus}} \cdot \frac{T_*^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a_*^3}{a_{\oplus}^3}$,

где a_{\oplus} – большая полуось орбиты Земли ($a_{\oplus} = 1 \text{ а.е.}$), T_{\oplus} и T_* – сидерические периоды обращения Земли и неизвестной планеты ($T_{\oplus} = 365,26^{\text{д}}$). При решении этой задачи соотношение масс звезды u Андромеды и Солнца нужно учесть, а массами планет пренебречь.

Ответы к задаче: $a_1 \approx 0,059 \text{ а.е.}; a_2 \approx 0,81 \text{ а.е.}; a_3 \approx 2,47 \text{ а.е.}$

4. Определите расстояние, размеры, массу, среднюю плотность, ускорение свободного падения, I и II космические скорости для Плутона, если синодический период его обращения $367^{\text{д}}$, параллакс $0,23''$, угловые размеры $0,08''$, а единственный спутник Плутона – Харон вращается на расстоянии 19640 км от

него с периодом $6,38^d$. Правда ли, что с поверхности Плутона Солнце будет видно как самую яркую из звезд?

Решение и ответы задачи:

1) Расстояние до планет рассчитывается по формуле: $r = \frac{R_{\oplus}}{\sin p}$ или $r = \frac{20626''}{p''} \cdot R_{\oplus}$,

где p – горизонтальный параллакс. $r \approx 38,5 \text{ а.е.} \approx 5,77 \cdot 10^9 \text{ км.}$

2) Размеры планет определяются по формуле: $R = \frac{r}{p} R_{\oplus}$ или $R = \frac{r''}{20626''} \cdot r$, где r

– видимые угловые размеры светила. $R_{\text{Пл}} \approx 0,2 R_{\oplus} \approx 1160 \text{ км.}$

3) Сидерический период Плутона $T_{\text{Пл}}$ определяется из формулы, связующей синодический S и сидерические периоды обращения внешней планеты:

$S = \frac{T \cdot T_{\oplus}}{T - T_{\oplus}} \Rightarrow T_{\text{Пл}} = \frac{S \cdot T_{\oplus}}{S - T_{\oplus}}$. $T_{\text{Пл}} \approx 76600^d = 210 \text{ лет.}$ Следует сообщить ученикам, что из-

за значительного эксцентриситета орбиты сидерический период обращения Плутона значительно больше рассчитанного значения и составляет около 248,9 лет.

4) Масса планеты определяется по формуле, выведенной на основе III закона Кеплера, уточненного Ньютоном: $\frac{(m_1 + M_1)}{(m_2 + M_2)} \cdot \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$.

При $T_{\text{Пл}} = 249 \text{ лет}$ $M_{\text{Пл}} \approx 0,002 M_{\oplus} \approx 1,3 \cdot 10^{22} \text{ кг.}$

5) Средняя плотность определяется по формуле: $r_{\text{ср}} = \frac{M}{V}$, где $V = \frac{4}{3} p R^3$ – объем планеты. $r_{\text{ср}} \approx 2500 \text{ кг/м}^3$;

6) I космическая скорость определяется по формуле: $u_I = \sqrt{\frac{G(M+m)}{r}}$, где r – расстояние от центра масс системы. II космическая скорость определяется по формуле: $u_{II} = \sqrt{\frac{2G(M+m)}{r}}$. $u_I = 0,87 \text{ км/с.}$ $u_{II} = 1,22 \text{ км/с.}$

7) Видимые размеры Солнца в небе Плутона r_2 определяются простой пропорцией с учетом видимых размеров Солнца в небе Земли $r_1 = 30'$: $\frac{r_2}{r_1} = \frac{a_{\oplus}}{a_{\text{Пл}}}$.

Поскольку видимые размеры Солнца в небе Плутона составляют около 0,78'', а разрешающая способность человеческого глаза около $1'$, то Солнце с поверхности Плутона действительно выглядит лишь самой ярчайшей из звезд на небе.

5. Какое полушарие Земли лучше согревается Солнцем, если эксцентриситет земной орбиты $e = 0,017$?

Решение и ответ:

1) Перигелий своей орбиты Земля проходит вблизи 22 декабря, когда в Южном полушарии разгар лета, а в Северном полушарии царит зима; афелий – около 22 июня, когда продолжительность дня и высота Солнца над горизонтом максимальны в Северном полушарии.

Расстояние от Земли до Солнца в перигелии и афелии рассчитывается по формулам: $r_{\text{Пл}} = a_{\oplus} - \frac{a_{\oplus}}{e}$; $r_{\text{А}} = a_{\oplus} + \frac{a_{\oplus}}{e}$. $r_{\text{Пл}} \approx 1,521 \cdot 10^8 \text{ км.}$ $r_{\text{А}} \approx 1,471 \cdot 10^8 \text{ км.}$

2) Освещенность Южного полушария Земли в перигелии (22 декабря) по сравнению с освещенностью Северного полушария Земли в афелии (22 июня) определяется, с учетом законов фотометрии, из соотношения: $\frac{E_{\text{С}}}{E_{\text{Ю}}} = \frac{r_{\text{Пл}}^2}{r_{\text{А}}^2}$.

Ответ: Южное полушарие Земли получает на 6,5% больше солнечного тепла и света, нежели Северное полушарие.

Задачи для домашнего решения:

1. Каковы расстояние до планеты, ее размеры, масса и средняя плотность, если во время противостояния с Землей ее горизонтальный параллакс $2,09''$, а видимый диаметр $45''$. Спутник вращается вокруг планеты на расстоянии $422\,000$ км, с периодом 1,77 суток. О какой планете идет речь?

Ответ к задаче: Юпитер: $r \approx 4,2 \text{ а.е.} \approx 6,29 \cdot 10^8 \text{ км}$; $R_{\text{Ю}} \approx 11R_{\oplus} \approx 71\,490 \text{ км}$;
 $M_{\text{Ю}} \approx 318M_{\oplus} \approx 1,9 \cdot 10^{27} \text{ кг}$; $\rho_{\text{сп}} \approx 1\,330 \text{ кг/м}^3$.

2. Параллакс планеты в эпоху противостояния равен $14,2''$, а угловые размеры $11''$. Что это за планета? Определите большую полуось ее орбиты, размеры и период обращения вокруг Солнца. Какие видимые размеры будут у Солнца в небе этой планеты? Сравните освещенность поверхности планеты с освещенностью поверхности Земли.

Ответ к задаче: Меркурий: $r \approx 9,12 \cdot 10^7 \text{ км}$; $a = 5,78 \cdot 10^7 \text{ км} \approx 0,39 \text{ а.е.}$;
 $R_{\text{М}} \approx 0,39R_{\oplus} \approx 4\,870 \text{ км}$; $T_{\text{М}} = 0,24 \text{ года} \approx 0,88 \text{ суток}$.

Размеры Солнца в небе Меркурия в 2,56 раза превышают размеры Солнца в небе Земли и составляют $1^{\circ} 16'$. Освещенность поверхности Меркурия Солнцем в 6,57 раза больше освещенности земной поверхности.

3. Составить задачу для задания с взаимопроверкой. Сделать письменный анализ условий, решения и ответов задачи. Подобрать вопросы для установления всех (прямых и взаимно-обратных) связей между условиями задачи.

Лекция 7

ОСНОВЫ КОСМОНАВТИКИ

На занятии осуществляется систематизация, обобщение и развитие «донаучных» космонавтических знаний обучаемых, сведений по космонавтике и реактивному движению, изученных ими за весь период школьного обучения. Результатом занятия является обретение целостного понятия о теоретических и практических основах космонавтики. Изложение материала должно опираться на ранее изученный материал по физике (основы классической механики: законы Ньютона, закон Всемирного тяготения, закон сохранения импульса, реактивное движение) и астрономии (астрометрии и небесной механики: законы Кеплера, сведения о космических скоростях, орбитах космических тел и возмущениях). Патриотический аспект воспитания реализуется в акцентировании внимания обучаемых на достижениях отечественной науки и техники, вкладе российских ученых в возникновение, становление и развитие ракетостроения и космонавтики. Исторических подробностей следует избегать, откладывая их на последующее занятие. Изложение материала сопровождается демонстрацией имеющихся диафильмов («Советские искусственные спутники Земли»; «Элементы механики космических полетов» и т.д.), фрагментов кино- и видеофильмов «Искусственные спутники Земли»; «Успехи СССР в освоении космоса»; «Космические полеты»; «Цель – Луна» (США).

Космонавтика – совокупность отраслей науки и техники, обеспечивающих исследование и освоение космического пространства и космических объектов и их систем с помощью различных космических летательных аппаратов (КЛА): ракет,

искусственных спутников Земли (ИСЗ), автоматических межпланетных станций (АМС), космических кораблей (КК), пилотируемых или управляемых с Земли.

Теоретический фундамент космонавтики образуют:

1. Астрономия (астрометрия, небесная механика и астрофизика).
2. Теория космических полетов – космодинамика – прикладная часть небесной механики, исследующая траектории полета, параметры орбит КЛА и т. д.
3. Ракетная техника, обеспечивающая решение научно-технических проблем создания космических ракет, двигателей, систем управления, связи и передачи информации, научного оборудования и т.д.
4. Космическая биология и медицина.

Основным и вплоть до настоящего времени единственным средством передвижения в космическом пространстве является ракета. Законы ракетного движения выводятся на основе законов классической механики: кинематики и динамики (II закона Ньютона, закона сохранения импульса и т.д.).

Формула К.Э. Циолковского описывает движение ракеты в космическом пространстве без учета действия внешних условий и характеризует энергетические ресурсы ракеты:

$$u = w \ln \frac{m_0}{m_K}, \quad u = 2,30259 w \lg \frac{m_0}{m_K}, \quad z = \frac{m_0}{m_K} - \text{число}$$

Циолковского, где m_0 – начальная, m_K – конечная массы ракеты, w – скорость истечения отбрасываемой массы по отношению к ракете (скорость реактивной струи), g – ускорение свободного падения.

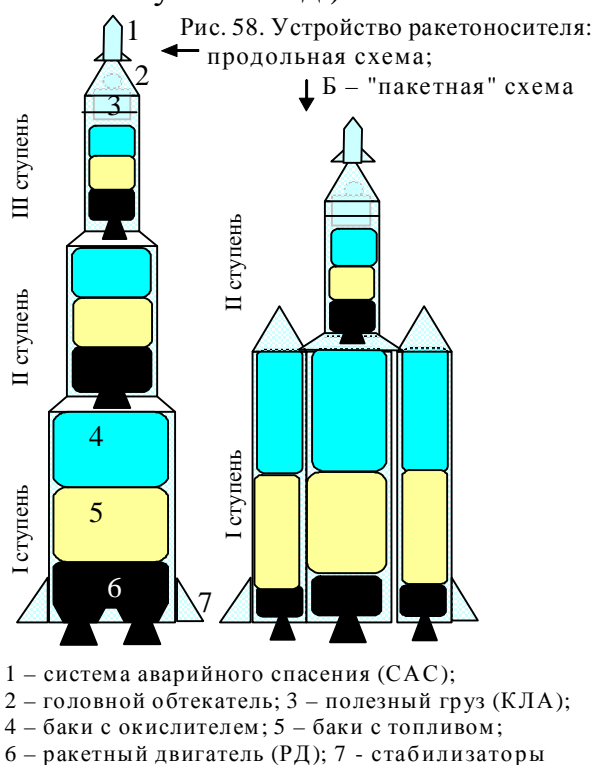
Ракета-носитель (РН) – многоступенчатая баллистическая ракета для выведения в космос полезного груза (ИСЗ, АМС, КК и др.). Ракетоносителями обычно являются 2 – 4 ступенчатые ракеты, сообщаящие полезному грузу I – II космическую скорость.

Ракетный двигатель (РД) – реактивный двигатель, предназначенный для ракет и не использующий для работы окружающую среду. В РД происходит не только преобразование подводимой к двигателю энергии (химической, солнечной, ядерной и т. д.) в кинетическую энергию движения рабочего тела двигателя, но и непосредственно создается движущая сила тяги в виде реакции струи вытекающего из двигателя рабочего тела. Таким образом, РД представляет собой как бы сочетание собственно двигателя и движителя.

Удельная тяга РД определяется формулой: $l = \frac{w}{g}$.

В настоящее время широкое применение нашли только химические РД.

Ракетный двигатель твердого топлива (РДТТ) применяется около 2000 лет – широко в ракетной артиллерии и ограниченно в космонавтике. Диапазон



тяг РДТТ колеблется от грамм до сотен тонн (для мощных РД). Топливо в виде зарядов (вначале дымного пороха, с конца XIX в. бездымного пороха, с середины XX в. – специальные составы) полностью помещается в камеру сгорания. После запуска горение обычно продолжается до полного выгорания топлива, изменение тяги не регулируется. По конструкции и эксплуатации наиболее прост, но имеет ряд недостатков: низкая удельная тяга, однократность запуска и т. д. Устанавливается на некоторых РН США («Скаут», «Тор», «Титан»), Франции и Японии. Применяется также в качестве тормозных, спасательных, корректирующих и других систем.

Жидкостный ракетный двигатель (ЖРД) – РД, работающий на жидком ракетном топливе. Предложен К.Э. Циолковским в 1903 г. Основной двигатель современной космической техники. Тяга от долей грамма до сотен тонн. По назначению ЖРД делятся на основные (маршевые), тормозные, корректирующие и т. д. В качестве топлива применяют: из окислителей – кислород жидкий, четырехокись азота, перекись водорода; из горючих – керосин, гидразин, аммиак жидкий, водород жидкий. Наиболее перспективно сочетание жидких водорода и кислорода (РН «Энергия»).

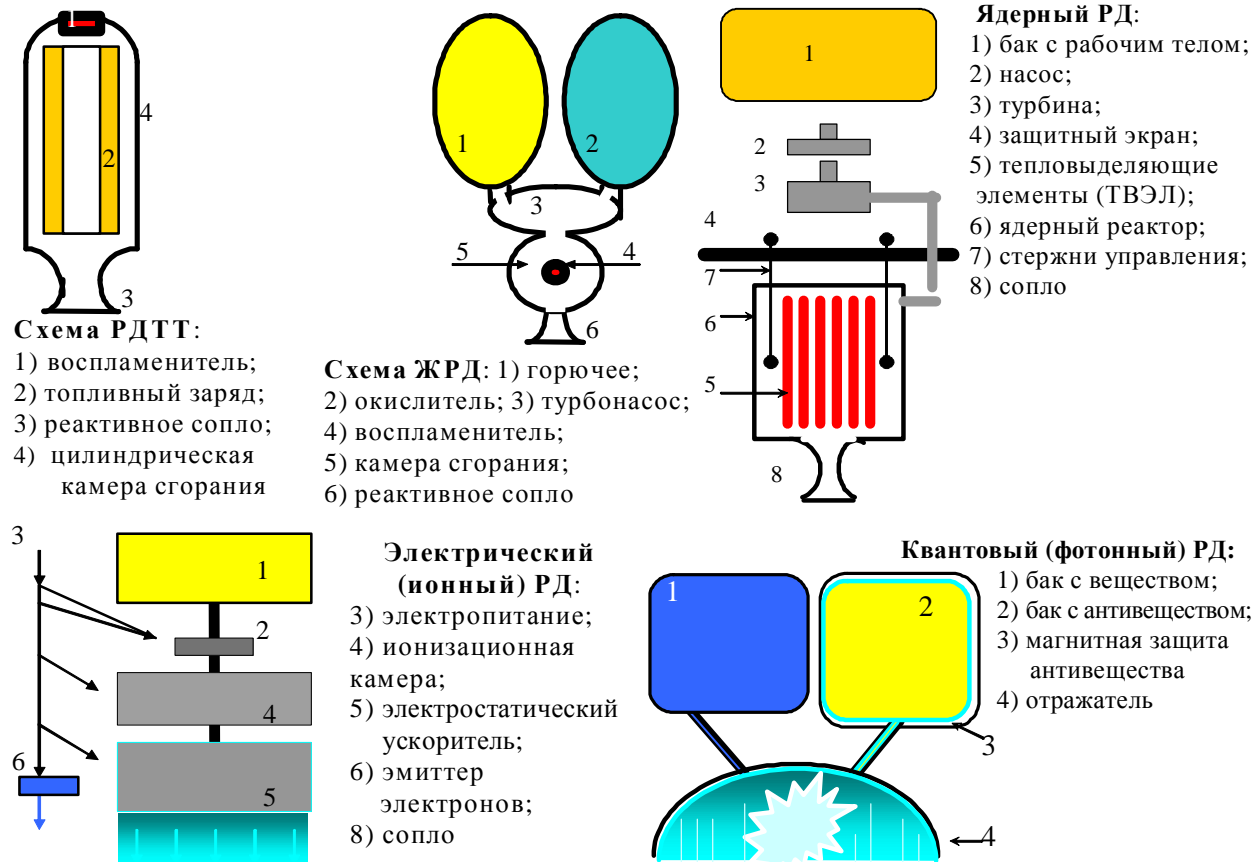


Рис. 59. Схемы основных типов ракетных двигателей

Для увеличения удельной тяги перспективно использование ядерной энергии. Экспериментальные образцы ядерных ракетных двигателей (**ЯРД**) разрабатывались с середины 60-х годов в СССР и США. В настоящее время Россия является единственным государством, располагающим маршевым ЯРД.

Продолжаются разработки **электрических РД (ЭРД)** – электротермических, электромагнитных, ионных. Первые экспериментальные образцы ЭРД были созда-

ны в СССР в 1929–1930 гг.; в настоящее время ЭРД используются в качестве двигателей ориентации КЛА России и США. Маршевый ионный двигатель установлен на АМС, запущенной в конце 90-х годов в США.

С точки зрения механики космического полета РД разделяются на:

1. Двигательные системы с ограниченной скоростью истечения $\omega \approx 3 - 30$ км/с, определяемой наибольшей температурой реактивной струи (химические, ядерные и т. д.). Они работают непродолжительное время (минуты, секунды) в атмосфере и вакууме на малых активных участках траектории полета (сотни километров).

2. Системы ограниченной мощности с отдельным источником энергии, от которого зависит их эффективность (электрические и др.).

3. Системы с ограниченной тягой (парусные и радиоизотопные).

На активных участках полета движение КЛА зависит от работы его двигателей; на пассивных участках траекторий на движение КЛА влияют силы притяжения со стороны космических тел, давление света и солнечный ветер, а в верхних слоях атмосфер – аэродинамические силы трения.

Основные характеристики пассивного движения КЛА можно определить при решении задачи 2 тел.

В центральном поле тяготения массивных космических тел КЛА движутся по кеплеровским орбитам, рассматривавшимся ранее в лекции «Основы небесной механики».

Траектории межпланетных полетов различаются по форме, длительности перелета, энергетическим затратам и другим факторам, зависящим от цели и особенностей космического полета. КЛА практически никогда не движутся по прямой линии: траектории их движения (кроме некоторых идеализированных случаев) представляют собой отрезки кривых II-го порядка (окружности, эллипса, параболы и гиперболы), соединяющие орбиты космических тел или сами тела.

Выделяют 3 пассивных участка траекторий межпланетных полетов:

1) внутри «сферы действия» Земли, в которой движение КЛА определяется только силой земного притяжения; 2) от границы сферы действия Земли до границы сферы действия космического тела – цели полета, самому длинному и продолжительному, на котором движение КЛА определяется притяжением Солнца; 3) внутри сферы действия космического тела – цели полета.

Для выхода из сферы действия Земли КЛА должен иметь скорость $v > v_{\text{п.}}$. Добавочная скорость, которую находящийся на орбите искусственного спутника КЛА должен обрести для того, чтобы выйти из сферы действия Земли, называется скоростью выхода $u_{\text{в.}}$:

$$u_{\text{в.}} = \sqrt{u_0^2 - u_{\text{п.}}^2 \left(1 - \frac{r}{R_{\text{д.}\oplus}}\right)}, \text{ где } r - \text{расстояние от космического тела, } R_{\text{д.}\oplus} - \text{радиус сферы действия}$$

Земли ($R_{\text{д.}\oplus} = 925000$ км).

При запуске КЛА с поверхности Земли необходимо учитывать:

1) скорость и направление вращения Земли вокруг своей оси;

2) скорость и направление вращения Земли вокруг Солнца ($v_{\oplus} = 29,785$ км/с).

Весьма сложен требующий больших энергетических затрат запуск ИСЗ, вращающихся в направлении, противоположном направлению вращения Земли вокруг своей оси; более сложен запуск КЛА по траектории, не лежащей в плоскости эклиптики.

Если скорость выхода совпадает по направлению со скоростью движения Земли v_{\oplus} , орбита КЛА, кроме перигелия, лежит вне орбиты Земли (рис. 60в).

При противоположной направленности скорости v_e орбита КЛА, за исключением афелия, лежит внутри орбиты Земли (рис 60а).

При той же направленности и равенстве скоростей $v_e = v_{\oplus}$ орбита КЛА становится прямой, по которой КЛА будет падать на Солнце около 64 суток (рис. 60г).

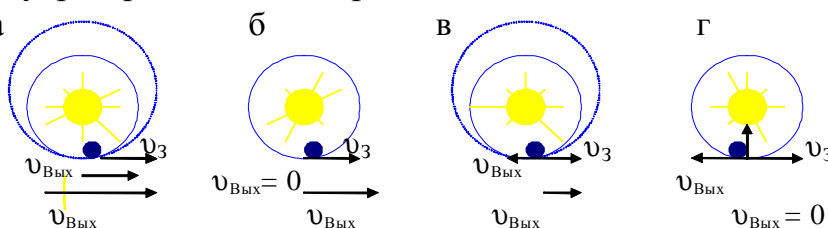


Рис. 60. Гелиоцентрические траектории в характерных случаях выхода из сферы действия Земли

При $v_e = 0$ орбита КЛА совпадает с орбитой Земли (рис. 60б).

Чем выше скорость v_e КЛА, тем больше эксцентриситет его эллиптической орбиты. Путем сравнительно несложных расчетов определяется значение v_e , необходимое для того, чтобы перигелий или афелий орбит КЛА лежал на орбите внешней или внутренней планет, $u_0 = \sqrt{u_e^2 + u_{H\oplus}^2}$.

Траектории полета КЛА, одновременно касающиеся орбит Земли и космических тел – целей межпланетного полета, называются **гомановскими траекториями** (в честь рассчитавшего их немецкого ученого В. Гоманна).

Для внешних планет: $u_e = 42,122 \sqrt{\frac{r}{1+r}} - u_{\oplus}$. Для внутренних планет: $u_e = u_{\oplus} - 42,122 \sqrt{\frac{r}{1+r}}$,

где r – среднее расстояние планетного тела от Солнца.

Продолжительность перелета по гомановской траектории рассчитывается по формуле: $T = 64,5688 \sqrt{(1+r)^3}$ средних солнечных суток.

При расчетах траектории межпланетного полета по гомановским траекториям необходимо учитывать взаимное расположение (начальную конфигурацию) Земли, Солнца и планеты-цели, характеристики и особенности движения планет по их орбитам. Например, полет к Марсу по кратчайшей гомановской траектории займет всего $69,9^d$, к Юпитеру – 1,11 года, к Плутону – 19,33 года. Однако реально оптимальное взаимное положение Земли, Солнца и этих планет происходит исключительно редко и для уменьшения времени перелета требуется повысить v_e , что требует дополнительных энергозатрат. Поэтому, в числе прочих причин, пилотируемые полеты к планетам Солнечной системы существенно дороже и сложнее, нежели исследование этих планет с помощью АМС, которые могут годами лететь к своим целям по самым экономичным траекториям. С учетом действия возмущений со стороны планет и Солнца АМС и космические корабли должны иметь двигатели для корректировки траектории движения.

При достижении сферы действия планеты-цели, для выхода на эллиптическую или круговую орбиту вокруг нее КЛА должен уменьшить скорость до значения, меньшего Π космической для данной планеты.

В межпланетной навигации широко используется маневр КЛА в гравитационном поле планет Солнечной системы.

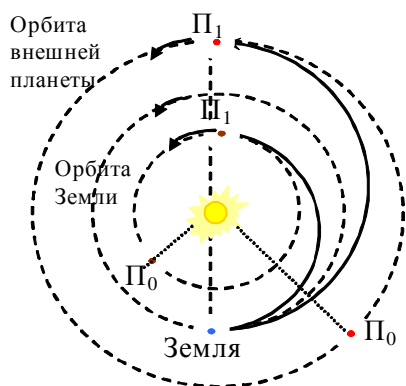


Рис. 61. Гомановские траектории перелета (С, З, П, П-Солнце, Земля, внешняя и внутренняя планеты, 0 и 1 – индексы начала и конца перелета). Углы начальной конфигурации – Z_0CP_0 и Z_0CP_1

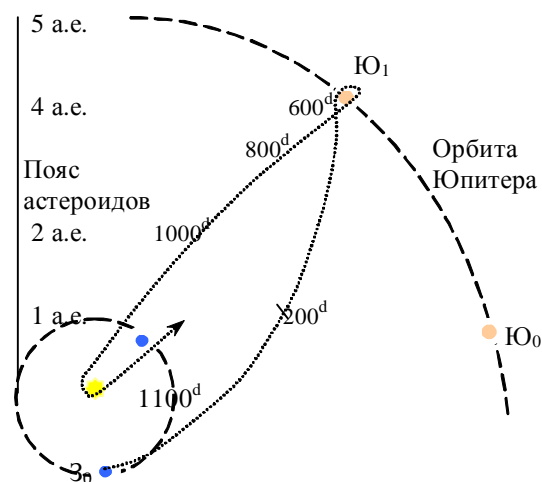


Рис. 62. Полет к Солнцу через Юпитер

При движении в центральном поле тяготения массивного космического тела на КЛА действует сила притяжения со стороны этого тела, изменяющая скорость и направление движения КЛА. Направленность и величина ускорения КЛА зависят от того, насколько близко пролетит КЛА от космического тела и от угла j между направлениями входа и выхода КЛА в сферу действия этого тела.

$$\text{Скорость КЛА изменяется на величину: } \Delta u = 2u_0 \cdot \sin\left(\frac{180^\circ - j}{2}\right)$$

Наибольшее ускорение КЛА приобретает при движении по траектории, проходящей на минимальном расстоянии от космического тела, если скорость входа КЛА в сферу действия равна I космической скорости u_1 у поверхности этого тела, при этом $\Delta u = u_1$, $j = 120^\circ$.

При облете Луны КЛА может увеличить свою скорость на 1,68 км/с, при облете Венеры на 7,328 км/с, при облете Юпитера на 42,73 км/с. Скорость выхода КЛА из сферы действия планеты можно значительно увеличить включением двигателей в момент прохождения перигея.

На рис. 61-62 приведены некоторые расчетные траектории межпланетных перелетов.

Астронавтика – раздел космонавтики, исследующий проблемы межзвездных полетов. В настоящее время изучает в основном теоретические проблемы механики перелета, поскольку современная наука не располагает сведениями для решения технических вопросов достижения звезд.

Для межзвездного полета КЛА должен выйти за пределы сферы действия Солнца, равной $9 \cdot 10^{12}$ км. Межзвездные расстояния огромны: до ближайшей звезды 270000 а.е.; внутри описанной вокруг Солнца сферы радиусом 10 пк находится всего около 50 звезд.

В настоящее время в полет за пределы Солнечной системы отправились АМС «Пионер-10 и -11» и «Вояджер-1 и -2», которые удалятся на расстояние 1 светового года через тысячи лет.

Существующие и даже перспективные виды РД не пригодны или мало пригодны для межзвездных перелетов, поскольку не могут обеспечить разгон КЛА до скорости свыше 0,1 скорости света c .

К ближайшим из звезд теоретически возможны лишь полеты «в один конец» автоматических межзвездных зондов (АМЗ) или пилотируемые перелеты с целью колонизации подходящих планет с экипажем в состоянии «обратимой смерти» (гибернации) или со сменой поколений внутри корабля, что требует решения множества не только технических, но и этических, психологических, биологических проблем (экипаж никогда не возвратится на Землю; большую

часть жизни или даже всю жизнь при смене поколений ему предстоит провести внутри корабля; необходимо создание полностью замкнутой экосистемы КЛА и т. д.); еще до старта земные астрономические наблюдения должны дать гарантии существования планет земной группы с подходящими для жизни условиями у звезды – цели полета (иначе полет теряет смысл).

«Голубой мечтой» современной астронавтики является теоретически идеальный квантовый (фотонный) РД с $w = c$ – единственно пригодный для осуществления межзвездных перелетов в пределах Галактики.

Движение физических тел со скоростями, близкими к скорости света, рассматриваются в общей теории относительности (ОТО), исследующей пространственно-временные закономерности любых физических процессов.

В рамках ОТО формула Циолковского обобщается и принимает вид:
$$\frac{m_1}{m_0} = \left(\frac{1 - \frac{u_1}{c}}{1 + \frac{u_1}{c}} \right)^{\frac{c}{2w}}; \quad z = \frac{m_0}{m_1},$$

где z – число Циолковского, m_0 – начальная, m_1 – конечная массы КЛА, u_1 – конечная скорость КЛА в земной системе отсчета, w – скорость реактивной струи относительно корабля. Скорости света не сможет достигнуть даже фотонный звездолет при $w = c$.

Полет со скоростью выше скорости света согласно современной науке невозможен для любых материальных объектов. Однако (теоретически) звездолет может перемещаться со скоростью, близкой скорости света, $u_1 \rightarrow c$.

Возможны варианты межзвездного полета:

1. Полет в 3 этапа: разгон КЛА до наибольшей скорости; полет по инерции с выключенными двигателями; торможение до нулевой скорости.
2. Полет в 2 этапа с постоянным ускорением: первую половину пути КЛА увеличивает скорость с ускорением $g \sim g_{\oplus} = 10 \text{ м/с}^2$, а затем начинает торможение с тем же ускорением.

Согласно основным положениям специальной теории относительности для наблюдателя на борту КЛА при приближении к скорости света все физические процессы будут замедляться в $(\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}})^{-1}$ раз, и во столько же раз будут сокращаться расстояния вдоль направления движения КЛА: пространство и время как бы «сжимаются». В системе отсчета корабля он будет неподвижен, а относительно Земли и цели полета будет перемещаться со скоростью $v \leq c$.

Собственное (корабельное) время T_K полета и независимое время, протекающее с момента старта на Земле T_{\oplus} , рассчитываются по разным формулам: $T_K = \frac{2c}{g} \text{Arch} \left(1 + \frac{gr}{2c^2} \right)$, где

$$T_{\oplus} = \frac{2c}{g} \text{sh} \frac{gT_K}{2c},$$

$\text{ch } x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$ и $\text{sh } x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$ – функции гиперболического косинуса и гиперболического синуса, r – расстояние до цели полета.

При непрерывном ускорении $g = 10 \text{ м/с}^2$ полет до звезды **а** Центавра займет по корабельным часам 3,6 года, по земным – 4,5 года; полет к центру Галактики займет по корабельным часам $T_K = 19,72$ года, по земным $T_{\oplus} = 27000$ лет; полет к галактике М31 («туманности Андромеды»), ближайшей из спиральных галактик, займет соответственно $T_K = 28$ лет и $T_{\oplus} = 3,5$ миллиона лет!

Такова плата за межзвездные полеты согласно «парадоксу близнецов»: облетевшие пол-Галактики и постаревшие на десятки лет астронавты возвратятся на Землю тысячи и миллионы лет спустя после старта. Помимо чисто этических проблем вернувшихся из, по сути, «полета в один конец» пришельцев из далекого прошлого в мир будущего, встает важная проблема ценности доставленной астронавтами информации: за время полета наука на Земле не стоит на месте!

Очень важны энергетические проблемы межзвездных полетов: если для межпланетного пилотируемого перелета Земля– Марс будет затрачена энергия около $8,4 \cdot 10^9$ кВт·ч (вырабатываемой электростанцией мощностью 100 МВт за 8,5 часов), то для разгона КЛА до $0,2 c$ потребуются энергия 10^{15} кВт·ч – вся энергия, вырабатываемая электростанциями Земли за 10 лет. Увеличение скорости до $0,4 c$ влечет увеличение расхода энергии в 16 раз при 100 % КПД двигателей! Запасы топлива для термоядерного РД составят свыше 99 % массы КЛА. Для синтеза антивещества для единственного полета фотонного звездолета требуется такое количество энергии, что современная наука не может указать его источника в пределах Солнечной системы.

Таким образом, по законам физики на современном уровне развития земной цивилизации межзвездные пилотируемые полеты КЛА практически невозможны. Исследования ближайших звезд межзвездными беспилотными АМЗ вполне возможны (в настоящее время в США и России разрабатываются проекты запуска АМЗ к Проксиме Центавра, звезде Барнарда и некоторым другим объектам в середине XXI в.). Имеющие несколько десятков тонн массы полезной нагрузки АМЗ будут разгоняться до скорости $0,1-0,2 c$ солнечными, радиоизотопными или термоядерными РД, время полета составит десятки или даже сотни лет.

Семинар 4

История космонавтики

Важность семинарского занятия обусловлена тем, что современная молодежь плохо знакома с историей космонавтики вообще и отечественной, российской в частности. Сведения по космонавтике имеют огромное значение для формирования научного мировоззрения и научной картины мира в сознании учащихся и, особенно для их патриотического воспитания, однако современные школьные программы почти не предусматривают изучения данного материала.

Рекомендуемые темы докладов и сообщений:

1. История возникновения и становления советской космонавтики (о работах К.Э. Циолковского, И.В. Мещерского, Н.И. Кибальчича, Ф.А. Цандлера, С.П. Королева, В.П. Глушко, М.К. Тихонравова и других ученых) – доклад.

2. История становления космонавтики за рубежом – сообщение.

3. Первые космические победы (о запусках первых ИСЗ, АМС и КК) Советского Союза и США – 2 доклада или 1 доклад и сообщение.

4. Искусственные спутники Земли (основные классы ИСЗ, устройство, применение, результаты) – доклад.

5. Космические корабли и орбитальные станции (основные классы, назначение, устройство, история пилотируемых полетов) – доклад о советской программе, сообщение об американской.

6. Практическое применение средств космонавтики в науке, технике, культуре, промышленности и сельском хозяйстве – доклад, сообщения.

7. Исследования Луны беспилотными и пилотируемыми КЛА; первые люди на Луне – доклад.

8. Исследование Солнечной системы при помощи АМС – несколько кратких сообщений исторического характера и о последних запусках.

9. Экология космоса – доклад.

Доклады иллюстрируются рисунками, схемами, фотографиями; можно сочетать доклад с демонстрацией фильма.

В конце занятия учащиеся осуществляют работу, аналогичную проводившейся на предыдущих семинарах. Итоговая таблица может иметь вид:

| Дата, государство | Основные события, достижения, открытия | Ученые, конструкторы, космонавты |
|-------------------|--|----------------------------------|
|-------------------|--|----------------------------------|

Началом космической эры считают 4 октября 1957 г., дату запуска первого в мире советского искусственного спутника Земли.

Мысли и мечты о полетах в космос, о непосредственном посещении человеком других небесных тел встречаются уже в трудах древнегреческих мыслителей. В начале нашей эры в Китае были изобретены порох и созданы первые реактивные устройства – ракеты, применявшиеся для подачи сигналов, праздничных фейерверков и лишь отчасти на войне (пугать конницу противника). Известно имя первого изобретателя реактивного летательного аппарата, крупного ученого и первого летчика-испытателя Ван Гу, совершившего в начале XVI в. первую, закончившуюся катастрофой попытку пилотируемого ракетного полета. Аппарат Ван Гу представлял собой два соединенных фермой коробчатых воздушных змея с пилотским креслом посередине и 47 пороховыми РДТТ. Сохранились полулегендарные сведения о «виманах» – древнеиндийских летательных аппаратах, рабочим телом которых служила ртуть.

В течение почти 2 000 лет конструкции и способы применения ракет почти не изменились. Мысль о полете чел. в космос (на Луну) на многоступенчатой ракете встречается в книге Сирано де Бержерака (XVII в.); в середине XIX в. о межпланетных ракетных полетах писал французский фантаст А. Эро.

Появление новых химических материалов и мощных взрывчатых веществ во второй половине XIX в. благоприятствовало развитию военного ракетостроения, но великое будущее РД грезилось лишь немногим ученым. В архивах охранного отделения затерялись бумаги Н.И. Кибальчича (1853–1881 гг.) – активного деятеля «Народной Воли», приговоренного к смерти за покушение на царя Александра II. Первый российский проект пилотируемого РЛА был разработан в тюрьме в ожидании казни.

В 90-х годах прошлого в. неизвестный тогда калужский учитель физики и математики Константин Эдуардович Циолковский (1857-1935 гг.) и незаслуженно забытый ныне физик князь И.В. Мещерский (1859-1935 гг.) заложили основы современной ракетной техники и космонавтики.

Впервые К. Э. Циолковский высказал мысль об использовании РД для межпланетных полетов в 1883 г. В 1903 г. была опубликована его книга «Исследование мировых пространств реактивными приборами», в которой К.Э. Циолковский впервые вывел законы движения ракеты с изменяющейся массой в космическом пространстве и свою знаменитую «формулу Циолковского», показывающую, что скорость ракеты прямо пропорциональна скорости истечения реактивной струи (удельной тяге РД), обосновал возможность применения РД «для межпланетных сообщений», определил К.П.Д. ракеты, исследовал влияние силы сопротивления воздуха на движение ракеты и т.д. Константин Эдуардович нашел ряд важных инженерных решений конструкций ракет, впервые в мире дал основы теории ЖРД, исследовал элементы их конструкции и различные виды топлива, проблемы организации межпланетных перелетов и перспективы развития космонавтики.

В 1904 г. профессор И.В. Мещерский опубликовал основные уравнения ракетодинамики.

В 1921 г. Ф.А. Цандлер (1887-1933 гг.), крупный советский ученый и изобретатель, теоретически исследовал различные вопросы устройства РД, космических кораблей и полетов (его работы легли в основу советских и американских «лунных» проектов 60-х годов), пропа-

гандировал и популяризировал идею космических полетов. Другим основоположником мировой теоретической космонавтики был А.И. Шаргея, живший под псевдонимом Ю.В. Кондратюк (1897-1942 гг.). Профессор Н.И. Тихомиров (1860-1930 гг.) создал в Москве первую отечественную исследовательскую и опытно-конструкторскую лабораторию ракетной техники. В 1927 г. она была перебазирована в Ленинград под названием ГДЛ (Гидродинамическая лаборатория). В 1932 г. в Москве организована ГИРД (Группа исследования реактивного движения) под руководством С.П. Королева. Первые пуски экспериментальных ракет с ЖРД начались в 1933 г. На базе ГДЛ и ГИРД был создан РНИИ (Реактивный НИИ).

За рубежом работы по исследованию реактивного движения были начаты: в 1907 г. в США Р. Г. дардом (1882-1945 гг.), построившим в 1927 г. первую ракету с ЖРД; во Франции в 1912 г. Р. Эно-Пельтри (1881-1957 гг.); наиболее интенсивные исследования велись в 20-е годы в Германии Г. Ганевиндтом, Г. Обертом, Р. Небелем, К. Риделем, И. Винклером и В. Гоманном.

В 30-е годы под руководством ученых С.П. Королева, В.П. Глушко, М.К. Тихонравова в РНИИ были созданы образцы мирной и боевой ракетной техники; наиболее известны реактивные установки залпового огня «Катюша» (БМ-13 и др.), авиационные реактивные двигатели и ускорители, крылатые ракеты и ракетопланы, исследовательские ракеты с ЖРД и т.д. К сожалению, почти все ученые РНИИ пострадали в конце 30-х годов от сталинских репрессий, многие из них погибли. Это явилось главной причиной того, что многие из разработанных образцов советской реактивной техники (реактивный истребитель, противотанковые ракеты и т.д.) не успели появиться на фронтах Великой Отечественной войны.

Широкое применение реактивной техники во время Второй мировой войны побудило многие страны формировать работы по ракетной технике. Создание атомного оружия поставило перед военными и учеными задачу создания надежных средств его доставки к цели. Появилось стремление использовать ракеты в мирных целях: для исследования верхних слоев атмосферы, космических лучей и т.д. К концу 50-х годов Советский Союз располагал 3 космодромами: Байконур в Казахстане, Капустин Яр в Поволжье и Плесецк на севере России. В США космодром располагался на мысе Канаверал во Флориде (позднее часть запусков осуществлялась с базы ВВС Ванденберг).

Ведущими ракетными конструкторами в Советском Союзе стали С.П. Королев, В.П. Глушко, В.Н. Челомей. Ведущим ракетным конструктором США стал бывший штурман-баннфюрер СС, создатель баллистических ракет А-4 («Фау-2») В. фон Браун, вывезенный американскими спецслужбами из Германии после окончания войны.

4 октября 1957 г. двухступенчатая РН «Спутник» – мирный вариант первой в мире межконтинентальной баллистической ракеты Р-7, совершившей первый успешный полет 21 августа 1957 г. (стартовая масса 267 т, тяга РД I ступени 3904000 Н, РД II ступени – 912000 Н; топливо – керосин и жидкий кислород) – впервые в истории вывела на околоземную орбиту с апогеем 947 км искусственный спутник ПС-1 («простейший спутник») массой 83,6 кг. В его герметичном 58-см шарообразном корпусе помещался радиопередатчик и некоторые приборы. Передавая радиосигналы, ПС-1 за 92 суток 1400 раз облетел вокруг Земли, пролетев расстояние свыше 60 миллионов километров.

Запуск первого в мире ИСЗ стал эпохальным событием. Он наглядно доказывал высокий уровень развития науки и техники в Советском Союзе. Даже в наши дни российская космонавтика продолжает оставаться самой передовой в мире.

Американское правительство восприняло запуск первого в мире ИСЗ «уничтожающим ударом по престижу Соединенных Штатов»: факт отставания США от СССР был очевиден всему миру. Президент США Дж. Кеннеди принял решение: «Наша страна должна взять на себя обязательство еще до истечения нынешнего десятилетия высадить чел. на Луне».

3 ноября 1957 г. в Советском Союзе состоялся запуск второго ИСЗ массой 508,3 кг. На борту его находилась научная аппаратура и живое существо – собака Лайка. Третий советский ИСЗ (15.5.1958 г.) стал первой комплексной геофизической лабораторией. На борту спутника массой 1327 кг было установлено 12 приборов: для исследования состава и давления верхних слоев атмосферы, магнитного поля, космических лучей, микрометеоритов и т.д. Этот полет заложил основы новой науки – космической физики.

В последующие годы в нашей стране была создана сеть станций слежения, управления полетами и обработки полученной информации. Для решения многочисленных научных и народнохозяйственных задач были созданы спутники серий «Космос», «Протон», «Электрон», «Прогноз», «Ореол». Аналогичные программы были разработаны в США, Франции, Англии, Китае и других странах.

Первым американским спутником стал запущенный 1 февраля 1958 г. «Эксплорер» массой 4,6 кг. Третьей космической державой стала Франция, запустившая собственным РН «Диамант» ИСЗ «Астерикс» массой 42 кг (26.11.1965 г.); четвертой – Япония (10.02.1970 г.); пятой – Китай (24.04.1970 г.); шестой – Великобритания (28.10.1971 г.); седьмой – Индия (18.07.1980 г.); восьмой – Израиль (19.09.1988 г.). В скором времени в число космических держав войдут Бразилия и КНДР. С 4.10.1957 г. до 1.01.2000 г. 4480 запусками РН в космос выведено свыше 4430 космических аппаратов различного назначения 38 государств мира.

12 декабря 1959 г. Генеральная Ассамблея ООН учредила комитет по использованию космического пространства в мирных целях. В 1967 г. был подписан Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела. В 1969 г. запуском ИСЗ «Интеркосмос-1» началась международная программа космических исследований странами СЭВ. В 1975 г. было создано Европейское космическое агентство ЕКА (ESA), в которое к 2000 г. вошло 14 государств.

Первая в мире автоматическая межпланетная станция «Луна-1» – «Мечта», была запущена 2 января 1959 г. Она впервые развила II космическую скорость, прошла в 6000 км от Луны и стала первым искусственным планетным телом Солнечной системы. «Луна-3» (4.10.1959 г.) впервые сфотографировала невидимую с Земли сторону Луны – так на карте Луны появились море Москвы, море Мечты, кратер Циолковский и другие русские названия и имена.

Почти одновременно с исследованиями Луны советские АМС начали исследования Венеры и Марса: 12.02.1961 г. была запущена АМС «Венера-1» (643 кг); 1.11.1962 г. – АМС «Марс-1» (893,5 кг). Спускаемый аппарат АМС «Венера-3» 1.03.1966 г. совершил посадку на поверхность Венеры. В 1962 г. к изучению Венеры присоединились американцы (АМС «Маринер-2»).

12 апреля 1961 г. в 9 ч 07 мин стартовавшая с космодрома Байконур трехступенчатая ракета-носитель «Восток» вывела на орбиту космический корабль «Восток-1» массой 4725 кг с первым космонавтом Земли Юрием Алексеевичем Гагариным. Во время полета Ю.А. Гагарин проводил научные исследования, наблюдал Землю с высоты 328 км. Совершив виток вокруг Земли, «Восток-1» совершил благополучную посадку... Это был триумф России и всего человечества!

Ввиду малой мощности американских РН, первые полеты американских астронавтов – А. Шепарда (5.06.1961 г.) и В. Гриссома (21.7.1961 г.) были суборбитальными: корабли летели по баллистической траектории и находились в космосе до 15 мин. Первый орбитальный полет КК «Меркурий-Френдшип-7» массой 1,4 т совершил 20 февраля 1962 г. полковник Дж. Гленн.

Стартовавший 6 августа 1961 г. КК «Восток-2» с летчиком-космонавтом Г.С. Титовым в течение суток сделал 17 оборотов вокруг Земли. В августе 1962 г. был совершен первый групповой полет П.Р. Поповича и А.Г. Николаева на КК «Восток-3» и «Восток-4». «Восток-6» (июнь 1963 г.) пилотировала первая в мире женщина-космонавт В.В. Терешкова. Программа «Восток» явилась фундаментом космических исследований России: каждый из 6 полетов кораблей «Восток» приносил открытия в науке и технике – астрономии, физике, биологии, медицине. РН «Восток» до сих пор используются для запусков ИСЗ России и других стран.

Дальнейшее развитие космических программ СССР связано с полетами КК «Восход». Модернизированный трехступенчатый РН «Восход» был мощнее и совершеннее РН «Восток». Экипаж «Восхода-1» состоял из 3 космонавтов: пилота В.Н. Комарова, ученого К.П. Федосеева и врача Б.Б. Егорова. Впервые была испытана система мягкой посадки, позволяющая советским кораблям приземляться в любых условиях, на суше и на море (до 80-х годов американские КК могли совершать посадку только на воду). 18 марта 1965 г. во время полета КК «Восход-2» летчик-космонавт Алексей Архипович Леонов впервые вышел в открытый космос.

До 1962 г. советская космическая программа не выделяла идею пилотируемого полета

к Луне из общей программы исследований. Запуск 24 советских АМС серии «Луна» и 8 АМС «Зонд» позволил существенным образом углубить и расширить знания о природе Луны. «Луна-9» (3.02.1966 г.) впервые осуществила мягкую посадку на лунную поверхность. Первыми живыми существами на борту АМС «Зонд-5» в 1968 г. облетели Луну черепахи. Образцы лунного грунта были доставлены на Землю АМС «Луна-16», «Луна-20» и «Луна-24» в 1970-76 гг. 17 ноября 1970 г. к научной работе на поверхности Луны приступил управляемый с Земли самоходный аппарат «Луноход-1», проводивший в течении 300 суток подробные научные исследования лунной поверхности на расстоянии свыше 10,5 км. 8 января 1973 г. приступил к работе «Луноход-2»: на протяжении 37 км были проведены многочисленные эксперименты, получено свыше 20000 фотографий и т.д.

В США за 6 пилотируемыми полетами «Меркуриев» с 1964 г. последовала серия запусков двухместных кораблей «Джемини» массой до 3,5 т. Американские астронавты осваивали полеты на околоземной орбите, совершили выход в открытый космос, отрабатывали сближение и стыковку с автоматической станцией «Аджена». В начале 60-х годов стартовали первые РН серии «Сатурн», разработанные специально для лунной программы США. Первый пилотируемый полет КК «Аполлон» состоялся в октябре 1968 г. Первый удачный запуск американской АМС «Рейнджер-7» к Луне состоялся в 1964 г. В декабре 1968 г. «Аполлон-8» облетел Луну. В ходе полетов КК «Аполлон-9» и «Аполлон-10» астронавты провели «генеральную репетицию» лунной экспедиции. РН «Сатурн-5» была самой мощной из американских: длина ее составляла 110 м, стартовая масса 3000 т (из них 2840 т топлива); она выводила на околоземную орбиту груз до 140 т или 50 т на трассу полета к Луне. Космический корабль «Аполлон» имел длину 17,7 м, массу 43,6 т и состоял из двигателя, баков с топливом, энергетических батарей и небольшого конусообразного спускаемого аппарата, в котором во время полета помещались 3 астронавта. К нему был пристыкован 2-местный лунный экспедиционный модуль (ЛЭМ) – аппарат для высадки экспедиции на Луну.

Перед экипажем «Аполлона-11» Н. Армстронгом, Э. Олдрином и М. Коллинзом стояла главная цель американской космической программы – высадка на поверхность Луны. Старт состоялся 16 июля 1969 г., через 102 часа ЛЭМ «Орел» совершил посадку на Луну в районе Моря Спокойствия. Н. Армстронг и Э. Олдрин ступили на поверхность Луны: «Это небольшой шаг для чelов., но огромный скачок для всего человечества» и провели на ней 22 ч за различными исследованиями, установкой научных приборов, сбором образцов грунта и фото- и телесъемкой. Затем «Орел» стартовал, состыковался на орбите с КК «Аполлон», где их ожидал М. Коллинз и возвратился на Землю.

За период с 16.7.1969 г. по 7.12.1972 г. США осуществили 6 благополучных экспедиций к Луне на КК «Аполлон 12 – 17» (во время полета «Аполлона-13» на его борту произошел взрыв энергетической установки и астронавты лишь чудом вернулись живыми). Во время полетов и на Луне астронавты провели многочисленные научные эксперименты и доставили на Землю около 400 кг лунного грунта. Из-за финансовых трудностей (программа обошлась США в 26 млрд. долларов) и войны во Вьетнаме количество полетов было сокращено.

Работы над советской лунной программой начались лишь в 1964 г. в 2 конструкторских бюро С.П. Королева и В.П. Глушко, одновременно разрабатывавших 3 различных проекта ракет-носителей: сверхмощную РН «Н-1», способную выводить на орбиту до 100 т полезного груза, и широко применяемые в наши дни РН «Протон», РН и КК «Союз». Лунная программа «Заря» во многом походила на американскую и предусматривала вначале беспилотный облет Луны, выполненный в 1968-70 гг. КК «Зонд», затем – пилотируемый, и посадку на Луне одноместного ЛЭМ. Была полностью реализована часть программы, предусматривающая предварительные исследования Луны с помощью АМС, созданы и испытаны все технические системы, в том числе лунный модуль, вездеход для космонавтов, лунный скафандр (на 20 кг легче американского). Приступил к тренировкам отряд космонавтов во главе с А.А. Леоновым.

Смерть генерального конструктора С.П. Королева и приход к власти в стране Л.И. Брежнева оборвали развитие многих интереснейших космических программ, первой из которых стала наша лунная программа.

Универсальный, многоцелевой транспортный КК «Союз» предназначался не только для участия в лунной программе, но и для доставки космонавтов на борт орбитальных станций. «Союз» имел массу около 6,6 т, длину до 7,95 м и состоял из орбитального отсека для проведения научных исследований и отдыха космонавтов, спускаемого аппарата с пультом управления, креслами космонавтов, системой жизнеобеспечения и другим оборудованием, и приборно-агрегатного отсека с двигательной установкой. Корабль выводился на орбиту трехступенчатой РН «Союз» длиной 39,3 м массой 310 т (в настоящее время РН «Союз» модернизирована, после чего ее грузоподъемность увеличилась на 1 т).

Первый полет «Союза» состоялся в апреле 1967 г., последний сороковой в 1981 г. В 1979 г. на базе «Союза» был создан усовершенствованный КК «Союз-Т» с усиленной конструкцией корпуса, новыми двигателями и бортовыми системами управления, и запущен первый автоматический вариант «Союза» – грузовой корабль «Прогресс», способный доставлять на орбитальные станции до 2,3 т полезного груза: научную аппаратуру, топливо, запасы воздуха, воды и пищи. К настоящему времени состоялось свыше 50 запусков КК «Прогресс» и «Прогресс-М». Корабли «Союз-Т» совершили 15 полетов. В 1987 г. на смену им пришел более совершенный «Союз-ТМ». При его создании особое внимание уделяли повышению надежности корабля, и совершивший к нашему времени свыше 40 полетов «Союз-ТМ» признан лучшим в мире транспортным космическим кораблем для обслуживания как российских, так и международных орбитальных станций и в качестве международного спасательного корабля. В начале XXI в. их заменит новый модернизированный «Союз ТМА».

60-е годы стали временем начала активного изучения планет Солнечной системы средствами космонавтики: до середины 80-х годов в СССР было запущено 58 АМС. Подробные исследования строения, химического состава, динамики атмосферы и поверхности Венеры с картографированием, изучением химического состава и физико-механических свойств грунта были проведены серией из 16 советскими АМС «Венера» и 4 американскими АМС «Маринер» и «Пионер-Венера». АМС «Вега-1» и «Вега-2» (1986 г.) доставили к Венере посадочные аппараты и аэростатные зонды, изучавшие ее атмосферу на высоте 54 км 46 ч, а затем вместе с АМС ЕСА «Джотто» и АМС Японии «Суйсей» исследовали с пролетной траектории газопылевую оболочку и ядро кометы Галлея.

Марс исследовался 7 советскими АМС «Марс» и 4 американскими АМС «Маринер»; первую мягкую посадку на его поверхность совершил запущенный в 1971 г. аппарат «Марс-2» (4650 кг), но не удалось провести эксперимент с управляемым с Земли марсоходом; наиболее интересные результаты дали экспедиции АМС США «Викинг-1... -2», проведенные в 1976 г. Марс – самая трудная для исследований планета (лишь 50 % запусков и экспериментов с АМС завершаются удачно, тогда как для всех других планет Солнечной системы эта величина составляет 90 %).

Подготовка к пилотируемому полету на Марс в СССР началась с 1959 г.

Согласно проекту С.П. Королева и Г.Ю. Максимова, планировался пилотируемый облет Марса без высадки на его поверхность. Запуски 75-тонного «Тяжелого межпланетного корабля» (ТМК) с 3 космонавтами на борту и разгонного блока с ЖРД при помощи ракетоносителей Н-1 должны были состояться 8.06.1971 г.; космонавты должны были возвратиться на Землю 10.07.1974 г. Проект К.П. Феоктистова предусматривал сборку на орбите многомодульного КК, оснащенного ядерным ракетным двигателем УР-900. Продолжительность экспедиции составляла около 670 суток, в т.ч. 30-суточные исследования Марса с орбиты искусственного спутника и 5 суток работы на его поверхности. По проекту В.Н. Челомея, запуск модулей КК на околоземную орбиту должен был осуществляться при помощи РН «Протон». Полеты не состоялись из-за смерти С.П. Королева, неготовности РН Н-1, присоединения СССР к «лунной гонке» и по политическим причинам.

В 70-е годы на их основе активно разрабатывался проект «Аэлита», а в 1986 г. был создан новый многообещающий проект, основанный на идее использования тяжелых РН «Энергия»; 4-местный 350-тонный КК оснащался ионным РД. С 2003 г. планировалось осуществить два испытательных полета в автоматическом режиме, с исследованием Марса серией разнообразных спускаемых аппаратов, в т.ч. марсоходов; третий завершился недельным

пребыванием космонавтов на поверхности планеты.

В 1973 г. к Юпитеру и Сатурну были запущена АМС США «Пионер-11», исследовавшая эти планеты в 1974 и 1979 гг. – первый аппарат, покинувший пределы Солнечной системы.

В 1974-1975 гг. АМС США «Маринер-10» исследовал Меркурий.

В 1977 г. начался «Большой Тур» – программа исследований планет-гигантов Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна АМС США «Вояджер-1» и «Вояджер-2».

История создания орбитальных станций началась в 1971 г., когда РН «Протон» вывела на орбиту станцию «Салют» (один из блоков корабля для пилотируемого облета Марса, намечавшегося С.П. Королевым на середину 70-х годов). Станция «Салют» имела массу около 18,9 т и состояла из рабочего отсека, в котором размещалась система жизнеобеспечения, пульт управления и научная аппаратура; переходного отсека, к которому пристыковывался КК «Союз», и агрегатного отсека с двигателями и запасами топлива. Энергоснабжение обеспечивали солнечные батареи площадью 42 м² и аккумуляторы. В жилых помещениях поддерживались нормальный состав, давление, температура и влажность атмосферы (американские астронавты дышат почти чистым кислородом при пониженном давлении).

Создание обитаемых орбитальных станций (ОС) было признано одним из приоритетных направлений советской космической программы. В 1973 г. на орбиту был выведен «Салют-2» (он же ОС «Алмаз» оборонно-хозяйственного назначения), в 1974 г. – «Салют-3» и «Салют-4», в 1975 г. – «Салют-5». Самой известной станцией стала запущенная в 1977 г. ОС «Салют-6», за 5 лет на ней проработало 27 космонавтов 16 экспедиций, в том числе международных (Чехословакии, Польши, ГДР, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Кубы, Монголии и Румынии). В 1977-1978 гг. космонавты Ю.В. Романенко и ГОДАМ. Гречко проработали на ней 96 суток; в 1980 г. Л.И. Попов и В.В. Рюмин прожили на ней 185 суток. В апреле 1982 г. на орбите появилась усовершенствованная станция «Салют-7»: до 1986 г. на ней проработало 10 экспедиций, 22 космонавта, включая представителей Франции и Индии.

С начала 80-х гг. на орбиту выводятся не имеющие мировых аналогов тяжелые советские ИСЗ с ядерной энергетической установкой.

Кризис американской космической программы был порожден ее ограниченностью: единственной целью пилотируемых полетов была Луна, а разработанные специально для этой программы РН «Сатурн» и КК «Аполлон» были мало пригодны для исследования и освоения околоземного космического пространства. США имели лишь одну ОС «Скайлэб», выведенную в космос в 1973 г.; КК «Аполлон» доставили на нее 3 экспедиции из 3 астронавтов; наибольшая продолжительность полета составила 84 суток. В июле 1975 г. состоялся совместный советско-американский полет кораблей «Союз-19» и «Аполлон» (программа ЭПАС) и в течение последующих 6 лет до 1981 г. – ввода в строй многоцелевого транспортного космического корабля (МТКК) «Спейс Шаттл» («Космический Челнок») – в США не было ни одного пилотируемого полета.

Разработка МТКК началась почти одновременно в США и СССР в начале 60-х годов. Были разработаны различные модели ракетопланов и «орбитальных самолетов»; некоторые из них – Х-15 и «Хотол» в США; «Буря» и «Спираль» в СССР были испытаны при полетах в верхних слоях атмосферы; спуск с орбиты в автоматическом режиме совершил беспилотный аэрокосмический самолет «Бор-4» («Космос-1374», 1982 г.). Советский МТКК «Буран» и «Спейс Шаттл» внешне очень похожи друг на друга. Они стартуют в вертикальном положении, короткие крылья служат для посадки. Американский «Челнок» использует собственный двигатель с подачей топлива из навесного бака и 2 навесных ускорителя с РДТТ. «Буран» выводится на орбиту РН «Энергия». Длина «челноков» составляет около 40 м, они способны выводить на околоземные орбиты до 30 т полезного груза и находиться в космосе до 2 недель. Состав экипажа до 7 человек. США имеют в настоящее время 4 МТКК, совершивших в космос в общей сложности свыше 90 полетов.

Первый старт самой мощной в мире РН «Энергия», способной выводить на орбиту полезную нагрузку до 100 т, состоялся в 1987 г. «Буран» совершил пока единственный беспилотный полет. Созданные в эпоху «холодной войны» «челноки», несмотря на перспективное будущее МТКК, являются пока дорогостоящими, неэкономичными и ненадежными космическими аппаратами в сравнении с одноразовыми советскими ракетносителями и не нашли пока приме-

нения в российской космонавтике, а США не имеет пока других космических кораблей. Стоимость РН «Протон» составляет около 5 000 000 \$, а запуск обходится в 20 миллионов долларов.

История космонавтики знает не только победы. В нее навечно вписаны имена тех, кто не вышел на орбиту, кто не вернулся из полета. 23.03.1961 г. во время наземных тренировок погиб В.В. Бондаренко; 27.01.1967 г. во время наземных испытаний КК «Аполлон» погибли В. Гриссом, Э. Уайт, Р. Чаффи. Смерть помешала совершить полет В. Щеглову, О. Кононенко, Л. Иванову, А. Щукину. В результате неисправности парашютной системы при возвращении на Землю погиб пилотирующий «Союз-1» В.М. Комаров. Разгерметизация спускаемого отсека КК «Союз-11» унесла жизни первого экипажа станции «Салют» Г.Т. Добровольского, В.Н. Волкова, В.И. Пацаева. 28.01.1986 г. на 73 секунде полета на высоте 14 км взорвался МТКК «Челленджер»: погибли 7 астронавтов, в их числе женщины: исследователь Дж. Резник и учитель К. Маколифф. 1.02. 2003 г. при входе в плотные слои атмосферы разрушился МТКК «Колумбия»: погибли астронавты Р. Хасбенд, В. МакКул, М. Андерсон, К. Чаули, Д. Браун, Л. Кларк, И. Рамон (Израиль).

В 1986 г. началось строительство орбитальной станции «Мир» – базового блока для постройки многоцелевого, действовавшего до 2000 г. крупнейшего в мире пилотируемого комплекса, в состав которого входили специализированные модули «Квант», «Квант-2», «Кристалл», «Спектр» и «Природа». Размеры ОС «Мир» составляли 33×29 м, общая масса с двумя пристыкованными КК около 136,5 т (с МТКК «Дискавери» – 248 т). На станции «Мир» до 2000 г. на протяжении 27 длительных экспедиций работали 103 космонавта. Поставлен ряд рекордов по продолжительности полета: космонавт В.В. Поляков проработал на станции 438 суток (8.01.1994 – 22.03. 1995); С.В. Авдеев проработал на ней в течении 3 полетов в общей сложности 748 суток. Из женщин самые длительные полеты совершили Е. Кондакова (169 суток) и Ш. Люсид (188 суток). Было совершено свыше 50 выходов в открытый космос общей продолжительностью свыше 250 ч. Одновременно с основными на станции до месяца работали экипажи 17 международных экипажей: Сирии, Болгарии, Афганистана, Франции, Японии, Великобритании, Австрии, Германии, ЕСА, США, Канады и других государств.

В России близ Владивостока строится новый российский космодром Свободный. Созданы новые РД-0124, усовершенствован РД-180 (закуплены для использования РН США) и не имеющие мировых аналогов ядерный РД-0410 (предназначенный для корабля марсианской экспедиции) и ядерная энергетическая установка «Топаз-М»; РН нового поколения «Союз-2» (до 8,2 т полезной нагрузки), модульные РН серии «Ангара» с ЖРД РД-191М и РД-0120 (полезная нагрузка РН «Ангара-1/2 составляет 2-3,4 т; «Ангара-5» – 21 т; «Ангара-4» – 30-31 т); «Протон-М» (свыше 20 т полезной нагрузки), «Зенит», «Рокот»; конверсионные РН «Рикша», «Рокот», «Волна», «Штиль», «Стрела»; серия разгонных блоков для АМС (КВРБ и др.); возвращаемая (многоразовая) I ступень универсальной РН «Байкал»; два новых МТКК. Многоцелевая авиационно-космическая система «МАКС» включает в себя самолет-носитель Ан-225 грузоподъемностью 275 т (или, в ближайшей перспективе двухфюзеляжный триплан «Геркул» грузоподъемностью 450 т) и воздушно-космический самолет (ВКС) с внешним топливным баком, с массой выводимой полезной нагрузки до 10 т (стоимость выведения ниже 750 \$ за 1 кг) и может запускаться с любого крупного аэродрома. Система МАКС может эксплуатироваться в 3 вариантах: с пилотируемым ВКС и внешним топливным баком «МАКС-ОС», грузовым беспилотным кораблем и одноразовым блоком выведения «МАКС-Т» и ВКС многоразового использования «МАКС-М». Использование новых российских МТКК позволит снизить себестоимость вывода на орбиту до 500-600 \$/кг, тогда как сейчас стоимость полезного груза, выводимого на низкие орбиты одноразовыми РН России, США и Китая составляет около 10 000 \$/кг, а европейскими РН – 14 000 \$/кг.

16 октября 2003 г. РН «Чанчжен-2F» вывела на околоземную орбиту первый пилотируемый китайский КК «Шенчжоу-5» («Волшебный корабль» массой 7,6 т, внешне напоминающего КК «Союз»). Первым космонавтом КНР стал полковник ВВС Янг Ли Вэй.

Франция в тесном содружестве с ЕКА использует для запусков ИСЗ РН серии «Ариан»: «Ариан-1» выводит на геостационарную орбиту до 1,7 т; «Ариан-4» – до 5 т; «Ариан-5»

(с 1996 г.) – до 10 т. В ноябре 2003 г. Франция подписала договор о запусках РН «Союз» с космодрома Куру во Французской Гвиане.

Новые РН и МТТК разрабатываются ЕСА, Францией, Германией, Японией, США («Дельта-3» с полезной нагрузкой 8,3 т; «Дельта-4» с нагрузкой до 14 т; «Венчестар») и Китаем. Ряд коммерческих фирм в США планирует проведение «туристических» суборбитальных полетов в космос на борту малых МТТК нового поколения (стоимость билета 100000\$); подобные проекты разрабатываются и в России (в 2005-2006 гг. планируется вывести на орбиту коммерческую орбитальную станцию для «космических туристов»). До 2020 г. планируется разработать гибридные РД (жидкий кислород + твердое топливо), создать воздушно-космические самолеты – проекты Х-30 (США), «Хотол» (Великобритания), «Гермес» (Германия), «Аватар» (Индия), тросовые системы и ударные пушки.

Возобновились исследования Солнечной системы. В 1989 г. АМС США «Магеллан» завершил картографирование Венеры, начатое АМС «Венера-15 и -16». В 1990 г. для исследования полярных областей Солнца с пролетной траектории с выходом за пределы плоскости эклиптики запущена АМС США «Улисс»; запущенная в 1995 г. АМС США «SONO» исследует Солнце из точки либрации в системе Солнце-Земля; КЛА «Генезис» (США) ведет отбор вещества солнечного ветра в точке Лагранжа L1 для последующей доставки на Землю. Поверхность Луны исследовалась в 1994 г. АМС США «Клементина» и в 1998 г. – «Лунар Проспектор». К Марсу в 1988 г. были запущены АМС СССР «Фобос»; в 1992 г. – АМС США «Марс-Обсервер»; в 1996 г. – АМС России «Марс-96» – их полеты оказались неудачными, с потерей аппаратов вследствие аварий. В июле 1997 г. на поверхности Марса работал посадочный аппарат АМС США «Марс Пасфайндер»; на орбиту искусственного спутника выведен аппарат «Марс Глобал Сервейер»; в 1998 г. запущена АМС Японии «Нодзومي». Однако следующие запуски американских АМС к Марсу были неудачными: в 1999 г. при попытке посадки на поверхность Марса погибли спускаемые аппараты «Марс Клаймит Орбитер» и «Марс Поуле Лэндер». В 2003 г. к Марсу были запущены АМС «Марс Экспресс» со спускаемым аппаратом «Бигль-2» (ЕКА, РН «Союз») и «MER» (США, РН «Дельта-2») с двумя 130-кг марсоходами.

В первой половине XXI в. Россия, США и ЕКА планируют совместные исследования с доставкой марсианского грунта. С 1990 г. исследует Юпитер и его спутники АМС США «Галилей», изучавший с пролетной траектории астероиды Гаспра и Ида в 1991-1993 гг. В 1997 г. запущен к Сатурну АМС США «Гюйгенс» со спускаемым аппаратом «Кассини» для исследования атмосферы и поверхности Титана (достигнет цели в 2004 г.); АМС США «NEAR» исследовал астероид Эрос.

Китайская программа изучения Луны – проект «Чэньэ» предусматривает в 2006-2010 гг. исследование Луны АМС с окололунной орбиты, затем отправку лунохода и доставку образцов с поверхности Луны (РН «CZ-3A» и «CZ-3B», способные доставить на окололунную орбиту до 2,4 т и на поверхность Луны до 400 кг). До 2005 г. к исследованиям Луны при помощи собственных АМС планируют присоединиться Япония и Индия.

Проект «Луна-Глоб» (Россия, 2005 г.) предусматривает подробные исследования внутреннего строения Луны и химического состава грунта. АМС (РН «Союз-2» или «Молния») включает в себя: 1) спутник Луны (для дистанционного исследования поверхности и ретрансляции передач спускаемого аппарата); 2) спускаемый аппарат полярной станции; 3) 2 спускаемых аппарата для исследования экваториальных областей Луны; 4) систему из 10 высокоскоростных пенетраторов для сейсмических исследований. В рамках проекта возможны замена стационарной полярной станции мини-луноходом, доставка образцов лунного грунта на Землю.

Образцы грунта спутника Марса Фобоса будут доставлены на Землю АМС «Фобос-грунт» (Россия, 2005-07 гг.). Новые исследования Меркурия будут проводиться АМС «Месенджер» (США, запуск намечен на 2004 г.) и АМС «БепиКоломбо» (ESA, 2009 г.). Планируется запуск АМС Японии «Muses-C» для доставки на Землю вещества астероида. Программа KRAF США предусматривает подробные исследования кометных ядер. В России разработана программа исследования Плутона. Российско-германская АМС «Интергелиос» будет изучать Солнце с круговой полярной околосолнечной орбиты с расстояния до 20 млн. км.

Однако в настоящее время не только российская, но и мировая космонавтика пережи-

вает кризис по причинам не столько экономического, сколько политического характера. Под вопросом стоит запуск АМС США «Плутон-Койпер Экспресс». Остались нереализованными программы ЕКА «Евромун 2000» и SMART, предусматривавшие новые исследования Луны в 2000-2002 гг. с доставкой образцов лунного грунта. В 2001 г. в США были закрыты проекты МТКК Х-33, Х-34 и Х-38 – «спасательной шлюпки» для МКС. Реализация проектов ОС – «Мир-2» (Россия) и «Фридом» (США) отодвинута на неопределенное время.

Дальнейшее развитие долговременных пилотируемых полетов связано с созданием Международной космической станции (МКС). Базовый функционально-грузовой блок «Заря» (РФ) и узловой блок «Юнити» (США) выведены на орбиту в конце 1998 г.; в 2000 г. с ними состыковался служебный модуль «Звезда» (РФ), была установлена ферма каркаса Z1; в 2002 г. – модуль «Пирс». С 2004 г. на МКС массой 470 т будет работать международный экипаж из 7 человек.

Предполагается создание долговременной космической станции в точке Лагранжа L2.

С 12.04.1961 г. до 1.01. 2000 г. проведено 230 пилотируемых космических экспедиций: 90 – СССР/РФ и 140 – США. Космический полет совершили свыше 393 человек: 91 российских космонавтов, 247 американских, 55 – из 28 других государств, в том числе 36 женщин. Выполнено 169 выходов в открытый космос: 89 российскими и 80 – американскими космонавтами. А.Я. Соловьев во время 5 экспедиций на ОС «Мир» совершил 16 выходов в открытый космос общей продолжительностью свыше 77 часов. По 6 космических полетов совершили Дж. Янг, С. Макгрейв, К. Браун, Ф. Чанг-Диас (США); 5 раз летали в космос В.А. Джанибеков, ГОДАМ. Стрекалов, А.Я. Соловьев и С.К. Крикалев (СССР), Ш. Люсид, Б. Данбар, Т. Джерниган, М. Айвинс, С. Хелмс и Д. Восс (США).

В отряде космонавтов NASA (США) готовятся к полетам 142 чел.; в российском отряде – 42 космонавта; в отряде Европейского космического агентства, созданного в 1999 г. – 20 космонавтов из Франции (5), Германии (5), Италии (5) и других стран; в отряде NASDA (Япония) – 8 астронавтов; в канадском CSA – 7 астронавтов; существует и китайский отряд космонавтов.

На Земле действуют 17 наземных космодромов (из них 4 в России и 4 в США) и стартовая платформа «Одиссей» в Тихом океане.

Вокруг Земли вращается свыше 7500 ИСЗ, но лишь до 200 из них находятся в рабочем состоянии. По своему назначению они делятся на:

1. **Исследовательские спутники**, специализированные и универсальные, служащие интересам различных наук. Геофизические спутники серии «Космос» и «Электрон» (Россия) исследуют Землю и околоземное космическое пространство: верхние слои атмосферы и магнитосферу планеты. «Протон», «Астрон» и «Космос» (Россия), «Ухуру», НЕАО, КТХ (США) и другие астрофизические спутники исследуют Солнце, звезды, галактики и космическую среду. Биоспутники «Космос» (Россия) и «Биос» (США) служат для исследования воздействия космических условий (невесомость, радиация и т.д.) на живые организмы: в космосе побывали различные растения, собаки, обезьяны, кошки, мыши, лягушки, рыбы, насекомые и другие животные.

2. **Спутники прикладного назначения** служат для удовлетворения «земных» нужд человечества. В ряде случаев они несут исследовательскую аппаратуру. Метеорологические спутники предназначены для обеспечения службы погоды информацией о состоянии нижних слоев земной атмосферы (температуре, скорости ветра, и т.д.) для предупреждения о грозах, ураганах, циклонах, облачности. Они снабжаются телекамерами и датчиками теплового излучения для наблюдений за ночным полушарием планеты. Системы из многих спутников «Метеор» (Россия), «Метеосат» (США) обеспечивают обзор почти всей поверхности. Разновидностью метеорологических являются океанологические спутники, предназначенные для наблюдения за скоростью ветра, волнения, ледовой обстановки в Арктике, косяками рыб и т.д. Спутники для изучения природных ресурсов позволяют изучать детали наземного и подводного рельефа, горные породы, растительный покров и его изменения, состояние почв, прогнозировать урожаи, загрязнение океана, искать месторождения полезных ископаемых и т.д. В США для этой цели запускаются спутники серии «Ландсат», в России – «Космос» и «Радуга». Многочисленные спутники связи («Молния», «Экран», «Горизонт», «Радуга» в России) служат для трансляции теле- и радиопередач, международной и межконтинентальной телефонной связи; для осуществления передач необходимо, чтобы спутник был одно-

временно виден из пунктов передачи и приема. Навигационные спутники служат для точного определения географических координат судов и самолетов. Спутниковая система КОСПАР-САРСАТ предназначена для оказания помощи кораблям, самолетам и отдельным группам людей, терпящим бедствие. Военные спутники предназначены для сбора разведанных на территории потенциального противника и контроля за вооружениями. В начале XXI в. в России и ряде других стран был совершен запуск системы микроспутников научно-образовательного назначения («Колибри-2000» и т.д.). В создании, управлении и проведении научных экспериментов на борту этих ИСЗ принимают участие школьники и студенты.

Развитие космонавтики имеет некоторые негативные стороны, оказывающие определенное влияние на экологию Земли и ближнего космоса; исправление их является одной из насущных задач современной науки и техники.

1. Засорение околоземного космического пространства фрагментами ракетно-космической техники. На 1990 г. из 7200 ИСЗ лишь 5% были в рабочем состоянии; на околоземных орбитах скопилось свыше 60000 зарегистрированных объектов, из них 8000 имеют размеры свыше 10 см (отработанные верхние ступени РН, разгонные блоки, элементы конструкций, утерянные космонавтами вещи – от перчаток и отверток до кинокамер) и сотни тысяч мелких объектов (от болтов и гаек до крошек, чешуек краски, частиц сгоревшего топлива, осколков взорвавшихся объектов). Общая масса космического мусора – от 3 до 5 миллионов кг; он образует вокруг Земли три кольца с максимальной концентрацией на высотах 875, 1500, 3600 км.

В фантастических произведениях часто описываются случаи повреждения КЛА метеорными частицами. До сих пор в реальной жизни таких случаев не отмечено, но по меньшей мере 3 спутника были уничтожены и несколько повреждены космическим мусором: последствия столкновения ИСЗ с болтом при относительной скорости 10 км/с те же, что при встрече с пушечным ядром на скорости 300 м/с. Крошка размерами 0,5 мм пробьет скафандр, как пуля.

Количество частиц мусора на орбитах увеличивается на 5 % в г., через 30 лет их станет 30 млн с общей массой 12 млн кг, и катастрофические столкновения с КЛА станут неизбежны. В результате исследований советских и американских ученых установлено, что любой мощный выброс частиц приводит к засорению всего околоземного пространства ниже точки выброса. Теоретически возможен лавинообразный процесс вторичных столкновений. Со временем частицы постепенно снижаются, тормозятся и сгорают в атмосфере, а наиболее крупные падают на поверхность Земли, однако процесс «самоочистки» космоса затягивается на сотни и тысячи лет. Проблему безопасности частично снимают сокращение числа запусков РН, применение тяжелых и многоразовых РН и МТКК, установка защитных экранов на борту ИСЗ и КЛА. ...Предполагая, что «космический мусор» – беда всех космических цивилизаций, некоторые ученые предложили поискать на земле в виде необычных метеоритов следы «технического прогресса» внеземных цивилизаций.

2. Вредное воздействие продуктов сгорания ракетного топлива на атмосферу Земли. В состав этих веществ входят разные соединения – от безопасных H_2O , CO , CO_2 , H_2 , до вредных окислов азота, $HC1$ и Al_2O_3 . К счастью, выбросы невелики, их концентрация быстро снижается до безопасного уровня. Сведения о повреждении озонового слоя стартующими РН очень противоречивы: многие ученые отрицают влияние запусков РН на состояние озонового слоя, другие считают, что каждый старт протыкает в ней «дырку» диаметром до 200 км, затягивающуюся лишь 2 недели спустя. Наиболее опасны запуски РН с РДТТ. Вопрос находится в стадии исследования. Прямых свидетельств о возрастании ультрафиолетовой облученности поверхности Земли в настоящее время нет, и если в целом количество озона в атмосфере уменьшается, то в нижних слоях тропосферы, где озон – загрязняющий газ-окислитель, усиливающий парниковый эффект, его концентрация растет. Полеты КЛА в земной ионосфере сопровождаются различными эффектными аномальными световыми явлениями (вспышками, свечением и т. д.), которые несведущие люди принимают за НЛО.

3. Необходимость отчуждения участков поверхности Земли под районы падения отходящих частей РН. При их запуске над сушей вдоль траектории полета на протяжении 800–2500 км падают отработанные ступени и их фрагменты, некоторые от удара взрываются. Так, на территории Джекказганской области упало уже 890 ступеней РН, не считая обломков

и осколков, что исключает или ограничивает хозяйственное использование земель, создает угрозу для биосферы. Выходом из ситуации является создание космодромов «приокеанского» базирования, сокращение числа запусков и применение многоразовых космических систем, снабженных устройствами для мягкой посадки.

Обеспечение экологической безопасности является одним из основных требований к новым транспортным космическим системам, наряду с высокой надежностью и экономичностью.

Лекция 8

Основы астрофизики. Космические объекты

Перейдем к изучению главных объектов познания астрономии: физической природе космических объектов и космических процессов. При объяснении классификации космических объектов важно продемонстрировать обучаемым работу, ход мысли ученых.

• Физика космоса

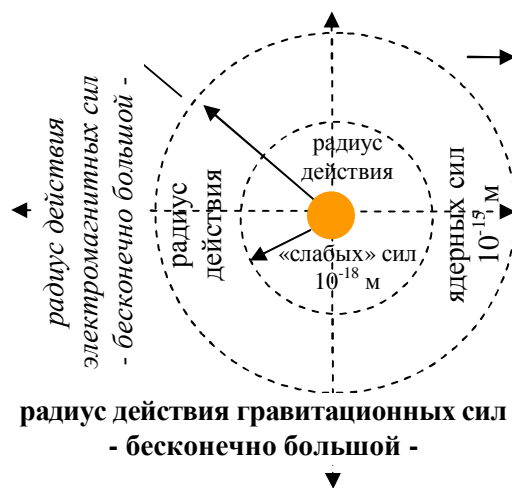
Для того чтобы лучше понять основные характеристики, структуру и свойства, возникновение, существование, взаимодействие и развитие космических объектов, рассмотрим действие законов физики в нашей части Вселенной.

Характер взаимного влияния и воздействия любых материальных объектов между собой определяется соотношением 4 фундаментальных физических взаимодействий. Сила взаимодействия объектов определяется соответствующими физическими законами и зависит от их характеристик и соотношения значений фундаментальных физических постоянных.

Слабое («распадное») взаимодействие элементарных частиц проявляется в отталкивании друг от друга на расстоянии менее 10^{-18} м, ядерных реакциях, преобразовании одних видов частиц в другие и т.д. Выражается законами ядерной физики и физики элементарных частиц.

Сильное или ядерное взаимодействие проявляет себя при взаимодействии элементарных частиц на очень малых расстояниях: менее 10^{-15} м. Обеспечивает притяжение частиц (протонов и нейтронов) в атомных ядрах друг к другу и протекание ядерных реакций. В 100 000 раз сильнее слабого («распадного») взаимодействия. Выражается законами ядерной физики и физики элементарных частиц.

Электромагнитное взаимодействие характеризуется участием электромагнитного поля. В 137 раз слабее сильного взаимодействия. Проявляется в притяжении или отталкивании любых материальных объектов, обладающих электрическим зарядом, на любых расстояниях между ними с силой, прямо пропорциональной произведению зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Выражается законами электростатики и электродинамики. Электрическое отталкивание одноименно заряженных атомных ядер и ионов в плазме, электронных оболочек атомов и молекул в газах, жидкостях и твердых телах воспринимается и описывается как действие «сил упругости».



Гравитационное взаимодействие характеризуется участием гравитационного поля (поля тяготения). В 10^{-38} раз слабее сильного взаимодействия. Проявляется в притяжении любых материальных объектов на любых расстояниях с силой, прямо пропорциональной произведению масс объектов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Выражается законом Всемирного тяготения.

Таким образом, все материальные объекты, от элементарных частиц до сверхгигантских космических систем – галактик на больших расстояниях перемещаются в пространстве в соответствии с законами механики (классической для макротел, квантовой для микрочастиц) и взаимодействуют между собой в соответствии с законом Всемирного тяготения: $F_T = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ и законами электродинамики. Движение космических объектов в центральных полях тяготения описывается законами Кеплера. На микроскопических расстояниях ($\sim 10^{-10}$ м) элементарные частицы, атомные ядра, ионы притягиваются или отталкиваются друг от друга силами электромагнитной природы. Для того чтобы они стали взаимодействовать посредством ядерных сил, их надо сблизить еще в 100 000 раз, до расстояния около 10^{-15} м; на расстояниях менее 10^{-18} м они будут отталкиваться друг от друга действием «слабых» сил.

Масса материальных объектов как мера гравитационных и инертных свойств не только определяет силу гравитационного взаимодействия объектов между собой, но и характер их перемещения в пространстве. Так, при описании движения объекта вокруг своей оси или какого-то другого объекта нужно учитывать *инерцию движения*, проявляющуюся в качестве центробежной силы.

Эволюция космических объектов зависит от их собственных характеристик и общего воздействия на них сил разной природы.

Космические процессы возникновения галактик, звездных скоплений, звезд, планетных систем и отдельных планетных тел очень похожи.

В космической среде возникают сгущения – облака, туманности разных размеров. Составляющие их частицы вещества притягиваются друг к другу под действием сил тяготения. Облака сначала медленно, а затем все быстрее и быстрее сжимаются до тех пор, пока действие сил тяготения не будет уравновешено действием иных сил: центробежной, газового давления, упругости твердых тел и т.д. Если все эти силы не смогут уравновесить силу тяготения, то в результате гравитационного сжатия – коллапса облака, родится гигантская черная дыра.

Во всех остальных случаях в зависимости от массы:

- из облаков массой до $10^{35} - 10^{38}$ кг образуются галактики (в наши дни столь массивных сгустков космического вещества в Метагалактике уже не осталось);
- из облаков массой $10^{32} - 10^{35}$ кг – звездные скопления и ассоциации;
- из облаков массой $10^{29} - 10^{32}$ кг образуются звезды;
- из мелких облаков (сгустков газа и пыли) массой до 10^{29} кг – планетные системы и отдельные планетные тела.

Остальные характеристики возникающих объектов определяются основными параметрами сжимающихся облаков: размерами, однородностью строения, плотностью, температурой, химическим составом, скоростью вращения,

наличием магнитного поля и т.д. Неоднородность распределения вещества внутри большого облака ведет к его распаду на отдельные, самостоятельно сжимающиеся и сравнительно слабо связанные между собой фрагменты – компоненты космических систем. Так, внутри протогалактических облаков из отдельных сгустков вещества, дробящихся все мельче и мельче, образуются звездные скопления и отдельные звезды, а из остатков вещества протозвездных облаков образуются планетные системы и планетные тела.

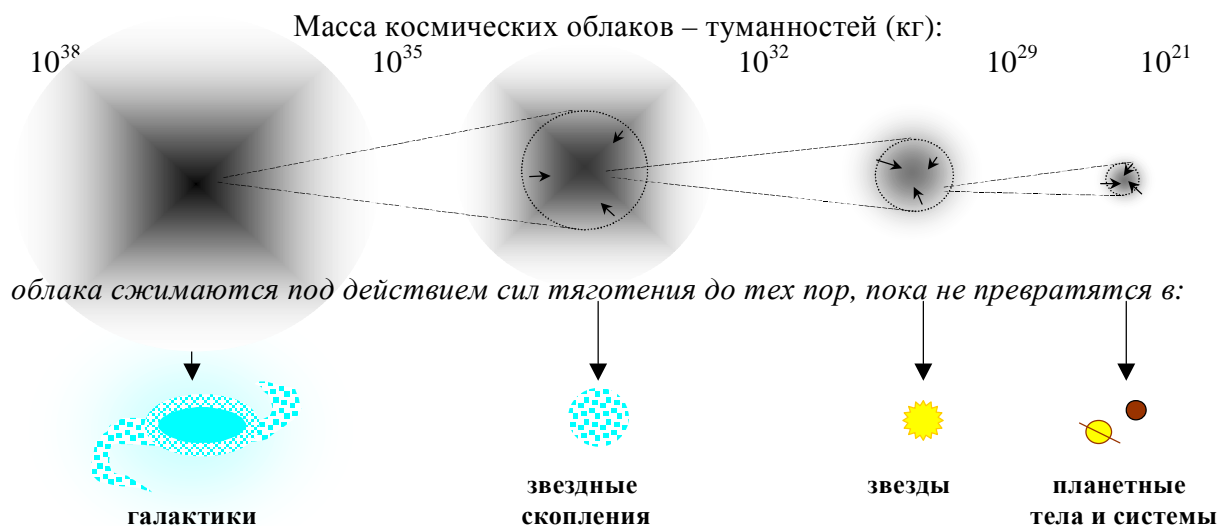


Рис. 63. Космогония космических объектов

Существование космических объектов – состояние равновесия, в котором они пребывают на отдельных, наиболее продолжительных во времени этапах своего развития и которое обеспечивается тем, что все внутренние и внешние силы, действующие на каждую отдельную частицу объекта и весь объект в целом, взаимно уравновешивают друг друга.

1. Существование значительной части гравитационно-связанных систем космических тел: спиральных галактик, звездных систем (двойных и кратных звезд), планетных систем обусловлено равновесием сил гравитации и инерции (центробежных сил) относительно общего центра масс системы.

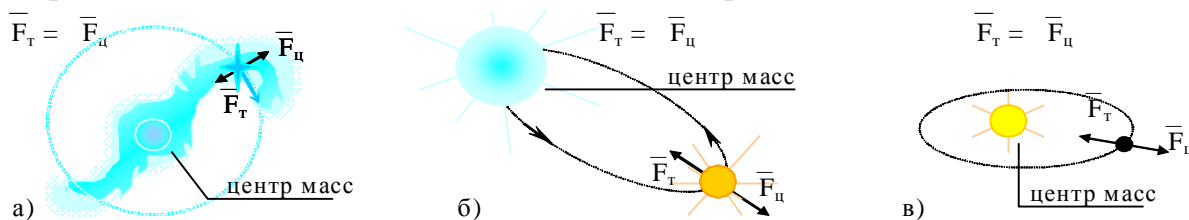


Рис. 64. Равновесие сил в галактических (а), звездных (б) и планетных (в) системах

2. Существование космических тел (планетных тел и звезд) обусловлено равновесием сил гравитационной и электромагнитной природы (лучистого (газового) давления в звездах и упругости в планетных телах).

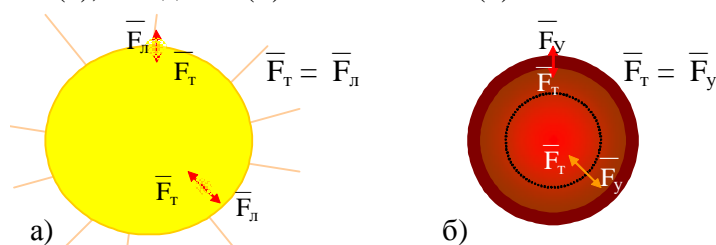


Рис. 65. Равновесие сил в звездах (а) и планетных телах (б)

3. Шарообразность (сферичность) формы массивных космических тел: давление и температура в их недрах возрастают с увеличением расстояния от центра масс, поскольку на лежащие в глубине слои давит столб вещества различной высоты, а следовательно, и массы. При давлении свыше $2 \cdot 10^8$ Па и температуре свыше 1500 К деформируется и разрушается кристаллическая решетка большинства известных минералов и начинается плавление горных пород, которые становятся вязко-текучими, как смола; при более высоких температурах и давлениях вещество полностью переходит в жидкое состояние (или обретает свойства жидкости). Согласно законам физики, в центральном гравитационном поле при отсутствии действия внешних сил жидкие тела приобретают сферическую форму с минимальной площадью поверхности. Доля жидкого состояния вещества недр космических тел возрастает с их массой, изменяя их форму от произвольной (кометы, астероиды) к округлой (планетоиды, небольшие спутники планет) и к идеально сферической (планеты и звезды), достижению которой у вращающихся объектов мешает действие центробежных сил.

• Классификация космических объектов. Основные типы космических тел

Понятийный аппарат астрономии обладает своей классификацией – системой соподчинения понятий (классов объектов), используемой как средство для установления связей между ними и выражающей систему законов, присутствующих отображенным в ней объектам Вселенной.

Классификация осуществляется на основе последовательного разделения систем объектов и их группировке с помощью обобщенной модели (типа) в целях сравнительного изучения существенных признаков, связей, функций, отношений и уровней организации объектов с учетом специфических особенностей каждого вида и выяснением общих свойств у различных объединений объектов. Выделяются следующие иерархические категории понятий, которые мы будем далее использовать для классификации астрономических понятий:

вид => род => семейство => группа => класс => тип.

Космические объекты классифицируются по существенным признакам, в качестве которых выступают их фундаментальные физические характеристики (масса, размеры и т.д.), структура и характер физических процессов, обеспечивающих их возникновение, существование и развитие.

В качестве основной структурной и классификационной единицы мы выделяем некоторую совокупность отдельных объектов, обладающих рядом общих существенных признаков по фундаментальным физическим характеристикам – группы космических тел.

Некоторое число групп космических тел, обладающих помимо единого общего признака (свойства), общностью структуры, строения и происхождения, объединяются в классы космических тел.

На основе единого, общего для ряда классов космических тел признака, определяющего все остальные физические свойства и характеристики, единый план строения, структуру, образование и эволюцию, а также характер космических процессов, лежащих в основе их существования, выделяются типы космических тел.

Пространственные характеристики (линейные размеры, объем и т.д.)

космических тел неудобны для основ их классификации, поскольку несколько неопределенны (размыты) даже в пределах отдельных интуитивно выделяемых типов космических тел (так, размеры планет лежат в пределах от 10^4 до 10^6 м, а размеры звезд – от 10^4 до 10^8 м) и пригодны лишь в качестве второстепенного (дополнительного) признака каждого класса объектов.

Временные характеристики (продолжительность существования и т.д.) также могут быть лишь дополнительными признаками космических тел, и не могут быть основой их классификации, поскольку существенно различны даже внутри отдельных групп и классов объектов (так, время жизни звезд-сверхгигантов – 10^6 - 10^7 лет, а нормальных звезд и белых карликов до 10^9 - 10^{11} лет); в системах космических тел время существования отдельных объектов зависит от характера их взаимодействия.

Классификация космических тел по одной из их главных физических характеристик – типам и мерам фундаментальных взаимодействий – представляется нам наиболее удобной.

В качестве основания для единой классификации космических тел по общему существенному признаку мы выделяем массу – фундаментальную физическую величину, меру гравитационных, инертных свойств и энергии материальных объектов, определяющую практически все физические свойства и характеристики космических тел, их структуру, строение, образование и развитие, «время жизни», характер космических процессов, лежащих в основе их существования и природу значительной части порождаемых ими космических явлений.

Мы выделяем следующие типы космических тел: космическую среду, туманности, звезды и планетные тела:

Космическая среда – разреженная материя, заполняющая пространство между отдельными космическими объектами и их системами в пределах Метагалактики. Основными компонентами космической среды являются: газ (водород – 77,4%; гелий 20,8%; кислород – 0,085 %; углерод – 0,038 %; неон – 0,015%; азот – 0,0094%; др. элементы – до 0,01%.); пыль – 0,01-1,0 %; космические лучи – потоки элементарных частиц (α -частицы, электроны, протоны, нейтрино); электромагнитное излучение (фотонный газ: 10^8 - 10^{11} γ -квантов/см³); гравитационные и магнитные поля. В зависимости от плотности выделяют межгалактическую ($r \leq 10$ частиц/см³), межзвездную ($r \leq 10^2$ частиц/см³) и межпланетную среду ($r \leq 10^4$ частиц/см³).

Туманности – гравитационно-связанные скопления газопылевой материи массами от 10^{28} до 10^{36} кг. В зависимости от плотности вещества выделяют следующие классы туманностей: галактические молекулярные облака (ГМО), $r \approx 10^2$ частиц/см³; диффузные газо-пылевые туманности, $r \approx 10^3$ частиц/см³; глобулы, $r \approx 10^4$ частиц/см³; протозвездные туманности, $r \approx 10^4$ частиц/см³.

Звезды – пространственно-обособленные, гравитационно-связанные, непрозрачные для излучения массы вещества в интервале от 10^{29} до 10^{32} кг, в недрах которых в значительных масштабах происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий.

Планетные тела – пространственно-обособленные, гравитационно-связанные, непрозрачные для излучения массы вещества в интервале от 10^{17} до 10^{27} кг.

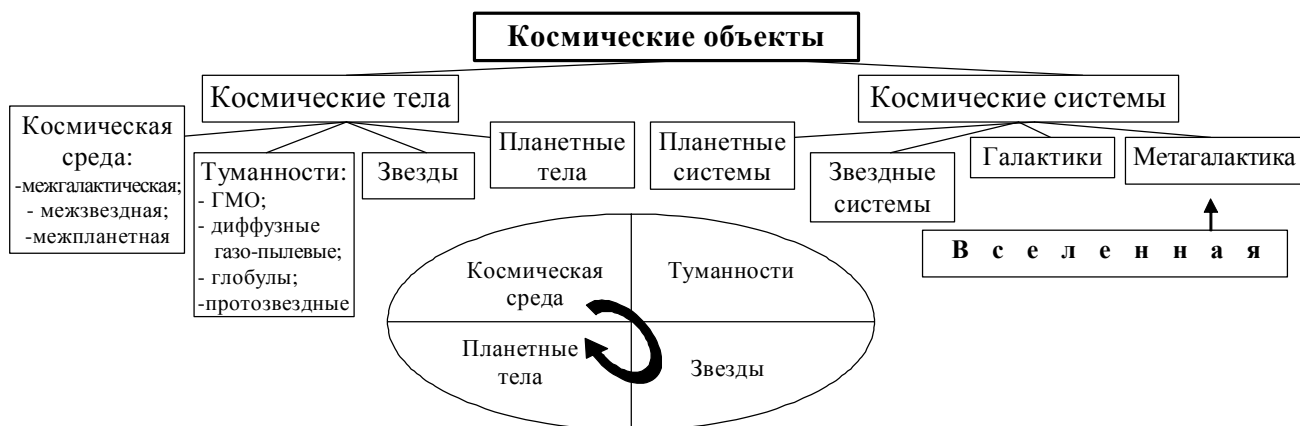


Рис. 66. Общая классификационная схема космических объектов

На границе значений масс разных классов космических тел происходит значительное изменение физических свойств объектов; на границе значений масс разных типов космических тел изменения приобретают характер качественного скачка. Последовательность классификации несколько нарушается включением в нее отдельных «короткоживущих переходных звеньев» – классов и групп космических тел, являющихся продуктами, начальными или конечными этапами развития основных типов космических тел (протозвезды, планетезимали, волокнистые и планетарные туманности и т.д.). Возможно, в особые классы космических тел следовало бы выделить нейтронные звезды, белые карлики и черные дыры.

Выделение отдельных групп космических тел внутри каждого класса может осуществляться на основе второстепенных, дополнительных к основному признакам – физических характеристик объектов:

- для туманностей – на основе понятий плотности и условий образования объекта;
- для планетных тел – по их размерам, форме, степени дифференцирования внутреннего строения и химическому составу;
- для звезд – по их светимости, температуре, спектру, плотности, размерам и т.д.

В качестве основания для единой классификации космических объектов – систем космических тел – мы предлагаем уровень сложности их организации, определяемый богатством видового состава, численностью и характером взаимодействия космических тел, формирующих структуру данного объекта; в числе второстепенных признаков выступают масса и размеры объектов.

Мы выделяем следующие классы и (в скобках) группы космических систем: звездные системы (планетные системы; двойные звезды; кратные звезды); звездные скопления (звездные ассоциации; рассеянные скопления; шаровые скопления); галактики (эллиптические, неправильные, линзовидные, спиральные и т.д.) и их скопления; Метагалактика; Мини-Вселенная; Вселенная.

Системы космических тел с низким уровнем организации выступают в качестве отдельных составных элементов систем космических тел с более высоким уровнем организации (так, планетные системы и двойные звезды входят в состав звездных скоплений, которые в свою очередь входят в состав галактик и т.д.). Предельной по степени общности и объему, обладающей структурностью на всех своих уровнях системой космических объектов выступает Метага-

лактика – доступная нашим наблюдениям часть Мини-Вселенной (Вселенной) – системы космических объектов (метagalактик) наивысшей масштабности и степени сложности организации материи.

Далее следует предложить ученикам классифицировать, выделить основные классы, группы и виды изученных гравитационно-обусловленных космических явлений. Результаты работы оформляются в виде таблицы или схемы (линейной и кругов Эйлера). Обучаемые формулируют общий алгоритм работы со схемами:

1. Выделение главной фразы.
2. Определение области применения фразы.
3. Связь данной фразы с последующими выражениями схемы: установление иерархии связей.
4. Каким образом данная связь проявляется в каждой последующей фразе: ...

В заключение занятия проводится 5-минутная самостоятельная работа, проверяющая знание всего ранее изученного материала и умения анализировать содержание и структуру научных понятий, определять понятия с учетом всех соответствующих правил и критериев. Обучаемые должны предложить друг другу по 1 определению астрономических понятий из любой ранее изученной темы, с ошибками: 1) содержательного характера; 2) структурными; 3) грамматическими и стилистическими; 4) с нарушением критериев определения научных понятий (допускается любое число ошибок любого характера любой сложности). Задача: найти, исправить и прокомментировать эти ошибки, дать правильное определение предложенного понятия. Проверка выполнения задания производится учеником, составившим задание. Каждый получает 3 отметки: за составление, выполнение и проверку задания. Особо высоко ценятся сложность и оригинальность.

Подобные задания – «бьяки» – могут сочиняться учениками дома и широко использоваться затем для проверки знаний учащихся на каждом уроке.

Лекция 9

Планетные тела и системы

Занятие начинается с повторения и актуализации ранее приобретенных знаний о планетных телах и умения анализировать и формулировать определения понятий. В течение 8-10 минут обучаемые заполняют 1 столбец таблицы:

| Понятия | Определения понятий на основе своих собственных представлений | Определения понятий из школьного учебника астрономии | Определения понятий на основе изучения материала на занятиях |
|-------------------|---|--|--|
| Планета | | | |
| Спутник планеты | | | |
| Астероид | | | |
| Комета | | | |
| Солнечная система | | | |

Дома обучаемые сравнивают «донаучные» определения понятий «планета», «спутник планеты», «астероид», «комета», «метеорное тело», «Солнечная система» с определениями соответствующих понятий, выписанными из учебнике астрономии и определениями, составленными на основе материала, изученного на уроке. Отвечают на вопросы:

1. Соответствуют ли определения понятий требованиям: научности; полноты (необходимости и достаточности), краткости, ясности, непротиворечивости.

2. Какие ошибки допущены в каждом из них?

3. Каковы причины этих ошибок?

Новый материал излагается в форме лекции, периодически переходящей в беседу.

Сообщение определения понятия «планетные тела» сопровождается объяснением его структуры и содержания, смысла использованных терминов: оно дано «через ближайший род» (планетные тела – это тип космических объектов...) и «видовое отличие» – перечисление характеристик, отличающих данное понятие от всех остальных (планетные тела – это... пространственно-обособленные, гравитационно-связанные, непрозрачные для излучения массы вещества в интервале от 10^{17} до 10^{27} кг). Термин «пространственно-обособленные» означает существование неких четких границ, определяющих размеры и форму объектов; термин «гравитационно-связанные» означает ведущую роль сил тяготения в существовании и определении формы, размеров и иных характеристик объектов; термин «непрозрачные для излучения» означает, что электромагнитное излучение не может пронизывать их насквозь. Заданный интервал масс является главным определяющим признаком данного типа объектов. Нижний предел масс планетных тел – около 10^{17} кг – определяется по данным астрономических исследований как масса мельчайших пылинок, входящих в состав газопылевых туманностей. Верхний предел массы планетных тел определяется максимально возможными значениями температуры и давления в центре объекта, выше которых в нем начинают протекать термоядерные реакции и он превращается в космическое тело другого типа (коричневый карлик и, далее, с возрастанием массы – в звезду).

Педагог сообщает данные по классификации планетных тел; на доске строится соответствующая линейная диаграмма. Определения понятий основных классов планетных тел обучаемые дают на занятии под руководством преподавателя; определения понятий основных групп планетных тел они делают дома, самостоятельно. Обучаемые должны осознать причинно-следственную связь: 1) масса объекта определяет его форму и обуславливает особенности внутреннего строения; 2) масса и размеры (объем) объекта определяют его плотность; 3) по плотности объекта мы можем судить об его химическом составе; 4) химический состав объекта позволяет судить о условиях образования и местонахождении объекта в пределах планетной системы.

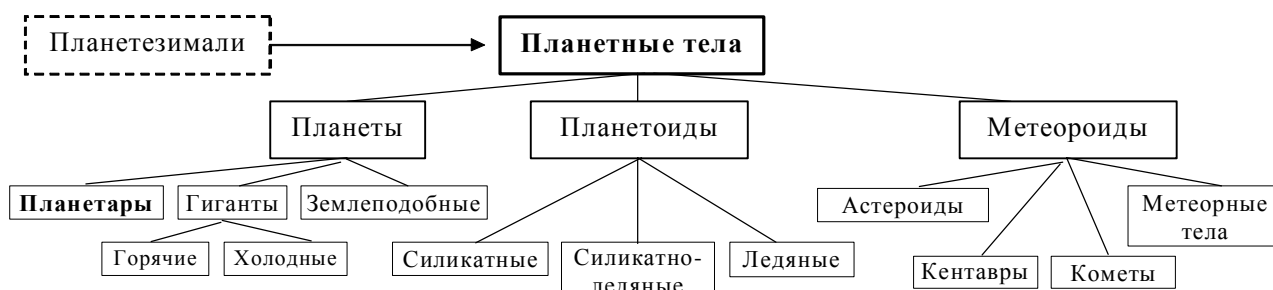


Рис. 67. Классификационная схема планетных тел

В зависимости от основных физических характеристик планетные тела подразделяются на следующие классы и группы:

Метеороиды – планетные тела с массой от 10^{-17} до 10^{22} кг, имеющие произвольную форму и однородное строение.

В отдельные группы метеороидов выделяют:

1. **Метеорные частицы** размерами свыше 10^{-7} м, входившие в состав протозвездной туманности, образовавшиеся при слипании мельчайших пылинок во время формирования протопланетного диска, при дроблении и распаде астероидов и комет, в результате выбросов частиц коренных пород крупных планетных тел при их столкновениях с астероидами и кометами и извержениях вулканов.

2. **Кометы** массами 10^{11} – 10^{17} кг, размерами $5 \cdot 10^2$ – $5 \cdot 10^4$ м и средней плотностью $0,8$ – $1,5$ г/см³, сформировавшиеся во внешних областях холодной зоны протопланетного облака и состоящие в основном из льда и замерзших газов (СО, СО₂ и др.) с примесью нелетучих веществ.

3. **Астероиды** (малые планеты) массами до $7 \cdot 10^{22}$ кг, размерами менее $2,5 \cdot 10^5$ м и средней плотностью 3 – $5,5$ г/см³, образовавшиеся при дроблении и распаде планетезималей на границе горячей и холодной зон протопланетного облака и состоящие из силикатных пород и соединений металлов.

4. **Кентавры** массами до 10^{17} – 10^{22} кг, размерами до 10^6 м и средней плотностью $1,5$ – 3 г/см³, состоящие из смеси льда, замерзших газов (СО, СО₂ и др.) и силикатных пород и представляющие собой группу метеороидов, промежуточную по своим характеристикам между астероидами и кометами. В Солнечной системе кентаврами является значительная часть транснептуновых объектов пояса Койпера, Хирон, Нессус и некоторые другие космические тела, ранее считавшиеся астероидами.

Форма и внутреннее строение более крупных объектов зависят от их массы: обусловленные ею сила тяжести, температура и давление в недрах тел превышают «предел текучести» горных пород, и подобно тому как капля жидкости в невесомости становится круглой, планетные тела с массой свыше 10^{22} кг приобретают сферическую форму.

Планетные тела с массой 10^{22} – 10^{23} кг, обладающие сферической формой, но сравнительно однородным или слабодифференцированным внутренним строением, называются **планетоидами**. В число планетоидов Солнечной системы входят 4 самые крупные астероида – Церера, Паллада, Юнона и Веста, большинство крупных спутников планет и Плутон, а также крупнейшие объекты, входящие в «пояс Койпера» (Кварвар и др.). В зависимости от плотности и химического состава выделяют:

- силикатные (луноподобные) планетоиды со средней плотностью 3 – $3,5$ г/см³, состоящие в основном из силикатных пород;

- силикатно-ледяные планетоиды со средней плотностью $1,5$ – 3 г/см³, состоящие на 20 – 90 % из водяного льда, окружающего ядро из силикатных пород;

- ледяные планетоиды со средней плотностью $0,8$ – $1,5$ г/см³, состоящие из водяного льда и замерзших газов (СО, СО₂ и др.) с примесью нелетучих веществ.

Планетоиды занимают промежуточное положение между классами метеороидов и планет.

Планеты – класс планетных тел с массами 10^{23} – 10^{27} кг, обладающих сферической формой и ярко выраженным дифференцированным внутренним строе-

нием. Планеты обладают собственной энергетикой, основанной на энергии гравитационного сжатия, распада радиоактивных элементов и других процессах. Энергия собственного излучения планет сравнима или даже превосходит по величине энергию, сообщаемую планете центральным светилом – звездой.

Планеты земной группы с массами 10^{23} – 10^{25} кг и средней плотностью вещества 4 – $5,5$ г/см³ образуются в горячей зоне протопланетного облака и состоят в основном из тяжелых химических элементов – соединений металлов, силикатов и т.д. Планетами земной группы Солнечной системы являются Меркурий, Венера, Земля и Марс.

Планеты-гиганты массами $5 \cdot 10^{25}$ – $2,5 \cdot 10^{27}$ кг и средней плотностью $0,7$ – $1,7$ г/см³ образуются, вероятно, в холодной зоне протопланетного облака и состоят в основном из водорода, гелия и легких химических соединений. Планетами-гигантами Солнечной системы являются Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.

Большинство планет-гигантов, открытых в последние годы у ряда звезд (70 Девы, 51 Пегаса, HD 209458), получили название «горячих юпитеров». Близость к звезде обусловила существование у них обширных, раскаленных свыше температуры в 1000 К атмосфер. Проблема условий формирования и эволюции «горячих юпитеров» пока далека от решения.

Сотни гигантских «новорожденных» зародышей планет – планетезималей и планет-гигантов, массой до $2,5 \cdot 10^{27}$ кг и температурой до 1700 К, обнаружено в районах звездообразования в плотных газопылевых туманностях. Они получили предварительное название «планетары» или «коричневые субкарлики».

Космические тела с массами около $2,5 \cdot 10^{27}$ – 10^{28} кг называются **коричневые карлики** и занимают промежуточное положение между планетными телами и звездами. Термоядерные реакции в их недрах либо не возникали, либо протекали очень короткое время, на завершающих стадиях формирования ядра. Коричневые карлики остывают десятки миллиардов лет. Ввиду своей низкой светимости они являются очень трудным объектом для астрономических наблюдений. Первые коричневые карлики были открыты в 1996 г.; в настоящее время ученым известно свыше 1000 объектов данного класса космических тел.

Планетные тела различных классов входят в состав планетных систем.

Планетные системы – связанные силами взаимного тяготения системы космических объектов, звезд и планетных тел, обладающие общностью происхождения и перемещающиеся в пространстве как единое целое.

Исходя из универсальности действия физических законов, следует предположить существование ряда закономерностей для всех планетных систем:

1. Основная масса планетной системы заключена в центральной звезде.
2. Расстояние между звездой и планетами, между планетными телами и их спутниками обуславливаются основными физико-химическими характеристиками, начальным распределением массы, масштабами и особенностями турбулентных движений вещества внутри протопланетного диска, возмущающими взаимодействиями формирующихся протопланет и описываются определенным законом.
3. Орбиты планетных тел и их спутников эллиптические и лежат в одной плоскости (за исключением орбит мелких метеороидов).
4. Почти все планетные тела вращаются вокруг своей оси и вращаются вокруг центральной звезды в направлении ее осевого вращения – направлении вра-

щения протозвездного облака вследствие статистического осреднения момента импульса всех образовавших звезду и планетные тела частиц протозвездного облака.

Согласно современным теориям звездообразования около 30 % одиночных медленно вращающихся звезд спектральных классов F5 – M9 массой менее $10 M_{\odot}$ должны обладать планетными системами. Планетные системы должны быть у 30-50 % звезд Галактики – у $30-50 \cdot 10^9$ звезд! Они могут формироваться и вокруг звезд-компонент «широких» двойных и кратных систем. Однако в силу низкой собственной светимости и близости к своим центральным светилам планетные системы представляют очень трудный объект для астрономических наблюдений.

Поиск планетных систем осуществляется различными способами: о наличии планетных систем свидетельствуют периодические микросмещения линий в оптическом или даже радио- спектре звезды (метод лучевых скоростей), периодические микросмещения в движении данной звезды относительно других звезд (астрометрический метод) и микроколебания блеска звезды при прохождении планеты по ее диску.

Планеты чужих планетных систем получили общее название **внесолнечных (экзопланет)**. В настоящее время астрономы наблюдают планеты-гиганты из планетных систем некоторых близких звезд и вокруг некоторых пульсаров. К началу 2003 г. стало известно свыше 100 планетных систем у других звезд. Все они не похожи на Солнечную систему. Значительная часть экзопланет имеет сильно вытянутые эллиптические орбиты с эксцентриситетом до 0,5-0,6 (в Солнечной системе эксцентриситет планетных орбит не превышает 0,2). Часть планет-гигантов – «горячие юпитеры» – вращается по очень близким к звезде круговым орбитам. Открыта планетная система в тесной двойной звездной системе, состоящей из оранжевого и красного звезд-карликов в 1,5-2 а.е. друг от друга; планета-гигант вращается вокруг центра масс системы на расстоянии 5-7 а.е. Нейтронная звезда-пульсар PSR 1257+12 в созвездии Девы имеет 4 планеты; ничто земное не прожило бы и секунды в вечной тьме под потоками радиации, омывающими поверхности этих планет 160 раз в секунду.

Наиболее глубоко и подробно исследованной остается наша Солнечная планетная система.

Образование планетных систем и планетных тел происходит на завершающих стадиях образования звезд из остатков вещества космических газопылевых облаков (туманностей), обогащенных тяжелыми химическими элементами и сжимающихся под действием сил тяготения.

Газопылевой диск вокруг «новорожденной» звезды очень быстро «сплющивается» под действием сил гравитации и центробежной силы, направленных к наиболее плотной части диска в плоскости его вращения. Размеры пылевых частиц увеличиваются; их орбиты становятся почти круговыми. В диске возникают неоднородности: газопылевые утолщения (уплотнения) –

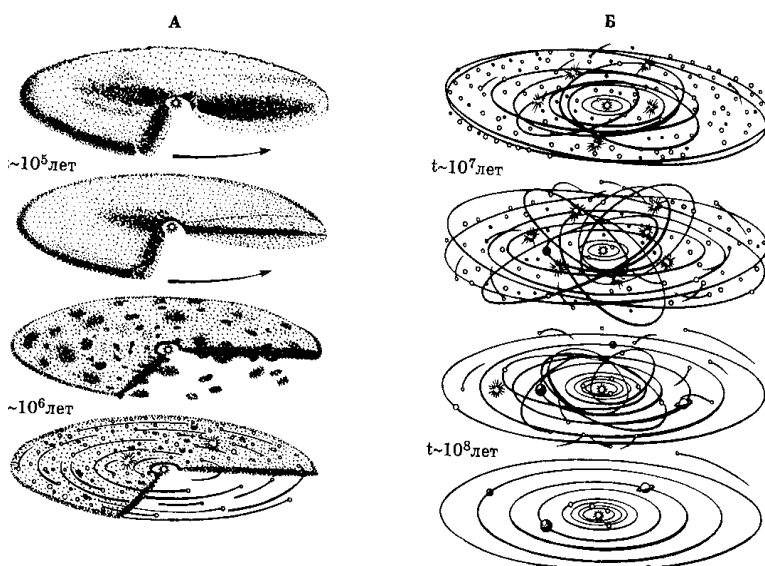


Рис. 68. Формирование планетной системы

«кольца сжатия», распадающихся на все более мелкие.

Внутри колец формируются многочисленные газопылевые сгущения. Крупные частицы присоединяют к себе мелкие, возникают плотные километровые сгустки протопланетного вещества – *планетезимали*, медленно сжимающиеся под действием собственного тяготения. Распад газопылевого диска с образованием «колец сжатия» и последующим формированием планетезималей происходит быстрее, чем за 10^6 лет. На образование планетных тел затрачивается не более 10-20 % вещества протопланетного диска: основная масса космической пыли и газа рассеиваются в межзвездном пространстве.

При своем движении вокруг новорожденной звезды планетезимали создают в пространстве протопланетного диска спиральные волны сжатия и «аккумулируют» (собирают) из него вещество. Их масса и размеры увеличиваются до полного истощения протопланетного диска, пока все вещество из окружающего пространства не выпадет на их поверхность. В результате быстрого распада массивных протопланетных дисков в течение нескольких миллионов лет формируется около десяти гигантских планетезималей размерами до 10000 км и множество более мелких. Планетезимали часто сталкиваются между собой. При небольшой взаимной скорости они объединяются («слипаются») в крупное тело, при высокой – разрушаются на мелкие фрагменты. Взаимные возмущения движения ведет к увеличению эксцентриситетов орбит: часть будущих планет начинает вращаться по сильно вытянутым эллиптическим орбитам, а остальные приобретает параболические или даже гиперболические орбиты и навсегда покидает планетную систему. Наибольшие шансы уцелеть у протопланет, вращающихся по круговым орбитам вблизи от молодой звезды.

Температура в центральной плоскости протопланетного диска уменьшается с удалением от звезды. Световое излучение и испускаемые звездой потоки элементарных частиц («звездный ветер») «выметают» вещество из ближайших окрестностей звезды, образуя «зону прозрачности». В первую очередь удаляются легкие химические элементы – водород и гелий, концентрация которых постепенно сдвигается к границам формирующейся планетной системы. В этой близкой к звезде «горячей» зоне планетообразования идут процессы формирования землеподобных планет, состоящих из соединений тяжелых химических элементов (силикатов, металлов). Процесс образования планет земной группы в «горячей зоне» протопланетного облака на расстоянии до 3 а.е. от Солнца занял около 100 миллионов лет.

При «аккумуляции» планетезималей механическая энергия падающего на них вещества превращается в тепловую: протопланетное тело разогревается, и при температуре свыше 1500 К в центре тел начинается выделение газов. Гравитационное сжатие увеличивает температуру в недрах тел до тысяч кельвин. Разогреву протопланет способствует мощная ударная бомбардировка: между их орбитами вращаются миллиарды мелких и мельчайших планетезималей и сгустков вещества. В недрах формирующихся протопланет начинаются процессы дифференциации (разделения) планетных оболочек и дегазации: тяжелые соединения опускаются вниз, к центру планеты, а легкие поднимаются вверх, к поверхности. Давление, плотность и температура вещества близ центров планет значительно повышаются и вещество качественно изменяется: образуются оболочки планет – первичное ядро и мантия, в

расплавленных недрах генерируется магнитное поле. Выделяющаяся при расслоении оболочек, гравитационном сжатии и распаде радиоактивных элементов энергия путем конвекции переносится к поверхности планет. Легкие вещества, всплывая на поверхность, образуют первичные кору, гидросферу и атмосферу планеты.

Образование планет-гигантов происходит вдали от звезды в «холодной зоне» протопланетного диска (за фронтом конденсации водяного льда). Водородно-гелиевых «снежинок» и водяного льда там в десятки раз больше, нежели пылинок. Поэтому в химическом составе планет-гигантов преобладают водород, гелий и легкие химические соединения.

В промежутке между «горячей» и «холодной» зонами протопланетного облака десятки тысячекilометровых и более мелких планетезималей активно взаимодействуют между собой. Их осколки, раздробленные, разрушенные остатки образуют пояс астероидов. В настоящее время в поясе астероидов Солнечной системы осталась лишь 1/2000 часть начального вещества.

Кометные ядра и кентавры образуются на дальних окраинах «холодной» зоны протопланетного облака из огромного числа мелких и мельчайших планетезималей.

Значительную часть кометных ядер в Солнечной системе была «выброшена» гравитационными возмущениями планет-гигантов на ее окраины и отчасти в межзвездное пространство. Так образовались пояс Койпера и окружающее Солнечную систему сферическое облако Хиллса и квазисферическое облако Оорта.

Устойчивость и почти круговая форма орбит большинства планет Солнечной системы, вероятно, обусловлены стабилизирующим влиянием тяготения Солнца и Юпитера.

В редких случаях протопланетные диски могут формироваться в двойных звездных системах, на заключительных стадиях существования одной из звезд, из вещества верхних слоев его атмосферы красного гиганта.

Формирующиеся протопланетные диски наблюдаются в инфракрасном диапазоне вокруг сотен молодых звезд. У Веги, α Лирь внутренний диаметр диска составляет 44 а.е. при внешнем диаметре 490 а.е.; некоторые данные указывают на существование по крайней мере одной уже сформировавшейся планеты-гиганта вдвое массивнее Юпитера на расстоянии 54 а.е. от звезды. У Фомальгаут, α Южной Рыбы на стадии формирования находится не менее 3 планетных тел, в том числе планета-гигант. Планеты сформировались также у звезд β Живописца и у ϵ Эридана.

Открыто несколько десятков гигантских планетезималей и планет-гигантов массой 1,5–2,5·10²⁷ кг, самостоятельно сформировавшихся из сгустков вещества в недрах плотных протозвездных туманностей.

Звездный ветер и ударные волны близких «новорожденных» звезд-гигантов могут частично или полностью разрушать протопланетные диски. В областях массового звездообразования гибнет много формирующихся планетных систем.

На последнем этапе занятия у обучаемых формируется умение работать с обобщающими и классификационными таблицами. Производится фронтальное обсуждение: какую информацию может извлечь ученик XI класса (или любой любитель астрономии) из таблицы «Основные характеристики планет Солнечной системы» учебника астрономии Б.А. Воронцова-Вельяминова (2001 г. издания):

| Планета | Среднее расстояние от Солнца, а.е. | Звездный период обращения, годы | Синодический период обращения, сутки | Период вращения вокруг своей оси | Наклонение орбиты к орбите Земли | Радиус, в радиусах Земли | Масса, в массах Земли | Средняя плотность, кг/м ³ | Сжатие | Число известных спутников |
|---------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------|---------------------------|
| | | | | | | | | | | |

1. Цель составления таблицы должна определяться ее названием; задачи –

ее содержанием. Однако название таблицы «Основные характеристики планет Солнечной системы» не вполне соответствует ее содержанию: физическим характеристикам планет. Следует или изменить название в соответствии с содержанием («Основные физические характеристики планет Солнечной системы»), или добавить к таблице столбцы, содержащие сведения о химическом составе, структуре, происхождении и иных нефизических характеристиках планет.

2. После определения значений всех используемых в таблице астрономических терминов наступает черед анализа ее содержания:

1) В таблице содержатся сведения о 9 объектах, обозначенных планетами Солнечной системы.

2) Их названия перечислены в I-м столбце таблицы в порядке удаления от Солнца. Ближайшая к Солнцу планета называется Меркурий; наиболее удаленная – Плутон; наша Земля – третья планета от Солнца.

3) В числе основных физических характеристик планет по порядку важности выделяются: среднее расстояние от Солнца; звездный (сидерический) период обращения; синодический период обращения; период вращения вокруг своей оси; наклонение; радиус; масса; средняя плотность; сжатие; число известных спутников. Принцип выделения этих характеристик в качестве важнейших и установления их иерархии не объясняется (непонятен). Данные о числе спутников не соответствуют данным науки в год издания учебника.

Единицы измерения физических характеристик указаны не во всех столбцах таблицы и не везде корректно. Так, неясно, какое время используется для определения продолжительности периодов обращения планет и их вращения вокруг своей оси. В астрономии используют понятия лет: сидерических, тропических, аномалистических и т.д.; суток: сидерических, истинных и средних солнечных. Все эти величины имеют разный физический смысл и не совпадают между собой. Какие из них использует автор таблицы? – неясно. Кстати, период вращения Земли вокруг своей оси указан с ошибкой: он равен не «24 ч 56 мин», а $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 04^{\text{s}}$ среднего солнечного времени. Данные о значениях масс и размеров планет остаются неопределенными, поскольку даны в сравнении с земными, а земные – нигде не указаны (как и продолжительности суток и года).

4) Все признаки объектов являются устойчивыми на протяжении десятков тысяч лет, но на космологических промежутках времени (сотни миллионов, миллиарды лет) постепенно изменяются.

5) С нашей точки зрения, информация о синодическом периоде обращения, наклонении, сжатии планет школьникам практически не нужна; в таблицу не помешало бы включить сведения о наличии атмосфер, их составе, особенностях образования планет и т.д.; положение данных о массах и размерах планет не соответствуют статусу этих главнейших физических характеристик. В измененном виде таблица выглядела бы так:

| Планета | Движение планет | | | Масса | | Средний радиус | | Средняя плотность, кг/м ³ | Наличие и состав атмосферы | Число спутников | Особенности образования |
|---------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------|----|----------------|----|--------------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|
| | Среднее расстояние от Солнца | Звездный период обращения (лет) | Период вращения вокруг оси | M _⊕ | кг | R _⊕ | км | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

Данные таблицы учебника позволяют сделать следующие выводы:

1) Поскольку во 2-м и 3-м столбцах таблицы используется термин «обращение», характеризующий вращательное движение, следует допустить, что все планеты перемещаются вокруг Солнца по круговым (или близким к круговым) траекториям.

2) Поскольку в 7-м столбце таблицы приводятся данные о радиусе планет, а радиус – одна из характеристик окружности (сферы), то все планеты имеют шарообразную форму.

3) Данные о сжатии планет свидетельствуют об отклонении формы планеты от идеально сферической.

4) Поскольку в 8-м столбце таблицы приводятся данные о массе планет, а масса – мера гравитационного физического взаимодействия, то все планеты являются компонентами гравитационно-связанной системы.

Работа с отдельными строками таблицы позволяет:

1) Дать определение каждой из планет, например: «Меркурий – это ближайшая к Солнцу планета, находящаяся от него на среднем расстоянии 0,4 а.е., совершающая 1 оборот вокруг Солнца за 0,24 года, а 1 оборот вокруг своей оси за 59 суток; орбита Меркурия наклонена к плоскости эклиптики под углом в 7° . Меркурий – почти идеально круглая планета меньше Земли: масса Меркурия составляет 0,055 массы Земли, а радиус – 0,38 от земного радиуса при средней плотности вещества 5400 кг/м^3 ; спутников у Меркурия нет».

2) Выделить дополнительную информацию о каждой из планет, например: «Поскольку средняя плотность Меркурия 5400 кг/м^3 , то Меркурий состоит из тяжелых химических элементов и их соединений (силикатов, металлов и т.д.)»; «Поскольку Меркурий в 2,5 раза ближе к Солнцу, нежели Земля, то на его поверхность должно падать в 6,25 раза больше солнечного тепла и света. Значит, поверхность Меркурия днем очень сильно нагревается» или «Поскольку периоды осевого вращения и обращения Меркурия вокруг Солнца соотносятся как $2/3$, то космонавты на Меркурии могут каждые 2 меркурианских суток 3 раза праздновать Новый меркурианский год».

Работа с отдельными столбцами таблицы позволяет:

1) Установить граничные значения характеристик планет (значения масс лежат в промежутке от 0,002 до $318 M_\oplus$; плотности – от 700 до 5400 кг/м^3 и т.д.) и планеты с экстремальными физическими характеристиками Меркурий – ближайшая к Солнцу планета; Плутон – самая маленькая и далекая; Юпитер – самая большая»...).

2) Установить определенные закономерности в структуре Солнечной системы, например:

а) определение прямых и обратных причинно-следственных связей на основе схемы «если ... то ...» между 1-м и 3-м столбцами таблицы («Если среднее расстояние от Меркурия от Солнца 0,4 а.е., то звездный период его обращения будет равен 0,24 года» и т.д.) позволяет сделать эмпирический вывод III закона Кеплера:

$\frac{T_1^2}{T_2^2} \approx \frac{a_1^3}{a_2^3}$, где T – звездные периоды обращения планет, a – средние расстояния от Солнца;

б) орбиты всех планет Солнечной системы лежат вблизи плоскости эклиптики: общая закономерность, исключение – Плутон. Материал таблицы не позволяет объяснить эту закономерность;

в) все планеты Солнечной системы можно разделить на 2 большие группы: планеты, обладающие относительно небольшими размерами при большой плотности ($3900-5400 \text{ кг/м}^3$) и, следовательно, состоящие из тяжелых химических элементов и их соединений (силикатов, металлов и т.д.) – Меркурий, Венера, Земля и Марс; гигантские планеты с небольшой плотностью ($700-1700 \text{ кг/м}^3$) и, следовательно, состоящие из легких химических элементов и их соединений (газов водорода, гелия, воды и т.д.) – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Все плотные небольшие планеты находятся ближе к Солнцу, нежели гигантские планеты, что не случайно, но материал таблицы не позволяет объяснить эту закономерность. Общим исключением из правил является Плутон;

г) Чем больше планета, тем быстрее она вращается вокруг своей оси: общая закономерность, из которой есть 2 исключения: Венера и Плутон. Материал таблицы не позволяет объяснить эту закономерность.

д) постоянное «выпадение» Плутона из ряда закономерностей, общих для всех планет, позволяет предположить, что Плутон является не планетой, а каким-то другим космическим телом.

Возможно открытие других закономерностей (в физико-математическом классе на основе анализа значений больших полуосей планетных орбит ученики могут вывести эмпирический закон Тициуса-Бодде и т.д.), которые могут послужить основой для создания проблемной ситуации на уроке в рамках эвристического метода обучения.

Обучаемые разрабатывают алгоритм работы со сложными таблицами:

1. Определить цель и задачи составления таблицы, дать ей название.

2. Установить значение используемых терминов по справочникам, словарям.

3. Формальное заполнение таблицы:

- указать (перечислить по названиям) объекты таблицы;

- расположить их в произвольном порядке следования или по какой-то (любой) из характеристик;

- определить (перечислить) характеристики и свойства объектов таблицы, указать единицы их измерения;

- выявить постоянные и временные признаки объектов;

- установить внутреннюю иерархию столбцов и строк.

4. Основная (качественная) работа с объектами таблицы:

а) по строкам таблицы – каждая «строка-визитка» содержит сведения об индивидуальных особенностях данного объекта:

- внешнем виде (состоянии) объекта;

- признаках объекта (физические характеристики, структура, состав и т.д.);

- действиях объекта (движении, взаимоотношениях и соотношении с другими объектами и т.д.).

Это позволяет формулировать определение понятия о данном конкретном объекте путем перечисления его свойств. Название совокупности описанных в

таблице объектов обозначает родовой признак, содержание соответствующих ячеек выявляет видовые отличия.

б) По столбцам таблицы производится сравнение соответствующих характеристик объектов (с чем-то и между собой). Эти действия позволяют:

- строить таблицу в порядке возрастания или убывания характеристик объектов;
- осуществлять качественный анализ характеристик и свойств объектов на уровне констатации факта их существования;
- количественный анализ характеристик и свойств объектов, указывать и сравнивать их значения;
- ставить вопрос о причинах наличия данной качественной и количественной характеристики.

5. Установление прямых и обратных причинно-следственных связей на основе схемы «если ... то ...», проверка положений их необходимости и достаточности. Выяснение истинности или ложности выражений. Эти действия позволяют формулировать определения понятий на основе суммирования данных, содержащихся в ячейках строки (строк) данной таблицы.

6. Сравнение данных отдельных строк и столбцов таблицы дает новое знание о качественных и количественных характеристиках изучаемых объектов:

- позволяет подразделять их на отдельные группы, классифицировать;
- выявить закономерности в плавном или скачкообразном изменении их основных свойств;
- выделять граничные значения характеристик объектов;
- фиксировать и исследовать взаимное влияние характеристик;
- ставить вопрос о теоретических и практических причинах и следствиях выявленных закономерностей.

В заключение занятия сообщается домашнее задание – контрольная работа по теме «Планетные тела и системы» (выполняется парами, проверяется на последних семинарах в конце учебного года):

Составить письменный отчет-описание внесолнечной планетной системы, включающий в себя:

1. Таблицу с описанием основных физических характеристик системы:

| Планета | Движение планет | | | Масса | | Средний радиус | | Средняя плотность, кг/м ³ | Наличие и состав атмосферы | Число спутников | Особенности образования | |
|---------|------------------------------|------|---------------------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|----|
| | Среднее расстояние от звезды | | Звездный период обращения (лет) | Период вращения вокруг оси | M _⊕ | кг | R _⊕ | | | | | км |
| | млн. км | а.е. | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Название звезды, количество и названия планет, их основные характеристики ученик придумывает сам. Но все данные таблицы должны быть реалистическими и не противоречить друг другу.

2. Схема строения планетной системы (данные схемы должны соответствовать характеристикам объектов системы: относительным размерам, цвету и т.д.).

3. Подробное описание одной из планет системы в форме отчета космонавта, высадившегося на ее поверхность или исследовавшего ее с пролетной траектории.

Методика преподавания астрономии в средней школе

На данном занятии мы кратко рассмотрим проблему подготовки учителей астрономии к ведению урока.

Начинающий учитель физики и астрономии должен твердо усвоить:

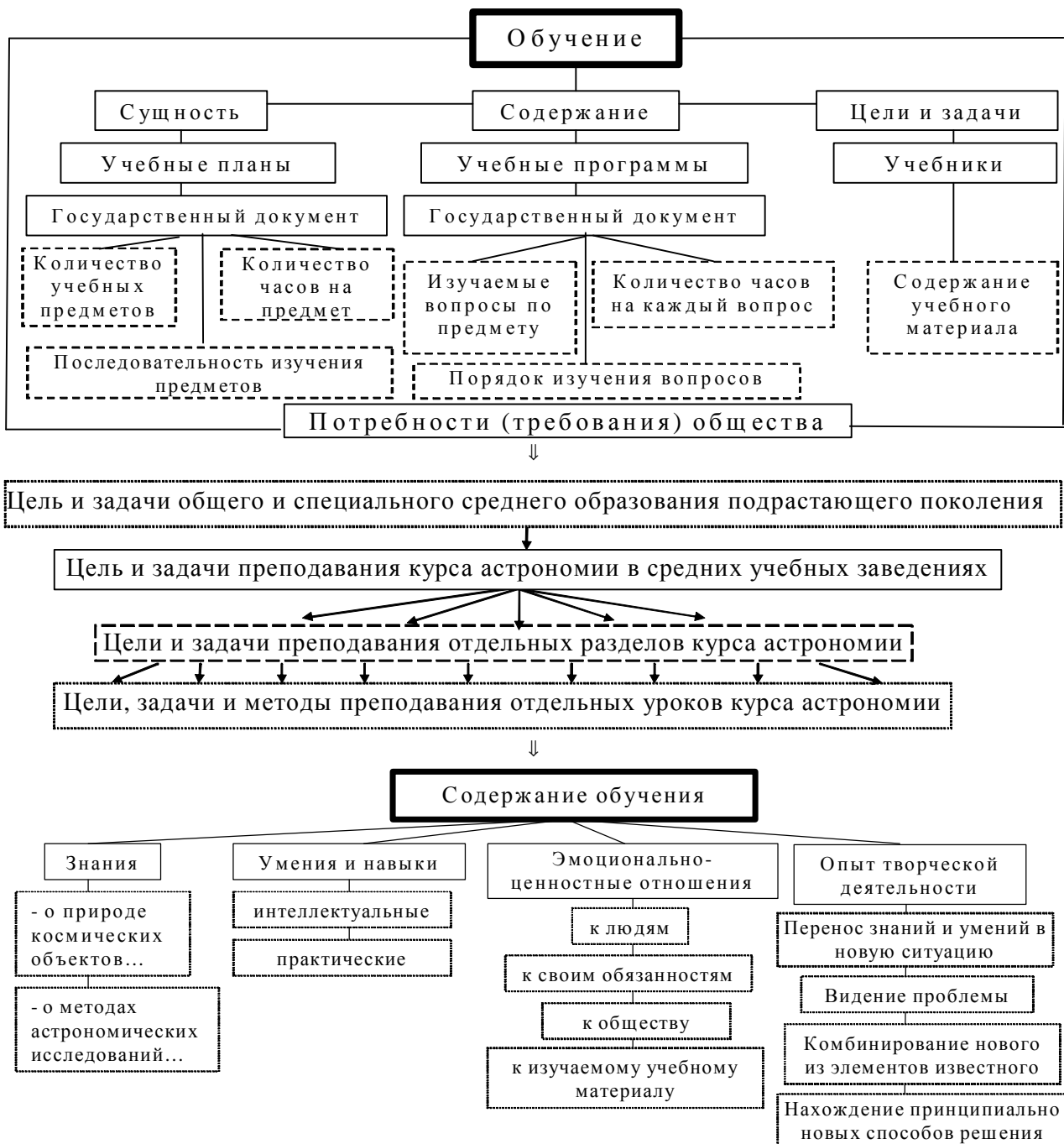
1. Подготовка к отдельным урокам должна предшествовать подготовка к изложению материала данной темы (раздела), а ей – общая подготовка к преподаванию данного предмета. Начинаящий учитель должен подготовить и подробно обсудить со старшими коллегами и администрацией школы план работы на весь учебный год до его начала. Этими правилами молодые учителя часто пренебрегают в ущерб себе и своим ученикам.

Опыт показывает: подавляющее большинство выпускников педвуза в первые месяцы работы в школе не умеют готовиться к урокам, составлять планы и конспекты уроков, работать по ним, грамотно распределять свои силы и время, акцентировать внимание учащихся на наиболее важных моментах урока.

Многие начинающие учителя считают, что планы уроков им просто не нужны, а для подготовки к работе достаточно подготовить краткий конспект излагаемого материала.

Значительная часть выпускников педвузов путают, а то и прямо отождествляют цель и задачи урока, не видят смысла в выделении и перечислении общеобразовательных, воспитательных и развивающих задач урока, не проводят предварительный хронометраж отдельных его этапов и всего урока в целом, не прорешивают предварительно сами всех домашних задач.

Подготовка к работе должна идти в направлении «от самого общего и наиболее значительного – к отдельному, частному, конкретному»:



2. Цели и задачи преподавания являются отдельными категориями дидактики, которые нельзя отождествлять.

Согласно «Толковому словарю русского языка» С.И. Ожегова:

Цель – то, к чему стремятся, что нужно осуществлять.

Задача: 1) то, что требует исполнения, решения; 2) упражнение, которое выполняется, решается посредством умозаключения, вычисления и т.д.

Цель и задачи преподавания неразрывно взаимосвязаны: задачи представляют собой проблемы, которые необходимо решить для достижения цели.

Цель преподавания определяет общее направление обучения учащихся, отраженного в содержании образования.

Задачи преподавания определяют содержание образования – научно обоснованную систему знаний, умений, навыков, эмоционально-ценностных

отношений к миру и опыта творческой деятельности.

В соответствии с главными функциями процесса обучения выделяют три взаимосвязанных вида задач преподавания:

Образовательные задачи предусматривают формирование научных знаний (системы научных понятий и связующих их закономерностей, научных теорий и научной картины мира), общеучебных и специальных умений и навыков, в первую очередь по самостоятельному овладению знаниями во всей их полноте, глубине, оперативности, систематичности, гибкости, осознанности и прочности.

Воспитательные задачи предусматривают формирование научного мировоззрения, нравственных, патриотических, трудовых, эстетических, этических и других общественно полезных взглядов, убеждений и нравственных качеств.

Развивающие задачи ориентированы на формирование и развитие различных свойств личности ученика, его психологии (интеллектуальных умений и навыков) и физиологии (общего здоровья детского организма):

- мышления – умений совершать логические операции анализа и синтеза, абстрагирования и конкретизации, обобщения и т.д., мнемонических процессов, воображения и фантазии;

- речи: обогащения и усложнения словарного запаса, усложнения ее смысловой функции, коммуникативных свойств, овладения художественными образами, выразительностью языка и т.д.;

- сенсорной сферы (глазомера, ориентации в пространстве и времени, точности и тонкости различения света и тени, цвета, формы, звуков, оттенков речи и т.д.);

- двигательной сферы (овладение моторикой мелких мышц, управления двигательными действиями и т.д.).

Учебные **умения** представляют собой сочетание знаний и навыков, обеспечивающих успешное выполнение соответствующей деятельности.

Учебные **навыки** – точные, безошибочно выполняемые действия, доведенные до автоматизма.

Некоторые педагоги и учителя считают формирование различных учебных умений и навыков не образовательными, а развивающими задачами обучения.

Для создания полноценного конспекта урока учитель, особенно начинающий, должен детально разработать план урока с подробным перечислением всех составных элементов задач урока и требований к итоговым знаниям и умениям учеников.

При составлении плана урока учитель должен исходить из дуализма (двойственности) процесса обучения, предполагающего взаимодействие преподавателя и учащихся. Ему следует учитывать и заранее определять, планировать как собственную деятельность преподавателя в процессе преподавания, так и встречную деятельность учащихся в процессе учения.

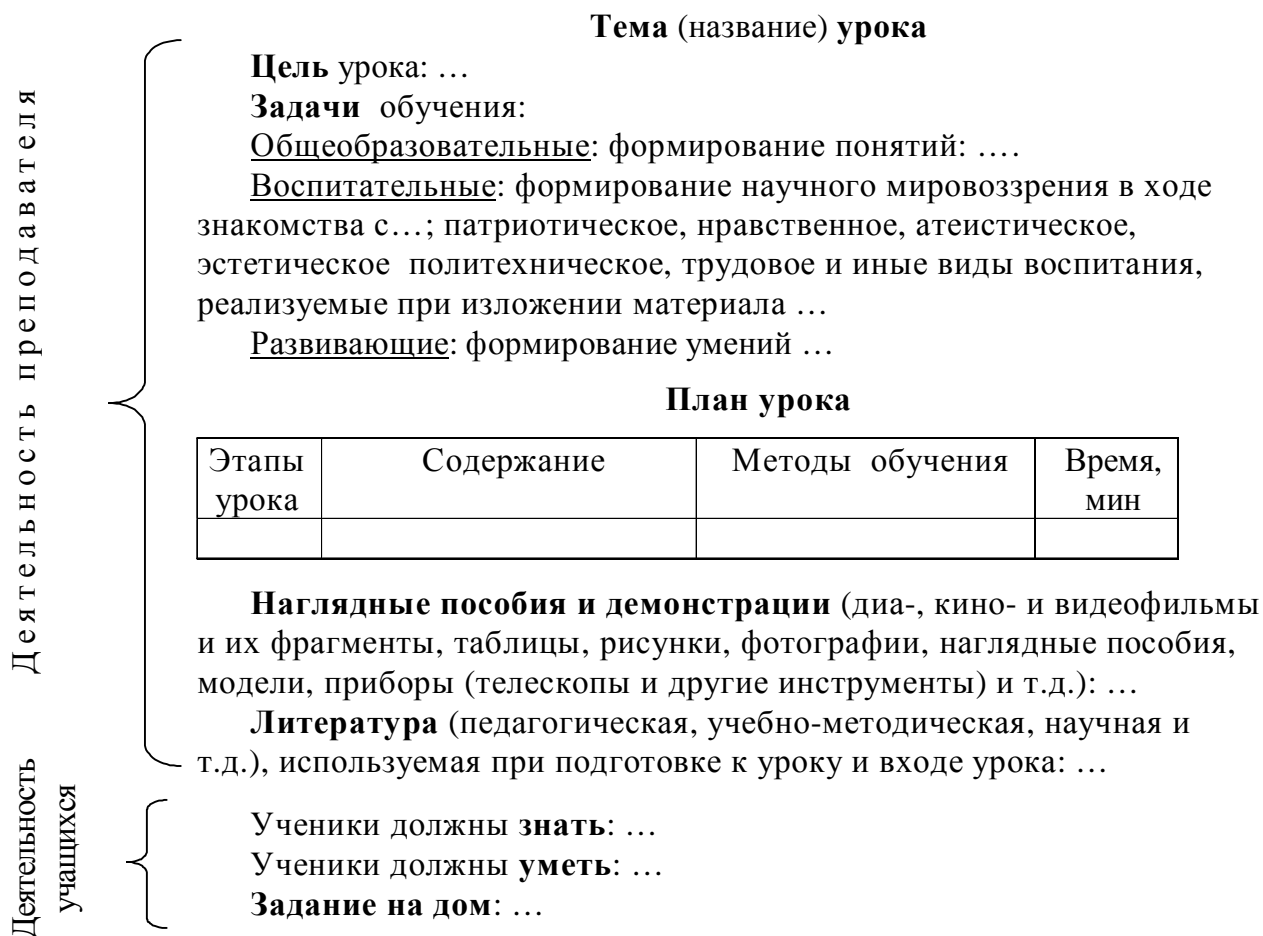
Первая половина плана урока предназначается «для учителя». Она включает в себя указание цели деятельности преподавателя и основных задач этой деятельности, определяющих содержание излагаемой информации и формируемые на ее основе знания, умения и навыки учеников, основные этапы, способы и средства ее реализации. В «задачах урока» обозначаются предполагаемые итоги урока, соответствующие максимально полному усвоению изучаемо-

го материала: знания, умения и навыки, которые должны быть сформированы у школьников в результате деятельности педагога.

Вторая половина плана урока предназначается «для учащихся». В ней указываются предполагаемые минимально-допустимые итоги урока: знания, умения и навыки, которые должны быть сформированы у школьников в результате деятельности педагога в соответствии с требованиями федерального Стандарта образования. К сожалению, федеральный Стандарт астрономического образования – государственный документ, определяющий обязательный минимум содержания образования в начальной, основной и средней школе, до сих пор не принят.

При подготовке материала урока учителю надо исходить из принципа связи обучения с жизнью, учитывать интересы и потребности школьников. Необходимо учитывать «донаучные» представления учеников, полученные вне школы (от родителей и друзей, при чтении книг, просмотре фильмов, телепередач и т.д.), а также знания, обретенные в школе ранее, на предшествующих уроках или при изучении смежных дисциплин.

Таким образом, план каждого урока должен включать в себя следующие компоненты, определяющие деятельность учителя и учащихся:



Методы и средства организации занятия, стимулирования и контроля учащихся взаимосвязаны и зависят от задач и содержания обучения, которое, в свою очередь, определяется принципами научности, систематичности, последовательности и доступности. Следует тщательно продумать использование различных способов ведения урока и методов сообщения нового материала и проверки качества его усвоения, и в соответствии с принципами наглядности, соз-

нательности и активности учеников сочетать различные методы и средства обучения. В зависимости от целей и задач урока, особенностей излагаемого материала и сложившейся ситуации учитель должен уметь становиться режиссером и актером, психологом, оратором и т.д.

В науке **метод** определяется как способ теоретического исследования или практического осуществления чего-то.

Методы исследования – это упорядоченные способы деятельности исследователя по достижению поставленных им целей изучения объекта, явления или процесса. Методы исследования могут быть классифицированы (объединены) в отдельные группы подобия по определенному, основному признаку. Методы характеризуются по алгоритму: 1) определение метода; 2) характерные черты метода; 3) задачи применения метода; 4) формы (виды) применения метода; 5) этапы реализации метода; б) приемы и средства метода; 7) условия эффективного использования метода.

Методы обучения классифицируются: 1) в зависимости от источника знаний; 2) в зависимости от характера учебно-познавательной деятельности учащихся 3) в зависимости от типа взаимодействия учителя и учащихся.

Начинающему учителю проще и лучше всего удается «классическая» организация уроков астрономии, включающая следующие основные этапы и методы проведения занятий:

| Этапы урока | Содержание | Методы изложения | Время, мин |
|-------------|---|--|------------|
| 1 | Организационный момент. Проверка домашнего задания и повторение пройденного материала | Фронтальный опрос, беседа, работа по карточкам и т.д. | 5-7 |
| 2 | Актуализация темы занятия. Изложение нового материала | Лекция, беседа, рассказ учителя с использованием средств наглядности и т.д. | 20-25 |
| 3 | Закрепление изученного материала (решение задач и т.д.). | Фронтальный опрос, беседа, самостоятельное решение задач у доски и в тетради, работа по карточкам и т.д. | 10-15 |
| 4 | Систематизация и обобщение пройденного материала, подведение итогов урока, домашнее задание | Фронтальное обсуждение, беседа, составление обобщающих таблиц и схем | 3-5 |

Оговорим особенности организации вышеперечисленных этапов урока:

1. Организационный этап должен психологически готовить учеников к занятию. Он включает в себя: а) приветствие; б) проверку готовности учащихся (внешний вид, рабочая поза, состояние рабочего места и т.д.) и классного помещения к уроку; в) организацию внимания. Учитель должен быть всем своим видом и поведением (собранным, требовательно-немногословным) настраивать учащихся на учебный процесс.

В ходе проверки ранее изученного материала: а) устанавливается правильность и сознательность выполнения домашней работы; б) определяются, корректируются и устраняются ошибки и пробелы в знаниях, умениях и навыках учеников, образе их мышления, осознанности действий; в) оцениваются результаты усилий учащихся. Учитель должен проявлять оперативность, вовремя и адекватно реагировать на ответы учеников, комментировать их и справедливо выставлять оценки. В первую очередь надо обращать внимание на наиболее

распространенные, типичные ошибки; для устранения индивидуальных ошибок можно задержаться с допустившими их учениками после урока.

2. Этап актуализации имеет задачей организацию целенаправленной деятельности учащихся на обретение новых знаний. Учителю нужно не только сообщить школьникам тему урока и цель изучения нового материала, но и показать важный практический смысл, значимость данных знаний, умений и навыков для всех образованных людей вообще и для них, учеников, в частности. Ученики должны воспринимать изучаемый материал «близко к сердцу», заинтересованно, эмоционально.

Учитель должен заботиться об организации восприятия, осознания, осмысления, систематизации и обобщения нового материала. Условиями реализации образовательных задач урока будут: а) полное точное определение отличительных характеристик и свойств изучаемых объектов, явлений и процессов; б) выделение среди них наиболее важных, существенных признаков; в) запись формулировок определений основных понятий, опорных пунктов, плана, тезисов, конспекта урока, организация самостоятельной работы учащихся и т.д.

В ходе сообщения нового материала следует постоянно контролировать его восприятие и понимание учащимися связей и отношений между понятиями и закономерностями путем: а) задавания соответствующих вопросов, требующих мыслительной активности; б) предложений ученикам уточнить, дополнить излагаемый материал своими примерами, исправить нарочито допущенные ошибки...; в) созданием нестандартных ситуаций, требующих использования изучаемого материала.

3. Ученики должны не только закрепить изученный материал в своей памяти, но и научиться использовать приобретенные знания, умения и навыки на последующих уроках и (по возможности) в повседневной жизни.

4. На заключительном этапе урока важно систематизировать и обобщить изученный материал, сформулировать соответствующие выводы. Желательно записать их на доске или (и) в тетради. Подвести итоги урока, коротко проанализировать и оговорить работу класса и отдельных учеников, выставить отметки. Перед сообщением домашнего задания еще раз проверить, как ученики усвоили пройденный материал, коротко объяснить им, как нужно готовить домашнее задание, решать задачи, какие требования к ним будут предъявляться при его проверке. Список упражнений домашней работы должен быть записан на доске.

Процесс обучения астрономии должен быть оптимизирован. Структура урока должна учитывать динамику психофизиологического состояния учащихся. При разработке плана-конспекта урока необходимо учитывать: школьную смену и положение в смене (наихудшие условия для усвоения нового материала на 1 и 5-7 уроках). Учитель должен знать возможную продолжительность активного восприятия учащимися данного возраста материала урока (начальная школа – до 10 минут; среднее звено – 15-20 минут; старшее звено – до 25 минут) и соотношения между различными типами мышления: наглядно-образным, логическим и т.д., и их продолжительностью у учащихся физико-математических, гуманитарных и других классов. Структура сложного урока должна быть «мозаичной»: периоды изложения нового материала, рассчитанные на его активное восприятие

школьниками, должны чередоваться с периодами условного «отдыха» – со сменой деятельности, выполнением других видов учебной работы.

Ограниченность объема школьного курса астрономии значительно сужает возможности использования традиционных форм педагогического контроля: опроса у доски, решения задач на закрепление и повторение пройденного материала, самостоятельных и контрольных работ. Учитель может отвести на это не более 15-20 % времени далеко не каждого урока астрономии. Многие, особенно начинающие, педагоги пренебрегают постоянным, ежеурочным контролем за знаниями учащихся, осуществляют его лишь изредка и проводят контрольные работы лишь 1 раз в четверть, а то и в полугодие. В результате ученик в течение учебного года получает 2-3, реже 4-5 отметок, которые и становятся основным критерием для выставления оценки за год. В значительной части школ России отметки по астрономии в аттестате завышены и не соответствуют истинному уровню знаний учащихся по предмету; чаще всего они выставляются автоматически, такие же, как по физике, – основному предмету учителя.

Необходимо вернуться к практике и нормам выставления оценок по астрономии, общепринятым в преподавании естественно-математических дисциплин: «Удовлетворительно оценить знания ученика по астрономии можно в том случае, если он в ответе показал понимание основной идеи изученного и сумел подкрепить ее пересказом определенного фактического материала. Чтобы получить хорошую оценку, ученик должен уметь воспроизвести выводы, рассуждения и доказательства, приведенные учителем или имеющиеся в учебнике. Отличной оценки заслуживает ученик, который настолько овладел знаниями, что может применить их в новой ситуации. Помимо знаний, почерпнутых из учебника, подлежат оценке материал, усвоенный на основе объяснения учителя; оригинальное решение предлагаемых задач; качество ведения тетради; знания, приобретенные в процессе внеурочной работы (экскурсии, чтение дополнительной литературы и т.д.)... Обязательной оценке подлежат все дополнительные работы, проведенные учащимся (изготовление приборов, монтажей и т.д.)».

Следует отдавать предпочтение наиболее эффективным формам проверки и учета знаний, которые: 1) являются наиболее объективными; 2) охватывают максимальное число учеников (весь класс); 3) выполняются и проверяются за минимальное время; 4) позволяют в наиболее краткой форме наилучшим образом проверить глубину и широту знаний, умений и навыков; 5) активизируют учащихся, способствуют росту познавательных интересов, создают положительные мотивы в обучении.

Основные способы педагогического контроля на уроках астрономии:

1. Устный опрос.

а) Фронтальный опрос может проводиться в начале урока с целью актуализации и проверки ранее пройденного материала или домашнего задания, или в конце урока – для проверки глубины усвоения новоизученного материала. Охватывает возможно большее число учащихся. Занимает не более 5-10 минут. Вопросы должны предусматривать краткий точный ответ, выявляющий понимание главного в изученном материале и умение школьников самостоятельно мыслить.

б) Традиционный опрос с вызовом к доске на уроках астрономии нецелесообразен, т.к. отнимает много времени от урока. У молодых неопытных учителей он обладает низкой эффективностью и в плане работы всего класса (пока 1-2 ученика 15-20 минут трудятся у доски, весь класс, дожидаясь результатов их работы «отдыхает» за партами). Желательно проводить его лишь изредка или эпизодически (на уроках по решению задач, в сочетании с созданием проблемной ситуации и т.д.).

в) Собеседование, проводимое по ряду заранее составленных вопросов, проводится в малых группах учеников, дополняющих и уточняющих ответы друг друга. Оно позволяет глубже оценить уровень их знаний и умений, выявить недостатки в преподавании, объяснить ученикам наиболее сложные для них вопросы. Наиболее эффективно в проверке качества усвоения сложного материала мировоззренческого характера.

2. Решение задач.

Согласно «Толковому словарю русского языка» С.И. Ожегова:

Задание – то, что назначено для выполнения, поручение.

Задача – это: то, что требует исполнения, разрешения; упражнение, которое выполняется, решается посредством умозаключений, вычислений и т.д.

Задача в психолого-педагогической науке – цель, достижение которой возможно с помощью определенных действий (деятельности) в определенной ситуации. Задачи – основное дидактическое средство для обучения применению знаний. В методической и учебной литературе под задачами понимают целесообразно подобранные упражнения, главное назначение которых заключается в развитии научного мышления учащихся, формировании научных знаний и практических умений.

В преподавании астрономии находят применение все основные виды задач, но наиболее часто используются: а) текстовые задачи-вопросы (изучаемые явления рассматриваются с качественной стороны, без применения формул); б) расчетные задачи; в) практические задачи (с использованием подвижной карты звездного неба, эфемерид, Астрономического календаря и т.д.); задачи, связанные с обработкой данных наблюдений (приведенных в письменном источнике, полученном из Интернета с борта космических аппаратов, из обсерваторий или собственных исследований учеников) и т.д. Астрономические задачи должны иметь практическую направленность, демонстрировать применение астрономических методов исследования и средств космонавтики для познания окружающего мира, научной и народно-хозяйственной деятельности людей.

I «ученический» уровень сложности задач представляет собой алгоритмическую деятельность при внешне заданном алгоритмическом описании. В этих задачах по «узнаванию» заданы цель, ситуация и действия по ее решению; от учеников требуется дать заключение о соответствии этих компонентов в структуре задачи.

II «типовой» уровень сложности задач представляет собой репродуктивное алгоритмическое действие. В задаче заданы цель и ситуация; от ученика требуется применить ранее усвоенные действия по ее решению, самостоятельно воспроизводя и применяя ранее усвоенную информацию.

Соответствующие задания могут быть взяты из сборников задач Б.А. Воронцова-Вельяминова, М.М. Дагаева, Г.И. Малаховой и Е.К. Страута, програм-

мированных заданий Е.П. Разбитной и Г.П. Субботина, а также многочисленных соответствующих статей в журнале «Физика в школе».

III «эвристический» уровень: действие эвристического типа – в задаче задана цель, но неясна ситуация; от ученика требуется дополнить (уточнить) ситуацию и применить ранее усвоенные действия для решения нетиповой задачи. Учащиеся в ходе решения добывают субъективно новую для них информацию. Таковы задания олимпиадных задач В.Г. Сурдина и ряд задач, опубликованных в статьях журнала «Физика в школе». Требуют относительно много времени для решения и поэтому их целесообразно предлагать на отдельных уроках решения задач, а также отличникам или по желанию – на дом.

Для составления учебных заданий II и III уровня (в т.ч. самостоятельных и контрольных работ) могут быть использованы рисунки и фотографии в учебниках астрономии, физики и других книгах. Ученики с удовольствием решают задачи на поиск и объяснение астрономических ошибок, допущенных авторами в отдельных художественных и даже научно-популярных произведениях.

IV «творческий» уровень: действие творческого типа – в задаче цель известна лишь в общем виде, поиску подвергаются ситуация и действия, ведущие к достижению цели. В ходе решения добывают объективно новую информацию. К этой группе задач относятся учебно-тренировочные и научные астрономические наблюдения школьников.

Решение всего комплекса задач для данного урока астрономии затрудняется постоянно нехваткой учебного времени. Особенно сложным является проблеме разбора решения задач средней степени трудности и, как правило, учитель не успевает рассмотреть с учениками задачи повышенной трудности, хотя часто именно они являются проблемными и представляют наибольший интерес для развития воображения, творческого мышления, умения нестандартно мыслить и применять нетривиальные решения, использовать все свои естественно-математические знания и общеучебные умения.

Частичное решение этой проблемы состоит в задавании сложных, творческих заданий на дом для учеников-любителей астрономии и учащихся, обладающих развитыми физико-математическими способностями и интересами. На знакомство с результатами их работы на соответствующих уроках можно отводить до 5-7 мин. В течение этого времени они знакомят класс со своей задачей, способами ее решения и конечным результатом. Это может использоваться: для актуализации учебного материала, формирования познавательного интереса, ощущения причастности учеников к познанию Вселенной, знакомства с дополнительными сведениями по астрономии, физике, математике и другим наукам.

Комплексными называют задания, выполнение которых требует комплексного применения знаний из нескольких разделов одного предмета или знаний, полученных ранее учащимися в процессе изучения нескольких учебных предметов. Мы предлагаем комплексные задания для курса астрономии XI класса, включающие в себя систему из нескольких взаимосвязанных задач и вопросов по каждому отдельному разделу (теме) астрономии. Для полного выполнения задания необходимо совершить последовательную совокупность усложняющихся действий, каждое (или почти каждое) из которых включает в се-

бя результаты решения, элементы решения или даже полное решение предыдущего вопроса (задачи). Поскольку для полного выполнения комплексного задания требуется время, сопоставимое с продолжительностью урока, они могут применяться для углубления, закрепления и повторения материала:

1) на уроках, полностью посвященных решению задач;

2) в качестве контрольной работы;

3) в качестве домашних заданий, которые могут быть заданы ученику:

а) из расчета выполнения к следующему уроку; б) на первом уроке изучения нового раздела астрономии, из расчета поэтапного выполнения с использованием знаний и умений, последовательно приобретаемых при изучении материала раздела. Ученики заканчивают выполнять это домашнее задание к завершающему уроку раздела. Проверка выполнения отдельных этапов задания и необходимые консультации могут проводиться на нескольких (каждом) уроках или все задание проверяется сразу на последнем занятии. Комплексное задание может быть представлено на отдельных карточках, включающих помимо текста задачи, справочный материал, некоторые формулы, схемы и диаграммы.

3. Выполнение программированных заданий:

1) для текущей проверки материала, изученного на предыдущих уроках. Соответствуют I уровню сложности. Проводятся в основном для контроля над успеваемостью учащихся;

2) обучающих (развивающих), содержащих элементы нового знания (вариации признаков понятий и т.д.), проблемные ситуации, работу с рисунками, схемами, моделями, способствующих формированию понятий о космических объектах, явлениях и процессах. Часть этих заданий может относиться к III уровню сложности: при их выполнении, в ходе работы и последующего анализа под руководством учителя, учащиеся должны открывать для себя новое на уровне анализа, синтеза и обобщения материала; приходиться к выводам методологического и мировоззренческого характера; «открывать» действие всеобщих (универсальных) законов природы (перехода количественных изменений в качественные, единства и взаимодействия противоположностей и т.д.). В это число входят задания: а) по систематизации понятий по признаку «от более общего к менее общему»; б) на поиски признаков, по которым составлены группы понятий; в) найти ошибку в классификации и дать правильные варианты; г) на составление возможных вариантов классификации объектов по различным основаниям.

4. Самостоятельные работы, рассчитанные на 15-20 мин урока. Могут включать в себя 1-2 задачи I-II уровня сложности, записанные на доске (задания по вариантам) или задания по карточкам, включающие в себя: а) объяснение природы космических процессов и причин космических (небесных) явлений; б) решение простой задачи (вычислительной или решаемой при помощи подвижной карты звездного неба); в) построение или анализ графиков, таблиц, схем и т.д.; г) работа с анализом данных, установкой взаимно-обратных связей и составлением наборов вариантов вопросов к условиям задачи с учетом требований корректности. Часть заданий может быть оформлена в виде тестов, с выбором правильного ответа из нескольких предложенных вариантов, часть – требовать самостоятельного краткого (2-3 строки) ответа.

5. Подготовка кратких сообщений и докладов по отдельным вопросам курса. Полезно «воскресить» применявшиеся в 70-80-х гг. краткие (на 2-3 мин) сообщения учащихся в начале каждого урока о последних новостях (открытия) науки – астрономии и физики, на основе материала газет и журналов, радио- и телепередач, назначая по выбору учителя или желанию учащихся 1-2 постоянно сменяющихся «информаторов».

6. Написание рефератов, участие в дискуссиях, выступление на учебных семинарах и конференциях.

7. Контрольные работы, проводимые по завершении изучения большого раздела (или нескольких разделов) курса астрономии, в конце четверти или учебного полугодия.

8. Зачеты, проводимые во внеурочное время или на отдельных (зачетно-обзорных) занятиях в конце каждого полугодия. При подготовке к ним ученики повторяют, обобщают и систематизируют материал ряда соответствующих разделов курса. Перед проведением зачета учитель консультирует школьников. Вопросы к зачету готовятся и раздаются ученикам заранее, за 2-3 недели до его проведения. Желательно, чтобы зачет был дифференцированным согласно способностям учеников, включал в себя задания разной сложности.

9. Экзамен по астрономии проводится по выбору учащихся или решению администрации школы.

Дополнительная возможность углубления, расширения и проверки астрономических знаний учащихся состоит в частичной замене задач физического содержания на уроках физики на задачи с астрономическим и космонавтическим содержанием, использования астрономического материала для создания проблемных ситуаций.

Устные методы контроля пригодны для непосредственного общения с учениками на уроках по конкретно изучаемым вопросам для получения некоторой информации о текущем усвоении учебного материала – для учителя и для более подробного и углубленного его разбора – для учащихся. Надо отметить, что некоторые ученые считают, что для оценки качества знаний эти методы контроля непригодны, т.к. необходимая диагностичность, точность и воспроизводимость результатов в них не заложены. Оценивание по письменным контрольным работам также является неточным и нестрогим, т.к. преподаватели исходят из различных соображений и критериев в их оценке. Проблему однозначности и воспроизводимости оценки решают лишь объективные методы контроля знаний, опирающиеся на специально созданные тесты.

Тесты I уровня должны проверять умение учащихся узнавать правильность использования ранее усвоенной информации при повторном ее предъявлении в виде готовых решений соответствующих вопросов и задач. Формы тестов: а) тесты на опознание (с однозначным ответом «да» или «нет»); б) тесты на различение (указание отношения к каждому из перечисленных вариантов ответов); в) тесты на классификацию (классифицировать по определенному признаку объекты).

Тесты II уровня должны выявлять умение учащихся воспроизводить информацию без подсказки, по памяти для решения типовых задач. Формы тестов: а) тест-подстановка (задание: перечислить объекты (явления), указанные где-то в пособии в одном месте ... или «допишите формулу для расчета ...»); б) конст-

руктивный тест (задание: выведите формулу для расчета ... или назовите явления (объекты), которые указаны в разных местах пособия; правильно ли выбраны опорные сигналы... и установлена между ними связь; на выполнение необходимых и достаточных условий); в) тест «типовая задача», которую можно решить путем буквального непреобразованного использования усвоенных алгоритмов деятельности (подсчитать... определить... и т.д.).

Тесты III уровня должны предусматривать выполнение заданий, требующих предварительного преобразования усвоенных знаний и их приспособления к ситуации в нетиповой задаче.

Тесты IV уровня должны выявлять творческие способности учащихся – их исследовательские возможности по получению новой для данной отрасли науки информации; в виде тестов используются задачи-проблемы, алгоритм решения которых неизвестен и не может быть прямо получен путем преобразования известных методик. Нет готового эталона ответа, о качестве решения задачи должна судить группа экспертов.

С нашей точки зрения использование тестов все же не гарантирует полноты объективности контроля. Групповое тестирование должно дополняться индивидуальными формами работы с учащимися. Весьма эффективно сочетание нескольких различных форм контроля на одном уроке: беседа с группой учеников проводится в то время, пока весь остальной класс занят работой по карточкам, разговор у доски дополняется фронтальным опросом и т.д.

Желательно, чтобы в конце каждого урока ученик должен делать его анализ: а) для себя – что понял / не понял; что было интересно / неинтересно; б) для учителя: удачные / неудачные моменты урока.

Далее в ходе беседы с преподавателем студенты с учетом собственного опыта, приобретенного при прохождении педагогической практики, обсуждают различные проблемы проведения урока: от организационных моментов и методики сообщения нового материала до эффективности разных форм контроля, варианты построения планов-конспектов, тренируются в их составлении.

Лекции-семинары 11-12

Земля – планета Солнечной системы. Мир Солнечной системы

Занятия являются продуктом совместной работы преподавателя с обучаемыми: часть лекции читает педагог, часть обучаемые, имитирующие работу школьного учителя астрономии. Будущим учителям нужно не только приобрести новые для себя знания о природе Земли и других планетных тел Солнечной системы, но и показать, как они будут сообщать эти знания учащимся в классе, потренироваться в предстоящей взрослой работе. Доклады на 15-20 мин. должны включать отдельные самостоятельные «блоки» нового материала. По их содержанию, методике работы и прочим вопросам обучаемые консультируются на индивидуальных занятиях.

Предназначенный к изучению материал очень объемный. Важно, чтобы обучаемые научились вести уроки с максимальной информационной плотностью.

За неделю до занятия обучаемые должны представить педагогу свои планы-конспекты выступлений. Одну и ту же тему доклада могут разрабатывать в

рамках своеобразного конкурса «на лучший доклад и докладчика» сразу несколько человек. Проводится несколько консультаций. Выступающим рекомендуют сопровождать доклад соответствующими средствами наглядности, которые они могут по договоренности с преподавателями и лаборантами заимствовать из школьных (вузовских) кабинетов природоведения, физики и географии (таблицы и плакаты, отражающие внутреннее строение Земли, ее атмосферы и гидросферы, муляжи основных форм рельефа, географические карты, глобус, образцы горных пород и минералов и т.д.).

Перспективные темы докладов:

Занятие 1. «Земля – планета Солнечной системы»: Основные физические характеристики, строение, рельеф, гидросфера и атмосфера. Тепловой баланс. Эволюция Земли. Проблемы планетарной экологии.

Занятие 2. «Мир Солнечной системы»:

Солнечная система. Основные характеристики, строение, состав.

Планеты земной группы. Планеты-гиганты.

Внутреннее строение планет. Энергетика планет. Эволюция планет.

Планетоиды: Луна, спутники планет-гигантов: основные физические характеристики, внутреннее строение, рельеф, условия на поверхности.

Метеороиды: астероиды, кометы, кентавры. Метеоры, болиды, метеориты. Проблемы метеороидной бомбардировки.

Ввиду важности формирования наглядного образа изучаемых объектов вниманию учащихся предлагается просмотр комплекта из 60-80 цветных диапозитивов космических объектов, входящих в Солнечную систему (из серии слайд-фильмов «Иллюстрированная астрономия»: «Строение Солнечной системы»; «Планеты Солнечной системы»; «Солнце и его семья»; «Малые тела Солнечной системы»; «Земля, ее естественный и искусственные спутники»): вид из космоса планет Солнечной системы и их спутников, астероидов и комет; основные детали рельефа и вид поверхности планет земной группы, планетоидов и астероидов; атмосферные образования и кольца планет-гигантов.

Демонстрация слайдов сопровождается изложением кратких сведений об основных физических характеристиках космических объектов и наиболее важных, выразительных, запоминающихся (в том числе парадоксальных) данных об их природе и свойствах. Эти, производящие наибольшее впечатление комментарии, образуют как бы «звуковое сопровождение» зрительного образа космического объекта и содействуют росту познавательного интереса учащихся и запоминанию учебной информации. В зависимости от числа слайдов, отведенного на их просмотр времени и реакции обучаемых комментарии лектора могут быть более или менее подробными. Желательно упускать числовые данные о космических объектах, кроме самых важных, или округлять их; хорошо запоминаются характеристики, данные в сравнении с известными ученикам (так, массы и размеры космических тел удобно сравнивать с земными).

После каждого отдельного выступления и в конце занятия педагог и обучаемые кратко комментируют выступления, обобщают материал докладов, делают выводы. Следует поощрять возникновение дискуссий, высказывание замечаний и дополнений к докладам. В конце занятия учащиеся должны ответить на вопрос: все

ли индивидуальные характеристики и свойства рассмотренных на уроке объектов лежат в рамках характеристик и свойств данной группы (класса) объектов?

Справочный материал по основным темам докладов мы ограничиваем сведениями об объектах Солнечной системы. Материал о Земле обучающиеся должны найти самостоятельно, из других источников.

• Солнечная система

Солнечная система – система космических объектов, состоящая из звезды класса G2 Солнце и вращающихся вокруг нее под действием сил тяготения планетных тел: 9 больших планет – Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна, Плутона; 128 известных спутников планет (планетоидов и астероидов); 10^5 - 10^6 малых планет – астероидов; 10^{13} - 10^{14} комет и бесчисленного множества метеорных тел, космической пыли и газа. Пространство Солнечной системы размерами свыше $3 \cdot 10^{16}$ м является носителем гравитационных и магнитных полей и пронизано электромагнитным излучением и потоками элементарных частиц. Возраст Солнечной системы 4,5-5 миллиардов лет.

Солнце сосредоточивает в себе 99,866 % массы Солнечной системы, на долю больших планет приходится 0,134 % массы, спутников планет – 0,00004 %, астероидов – 0,0000001 %, комет – 0,0003 % и метеорных частиц 0,000000000001 %. Геометрический центр Солнечной системы почти совпадает с центром Солнца.

Большие планеты Солнечной системы обращаются вокруг Солнца в направлении его осевого вращения по почти круговым орбитам, слабо наклоненным друг к другу и лежащим вблизи плоскости солнечного экватора. Большинство планет вращается вокруг своей оси в том же направлении. Спутники планет в основном вращаются вокруг планет в том же направлении, в котором происходит осевое вращение планет, но некоторые, самые далекие спутники планет обладают обратным движением. Большинство орбит астероидов лежит между орбитами Марса и Юпитера. Открыты сотни силикатно-ледяных и ледяных планетоидов, кентавров и кометных ядер **пояса Койпера**, орбиты которых лежат за орбитой Плутона на расстоянии около 50–70 а.е. от Солнца.

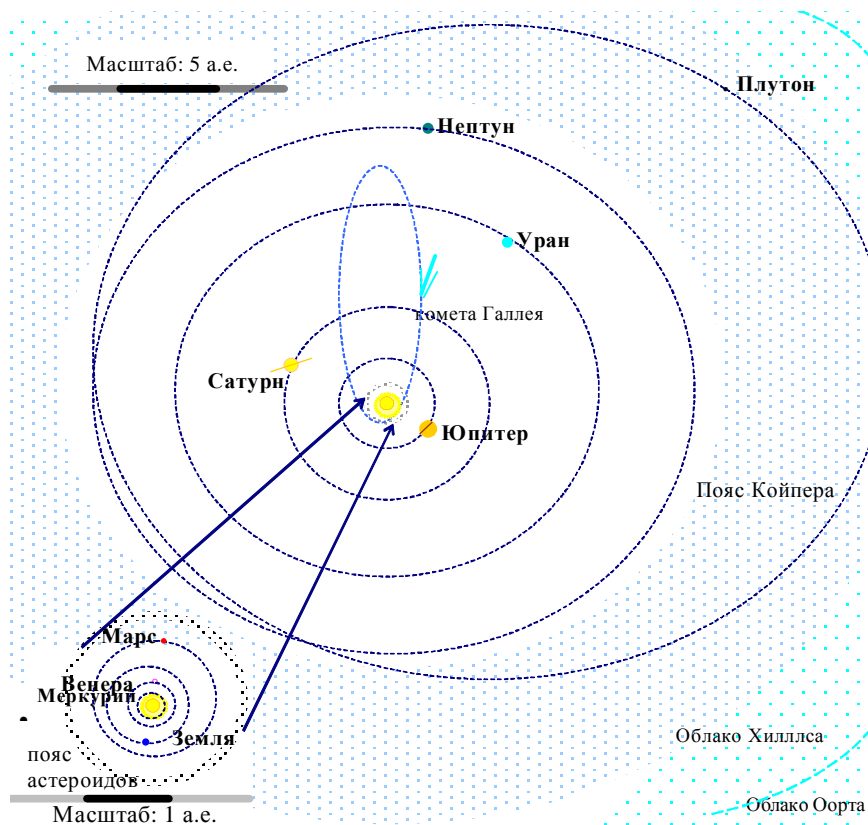


Рис. 69. Структура Солнечной системы

Общее число метеороидов размерами свыше 1 км на расстоянии до 100 а.е. от Солнца достигает 1 миллиона. В гигантском облаке кометных ядер, окружающем Солнечную систему, выделяют 2 слоя: сферическое **облако Хиллса** из 10^{13} - 10^{14} ледяных метеороидов на расстоянии до 20000 а.е. и квазисферическое **облако Оорта** из 10^{11} - 10^{12} объектов на расстоянии до 10^5 а.е. от Солнца. Под действием возмущений от проходящих вблизи звезд кометные ядра в облаке меняют свои орбиты и часть их устремляется внутрь Солнечной системы; орбиты известных комет обладают большим эксцентриситетом и наклоном к эклиптике.

За границу Солнечной системы принимают расстояние от Солнца до **гелиопаузы** – точки, в которой давление солнечного ветра уравнивается давлением межзвездной среды (около 100 а.е.).

Средние расстояния планет от Солнца подчиняются эмпирическому закону, сформулированному в конце XVIII в. астрономами И. Тициусом и И. Боде: $r = 0,3 \cdot 2^n + 0,4$ (а.е.), где r – расстояние от планеты до Солнца. Для Меркурия $n = -\infty$; для Венеры $n = 0$; для Земли $n = 1$; для Марса $n = 2$; для Юпитера $n = 4$ и т. д.

В настоящее время ближайшей к Солнечной системе звездой является Проксима Центавра, красный карлик ($11,05^m$), компонент тройной звездной системы α Центавра, расположенная на расстоянии 270 000 а.е. (4,2 световых года). В течение ближайшего миллиона лет около Солнечной системы на расстоянии до 0,5 св. года (30 000 а.е.) пройдет 8 звезд; наибольшее сближение испытает красный карлик Глизе 710 ($M_* \sim 0,3M_\odot$) из созвездия Змееносца.

• Планеты Солнечной системы

В группу земледобных планет входят Меркурий, Венера, Земля и Марс, состоящие в основном из силикатных пород, соединений железа и других тяжелых химических элементов.

Меркурий – ближайшая к Солнцу планета Солнечной системы. Масса Меркурия 0,0551 земной, диаметр – 4878 км, средняя плотность $5,44 \text{ г/см}^3$. Орбита Меркурия обладает большим эксцентриситетом (0,206) и наклоном к эклиптике (7°). Приливное действие Солнца придало планете резонансный несинхронный характер движения: сидерический период обращения Меркурия – $87,97^d$, а период вращения – $58,65^d$: Меркурий делает 3 оборота вокруг своей оси за 2 меркурианских года, поворачиваясь к Солнцу то одной, то другой стороной. Особенности орбитального движения Меркурия привели к неравномерности видимого движения Солнца в небе планеты: в афелии Солнце перемещается в небе очень медленно, а в перигелии, когда скорость орбитального движения превышает скорость вращения планеты, Солнце почти неделю движется по небу «вспять»; на некоторых долготах Солнце неделями неподвижно висит в меркурианском небе.

Меркурий получает в 6 раз больше солнечной энергии на единицу площади поверхности, нежели Земля – от $9,15$ до 11 кВт/м^2 , поэтому на экваторе Меркурия в полдень температура поднимается до $+427^\circ\text{C} / +510^\circ\text{C}$, но в полночь опускается до $-183^\circ\text{C} / -210^\circ\text{C}$: у Меркурия практически нет атмосферы. Давление газовой оболочки, состоящей из натрия, калия, гелия, водорода, неона и аргона, в 500 млрд. раз слабее, чем у поверхности Земли (но в 200 раз плотнее лунной). Постоянно рассеивающаяся атмосфера Меркурия непрерывно пополняется газом из солнечной атмосферы и газами, выделяющимися из реголита поверхности и литосферы планеты. Тепловой поток из недр пренебрежимо мал. Меркурий обладает слабым магнитным полем (0,7-1,0 % напряженности земного).

Поверхность Меркурия весьма напоминает поверхность Луны, она вся изрыта кратерами ударного происхождения, названными в честь писателей, художников, композиторов (Достоевский (600 км), Толстой (300 км), Бетховен, Роден, Пушкин и т.д.). Часть кратеров обладает светлыми лучевыми системами. Высота гор Антониади и Скиапарелли достигает 2 – 4 км; многочисленные эскарпы – обрывы (сбросы) имеют протяженность от 20 до 500 километров и высоту до 2-3 км. На исследованном участке поверхности обнаружены лишь небольшие «моря»- равнины Жары (диаметром 1300 км), Сусей, Тир, Будх, Собкоу и Северная равнина. Предположительно, породы литосферы сложены в основном обедненными железом габброидами, анортозитами, шпатами, плагиоклазами и щелочными базальтами.

Венера – ближайшая к Земле планета, почти совпадающая с ней по размерам и массе, но

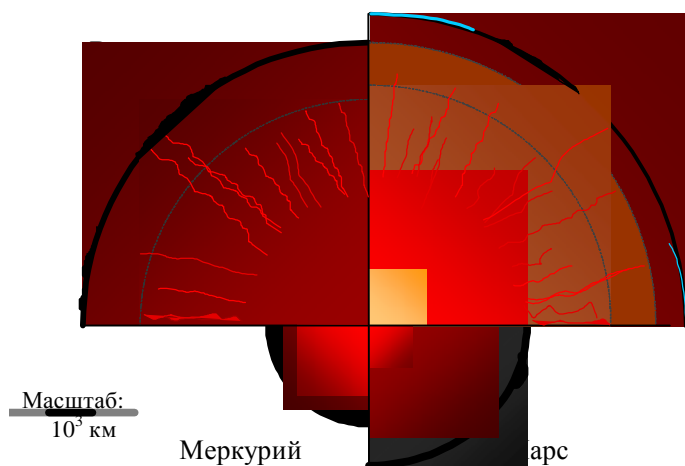


Рис. 70. Внутреннее строение планет земной группы Солнечной системы:

- Внутреннее твердое ядро планеты.
- Внешнее жидкое (вязкое) ядро планеты.
- Мантия: ■ - внутренняя; ■ - средняя; ■ - внешняя.
- Литосфера (кора) планеты.

близость Венеры к Солнцу обусловила в 2 раза больший приток энергии на единицу площади поверхности и породила ряд существенных отличий в эволюции планет.

Приливное действие Солнца почти уравнило по продолжительности сидерический венерианский год ($224,7^d$) и венерианские сутки ($243,02^d$). Венера вращается вокруг своей оси в обратном направлении по отношению к большинству планет. Тепловой поток из недр планеты весьма значителен (10^{-5} Вт/см²) и поддерживает мощные вулканические процессы в литосфере Венеры, тектоническая активность недр планеты невысока. Венера обладает очень слабым магнитным полем, захваченным и сжатым из магнитного поля межпланетного пространства. Как и у Меркурия, у Венеры нет спутников планеты.

Основной деталью рельефа Венеры являются равнины – плоские или слабохолмистые каменные пустыни, занимающие 75-80 % площади ее поверхности. Своеобразными формами венерианского рельефа являются тессеры (8 % площади планеты) – платообразные возвышенности, поверхность которых представляет собой хаотическое нагромождение тектонических структур, и венцы – кольцевые структуры диаметром в несколько сотен километров, возникшие вследствие действия поднимающихся мантийных плюмов. Выделяют три материка: земля Иштар, земля Афродиты, область Бета, и мощные горные массивы – высота крупнейших гор Максвелла достигает 11 км. Число кратеров ударного происхождения и вулканов (в том числе действующих) относительно невелико.

Почти все детали рельефа носят женские имена: равнины названы в честь мифологических персонажей (Русалки, Снегурочки, Бабы-Яги); крупные кратеры – в честь выдающихся женщин, а маленькие – личными женскими именами. Состав венерианских пород в районах посадок АМС «Венера» и «Вега» близок к составу земных базальтов, встречающихся на океанских островах (толеитовые и субщелочные базальты).

Мощная атмосфера Венеры долго скрывала от земных наблюдателей поверхность планеты. Исследования химического состава и строения атмосферы и поверхности планеты были произведены с помощью АМС «Венера» и «Вега» (СССР), «Маринер», «Пионер-Венера» и «Магеллан» (США).

Состав атмосферы Венеры: CO₂ – 95,5 %; N₂ ≈ 3,5 %, остальные газы около 0,1 %. Высокое содержание углекислого газа породило мощный парниковый эффект, благодаря которому температура вблизи поверхности составляет от +470°C до +600°C при давлении 93-95 атм. В результате явления суперротации почти вся атмосфера Венеры вращается, обгоняя вращение планеты.

В ярком, желто-зеленом у горизонта и оранжево-красно-багряном в зените, закрытом вечными тучами небе никогда не проглядывает Солнце. Трехслойные облака Венеры различаются размерами и концентрацией частиц, и состоят в верхнем ярусе в значительной мере из мельчайших капелек серной кислоты, а ниже – из кристалликов серы. Гремят грозы. Скорость воздушных потоков в главном слое облаков достигает 100 м/с, однако ниже высоты 45-50 км небо почти всегда безоблачно и почти безветренно. У поверхности планеты скорость ветра не превышает 1 – 5 м/с, осадков почти или совсем не выпадает.

Марс – самая знаменитая планета Солнечной системы. Марс имеет массу $6,42 \cdot 10^{23}$ кг, почти в 9 раз меньше Земли по массе и вдвое по размерам: диаметр планеты 6776 км. Марс в 1,5 раза дальше от Солнца, орбита Марса обладает большим эксцентриситетом (0,0934); мар-

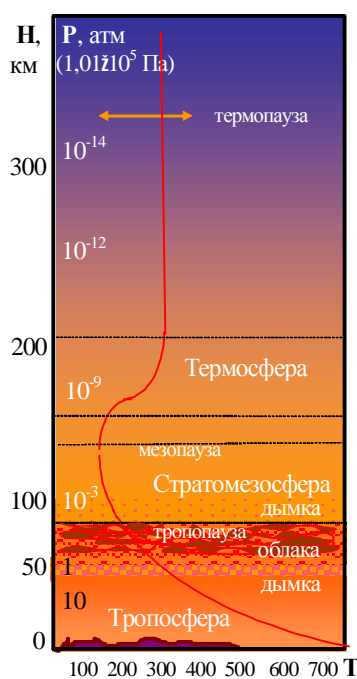


Рис. 71. Строение и физические характеристики атмосферы Венеры

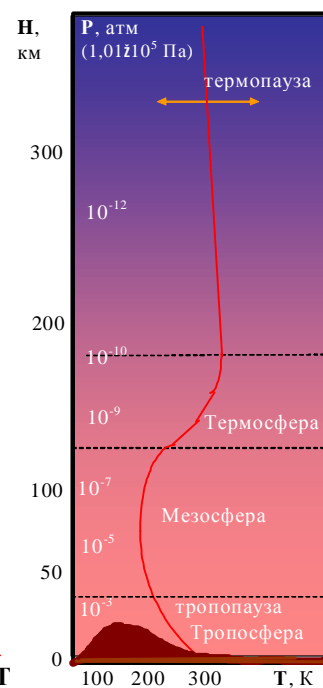


Рис. 72. Строение и физические характеристики атмосферы Марса

сианский год вдвое дольше земного (687^d), а сутки на Земле и Марсе ($24,6^h$) почти совпадают. На единицу площади поверхности Марса падает лишь 43 % от той энергии Солнца, что падает на земную поверхность. Современный тепловой поток из недр Марса составляет около $4 \cdot 10^{-6}$ Вт/см². У Марса обнаружено очень слабое магнитное поле.

Состав атмосферы Марса: CO₂ ≈ 95 %, N₂ ≈ 2,5 %, Ar – 1,6 %. Давление разреженной, почти целиком состоящей из углекислого газа и практически не содержащей кислорода (0,1-0,4 %) атмосферы Марса в 160 раз слабее, чем у поверхности Земли; парниковый эффект почти отсутствует, повышая среднюю температуру всего на 3–5 К.

Удаленность планеты от Солнца и разреженность атмосферы привели к тому, что даже летом на экваторе Марса температура редко поднимается днем выше 0°C, опускаясь ночью до -97°C; зимой морозы усиливаются до -130°C. В северном полушарии лето (177^d) длиннее зимы (156^d). Наибольшее количество «снега» CO₂ «выпадает» (осаждается) слоем глубиной до 60-80 см зимой в полярных районах.

Во время таяния полярных шапок грандиозные потоки воздуха «перетекают» из весеннего полушария в осеннее. Ветра со скоростью 40-70 м/с (до 100 м/с!) вздымают пыль массой до 1 млрд. тонн на высоту 7-15 км. Мощные пылевые бури продолжаются 50-100 суток, вызывая резкое глобальное похолодание на планете.

Рельеф Марса очень разнообразен и, как правило, не связан с окраской района (хотя наблюдаемые в телескоп 2/3 светлых участков поверхности Марса названы «материками», а темные – «морями»). Северное полушарие ниже южного на 3-5 км. Вокруг северного полюса Марса простирается Великая Северная равнина, к югу тянутся равнины Аркадия, Утопия и Ацидалийская. Почти на экваторе в стране Фарсида возвышаются гигантские, самые высокие в Солнечной системе, горы – потухшие щитовые вулканы Олимп (23 км), гора Аскрийская, гора Павлина и гора Арсия. Район южного полюса весьма кратеризован, густо покрытая кратерами всевозможных размеров (Скиапарелли – 470 км) область протянулась (с 50° северной широты, 40° западной долготы) на юг, к экватору (до 220° западной долготы). Кратерное море – равнина Аргир имеет размеры 900 км, еще крупнее равнина Эллада – гигантский палеократер диаметром около 2100 км и глубиной 9 км. К северо-западу от Аргира находится гигантский каньон – долина Маринера длиной 4500 км, шириной до 100 км и глубиной до 5-7 км. Красноватый цвет Марса объясняется большой распространенностью железосодержащих пород. По химическому составу марсианские породы близки к земным базальтам. На фотографиях поверхности Марса мы видим то каменистую, то песчаную пустыню под красноватым, почти всегда безоблачным небом.

В настоящее время основные запасы воды на Марсе (2,3-4,7 млн. км³) сосредоточены в криосфере – приповерхностном слое вечной мерзлоты толщиной до 100 м в крупных равнинных бассейнах на севере и юге Марса, занимающих до 15 % территории планеты, и в полярных шапках толщиной до 3–4 км, состоящих не только из льда (рыхлая и бугристая северная полярная шапка), но и замерзшего углекислого газа и газовых гидратов (равнинная, покрытая округлыми впадинами южная полярная шапка). На снимках, полученных с борта АМС, отчетливо видны сухие русла рек протяженностью до 1000 км и грандиозные каньоны, тянущиеся на тысячи километров при ширине до 200 км и глубине до 3 км. Возможно, под северной полярной шапкой сохранились реликтовые озера жидкой воды. Наиболее «влажные» районы на экваторе Марса – земли Аравия и Мемнония. В восточной части равнин Амазония и земли Аравия могут быть подповерхностные, частично или полностью промерзшие озера. В некоторых местах (кратер Ньютон) истечения жидкой воды (типа мощных родников, образующих быстро замерзающие потоки на валу кратера) наблюдаются до сих пор.

Существование жизни на Марсе в современную эпоху вполне вероятно; эксперименты, проведенные на борту посадочных модулей АМС «Викинг» (США) не дали однозначного ответа на этот вопрос.

У Марса есть 2 покрытых кратерами и бороздами спутника неправильной формы: Фобос (размеры 22×30 км, расстояние от планеты 6000 км, период обращения 7^h30^m), и Деймос (размеры 15×12 км, расстояние от планеты 20070 км, период обращения 30^h18^m) – вероятно, захваченные притяжением Марса астероиды.

Эволюция планет земной группы:

Эволюция **Меркурия** определялась близостью к Солнцу и малой массой планеты. Солнечный ветер и давление света уменьшили концентрацию легких элементов в протопланетном сгустке и способствовали быстрой аккумуляции планетного тела. Поверхность планеты нагревалась лучами близкого светила и взрывами при столкновениях Меркурия с мелкими планетезималями. Недра планеты, помимо гравитационного сжатия и распада радиоактивных элементов, нагревались под действием приливных сил со стороны Солнца, тормозивших вращение Меркурия вокруг оси. Все это способствовало быстрой дифференциации вещества: по-видимому, Меркурий был первой из полностью сформировавшихся планет Солнечной системы. Эволюция его закончилась 3,3-3 млрд. лет назад с образованием основных оболочек – массивного железоникелевого ядра радиусом около 1840 км (0,75-0,8 радиуса планеты R_M) и массой 0,5-0,62 массы планеты, мантии 0,2-0,25 R_M и литосферы (коры) толщиной до 200 км, а также основных деталей рельефа (бассейнов, гор и кратеров). К настоящему времени толщина коры увеличилась до 500 км, а тектоническая и вулканическая деятельность почти прекратились.

Самые ранние стадии эволюции **Венеры**, ее внутреннее строение и химический состав, вероятно, очень сходны с земными, но в дальнейшем пути их развития сильно разошлись.

Дифференциация недр Венеры началась раньше, нежели у Земли. В настоящее время конвекция вещества в мантии, по-видимому, отсутствует или очень слаба. Тепловая энергия недр выделяется в основном действующими вулканами. При высокой активности вулканических процессов на поверхности Венеры отсутствуют явные следы глобальной тектоники литосферных плит. Загадкой венерианского рельефа является его относительная молодость: возраст старейших образований не превышает 500 млн. лет. Ряд ученых считает это следствием катастрофического глобального переплавления всей литосферы планеты около 350 миллионов лет назад, когда тысячи сверхмощных вулканических излияний образовали моря и океаны расплавленной лавы. Так образовались базальтовые равнины – основной вид венерианского рельефа. Активный вулканизм значительно увеличил содержание паров H_2O и SO_2 в атмосфере, породив плотную облачность. Эффект «ядерной зимы» вызвал остывание поверхности планеты до $100^\circ C$. Диссоциация водяных паров и поглощение двуокиси серы горными породами вело к разрушению облачного слоя 130 млн. лет назад – небо Венеры стало свободным от облаков – и новому нагреванию Солнцем поверхности планеты. Современный облачный покров сформировался около 30 млн. лет назад в результате новой вспышки вулканической активности. В качестве объяснения особенностей рельефа, внутреннего строения, эволюции и характеристик движения Меркурия и Венеры выдвинута гипотеза, согласно которой Меркурий является «потерянным» спутником Венеры, вращавшемся вокруг нее на расстоянии 400000 км 4 – 4,5 миллиарда лет назад. В дальнейшем Меркурий неоднократно сближался с Венерой и становился на время (десятки и сотни миллионов лет) ее спутником. Мощное приливное рассеяние энергии вызывало плавление литосферы или резко усиливало тектонические и вулканические процессы в недрах Венеры, и тормозило вращение обеих планет.

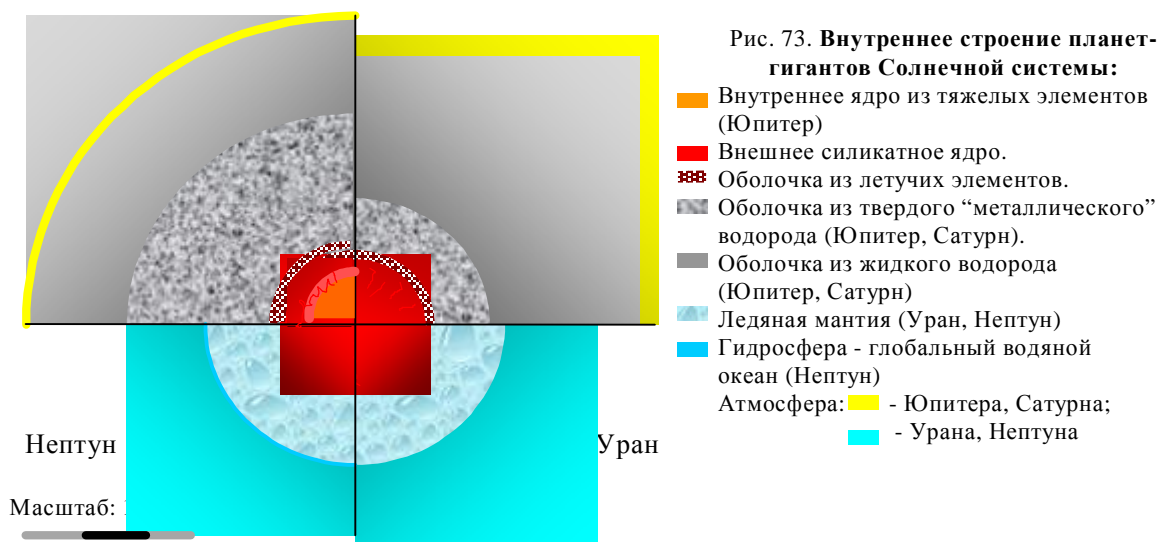
Эволюция **Марса** была обусловлена небольшой массой планеты и удаленностью от Солнца. Формирование железо-сульфидного ядра началось вскоре после завершения аккумуляции планеты и затянулось на миллиард лет. Гравитационная дифференциация вещества была не столь глубокой и полной, как у других планет земной группы, и подтверждается обогащенностью мантии сернистым железом и обилием железосодержащих пород в литосфере Марса, хотя концентрация железа в химическом составе планеты на 25 % ниже, чем у Земли. Процессы плавления вещества в мантии сопровождались интенсивной тектонической и вулканической деятельностью, с образованием на поверхности Марса базальтовых равнин и вулканических щитов. Атмосфера Марса первые сотни миллионов лет состояла из водорода и гелия, а после ухода водорода – из углекислого газа, азота и других газов (CO , NH_3 , CH_4 , H_2O и др.). В небе ярко светили 2 звезды – Солнце и формирующийся Юпитер, желтая и красная.

В конце Нойской эры, 3,8-3,55 млрд. лет назад Марс достиг вершины своей эволюции. В этот период интенсивного горообразования возникли основные формы современного рельефа. Мощная вулканическая деятельность обусловила существование плотной атмосферы ($p \approx 1,5$ атм) и обширной гидросферы.

В Гесперийскую эру (3,5-1,8 млрд. лет назад) Северную равнину Марса занимал соленый океан объемом до 15 млн. км³ глубиной 0,7-1 км; в отдельные промежутки времени он распадался на два – один, округлый, заполнял бассейн ударного происхождения в районе Утопии, другой, неправильной формы – район Северного полюса. В умеренных и низких широтах было много озер и рек, на Южном плато – ледники. Марс обладал плотной атмосферой, аналогичной той, которая в то время была у Земли, при температуре у поверхности до 50⁰С и давлении свыше 1 атм. Возможно, в ту эпоху на Марсе существовала биосфера: в трех метеоритах марсианского происхождения ALH 84001, Накла и Шерготти группой американских ученых были обнаружены образования, схожие с окаменелыми останками микроорганизмов возрастом от 4000 до 165 миллионов лет.

В Амазонийскую эру (2,5-1 млрд. лет назад) климат Марса стал катастрофически нестабильным; происходили мощные, но постепенно затухающие глобальные тектонические и вулканические процессы, в ходе которых возникли крупнейшие в Солнечной системе марсианские вулканы; несколько раз сильно изменялись характеристики гидросферы и атмосферы, появлялся и исчезал Северный океан. Катастрофические наводнения, связанные с таянием криосферы привели к образованию грандиозных каньонов: в долину Арес Валлис с южных нагорий Марса стекал поток полноводнее Амазонки; расход воды в долине Касей превышал 1 млрд. м³/с. Миллиард лет назад активные процессы в литосфере, гидросфере и атмосфере Марса прекратились и он принял современный облик. Виной глобальных катастрофических изменений марсианского климата считаются большой эксцентриситет орбиты и неустойчивость оси вращения, вызывающие огромные, до 45 %, колебания потока солнечной энергии, падающей на поверхность планеты; слабый приток тепла из недр Марса, обусловленный небольшой массой планеты, и высокая разреженность атмосферы, обусловленная высокой степенью ее диссипации.

В группу планет-гигантов Солнечной системы входят Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Все они состоят в основном из водорода и гелия, быстро вращаются вокруг оси и сплюснуты у полюсов, обладают мощными протяженными атмосферами, магнитными полями и радиационными поясами, системами спутников и колец, и излучают в пространство больше энергии, чем получают ее от Солнца.



Юпитер – самая большая планета Солнечной системы, в 318 раз больше Земли по массе и в 11 раз по размерам. В телескоп хорошо видны полосы облаков, тянущиеся вдоль экватора, в тропических зонах и у полюсов планеты. Облака располагаются в несколько слоев, на уровне верхней температура атмосферы 148 К, с глубиной она увеличивается. Состав верхних слоев атмосферы: 87 % водорода и 13 % гелия, вглубь ее растет содержание углеводородов – этана, метана, серы, углерода, азота и сложных органических молекул.

В атмосфере Юпитера скорость ветра вблизи экватора составляет 90-100 м/с, усиливаясь в тропиках до 160 м/с. В 80-100 км под аммиачными облаками экваториальной зоны над участками, где из глубин атмосферы восходят потоки газов, в облаках диаметром до 100 км гремят сильнейшие грозы. Энергия движения восходящих потоков преобразуется в горизонтальное вращательное

движение вихрей. Бушуют ураганы с порывами ветра до 1500 км/ч, возникают циклоны и смерчи – самый мощный из них, Большое Красное пятно в южном полушарии Юпитера, с воронкой в 15000 км, существует более 300 лет.

У Юпитера, в нашем понимании, нет твердой поверхности: на глубине $0,02R_{Ю}$ (1400-1500 км) под действием колоссального давления ($p = 5 \cdot 10^9$ Па, $T = 6500$ К) атмосферный водород переходит в жидкое состояние, а на глубине $0,22-0,24 R_{Ю}$ (16800 км) при $p = 10^{11}$ Па и $T = 10^4$ К водород становится твердым, «металлическим». Металлическая твердая оболочка простирается почти до границы с внешним ядром массой $20 M_{\oplus}$, предположительно состоящим из воды, метана, силикатов на глубине $0,85 R_{Ю}$, а глубже расположено внутреннее ядро из металлов (железа, никеля и др.) и силикатов. По расчетам ученых в центре Юпитера давление достигает $2,66 \cdot 10^{12}$ Па при $T = 2,3-2,5 \cdot 10^4$ К. Внутренний поток тепла из недр планеты на границе атмосферы и космоса достигает $5,6$ Вт/м²; общее количество излучаемой Юпитером энергии составляют 10^{18} Вт – в 2,5 раза больше, нежели Юпитер получает от Солнца.

Юпитер обладает самым мощным магнитным полем и обширной системой радиационных поясов – источником космических лучей (в основном, электронов). У полюсов Юпитера наблюдаются мощные полярные сияния. Юпитер – второй по мощности после Солнца «радиопередатчик» Солнечной системы.

В настоящее время (на 2003 г.) у Юпитера насчитывается 61 спутник, в их числе крупные планетоиды Ио, Ганимед, Европа, Каллисто; ряд ученых предполагает, что мелких (1-2 км) спутников у Юпитера больше (до 100). Юпитер окружен системой тонких колец, состоящих из мельчайших пылинок – микроосколков внутренних спутников.

Сатурн подобен Юпитеру по своим физическим характеристикам, но уступает ему по массе, размерам, мощности теплового потока из недр и активности атмосферы.

У Сатурна в 2003 г. насчитывалось 31 спутник, в том числе обладающий плотной атмосферой и углеводородной гидросферой планетоид Титан.

У Сатурна самая красивая и крупная система колец, состоящая в основном из большого количества обломков льда размерами меньше метра, камней и пыли. Предполагается, что кольца планет-гигантов образуются из мелких спутников, разрушенных приливными силами или представляющих собой остатки вещества, из которого в далеком прошлом сформировались планеты и их спутники. Радиус внешнего кольца Сатурна превышает 900000 км при толщине 4 км.

Уран и Нептун значительно меньше Юпитера и Сатурна по массе и размерам, но плотнее их, в химическом составе Урана и Нептуна возрастает доля гелия, метана, аммиака в атмосферах, воды и тяжелых химических элементов в глубоких слоях планет. Давление и температура на дне их атмосфер недостаточны для перехода водорода в жидкое молекулярное состояние.

Уран вращается вокруг Солнца «лежа на боку» ($e = 97^{\circ}55'$) в обратном, как Венера, направлении. На полюсах планеты полярный день и ночь длятся по 42 года. Тепловой поток из недр незначительно превышает энергию, получаемую планетой от Солнца.

Температура атмосферы $T = 64$ К почти одинакова на уровне всей «видимой поверхности», представляющей собой оптически непрозрачную дымку из капель или кристаллов углеводородов в атмосфере, самой спокойной среди планет-гигантов. В атмосфере наблюдаются слабые вихри, струйные течения, пятна и метановые облака.

Магнитное поле Урана имеет очень сложную структуру, обусловленную особенностями его вращения. У Урана 21 спутник. Многочисленные кратеры обнаружены на Обероне, Титании,

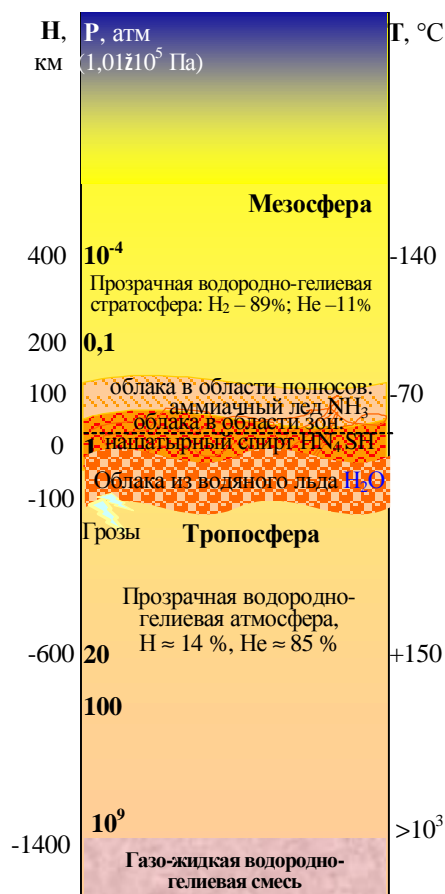


Рис. 74. Строение и основные характеристики атмосферы Юпитера

Приливные силы значительно уменьшили период вращения спутников вокруг оси, уравнивая его с периодом вращения вокруг планеты.

Приливные силы значительно разогрели недра планетоидов на ранних стадиях их образования, способствовали возникновению у них дифференцированного внутреннего строения и запасов внутреннего тепла. В недрах самых близких к планетам спутников-планетоидов приливные силы до сих пор генерируют мощный тепловой поток, усиливают тектоническую и вулканическую активность, повышают температуру поверхности и коры планетоидов, способствуют существованию у них гидросфер и атмосфер.

Луна – силикатный планетоид, спутник планеты Земля. Масса Луны $7,348 \cdot 10^{22}$ кг, в 81,3 раза меньше массы Земли; радиус 1737,4 км; средняя плотность $3,34 \text{ г/см}^3$, в 1,5 раза меньше земной; возраст $4,51 \pm 0,02$ млрд. лет. Среднее расстояние от Луны до Земли 384000 км (от 356400 км до 406740 км). Сидерический период обращения Луны $27^d 07^h 43^m$ вокруг Земли совпадает с периодом вращения Луны вокруг своей оси. Мы видим всегда только одно полушарие Луны, 59 % лунной поверхности. Температура на лунном экваторе колеблется от $+130^\circ\text{C}$ в полдень до -170°C ночью.

Внутреннее строение Луны: кора толщиной 60 км на видимой и 100 км на обратной стороне Луны; верхняя мантия толщиной до 250 км; средняя мантия на глубинах 300-800 км; нижняя мантия толщиной от 200 до 500 км, и металлическое (Fe, Fe-FeS) ядро диаметром до 320-420 километров. Астеносфера (внутренняя мантия и ядро Луны) находится в частично расплавленном состоянии при температуре до 1800 К. Сейсмическая активность Луны невелика и связана с подвижками лунной коры и, реже, с процессами на глубинах 600-800 км.

Крайне разреженная – в 10^{13} раз по сравнению с земной – газовая оболочка Луны состоит из атомов и ионов водорода, гелия, неона, аргона, натрия, калия и кислорода.

Светлые области лунных «материков» занимают 60 % поверхности лунного диска. Древние материковые районы Луны сложены преимущественно светлыми горными породами – анортозитами, почти целиком состоящими из плагиоклазов с примесью пироксена, оливина, магнетита, титаномагнетита. Возраст лунных пород 3,13–4,4 млрд. лет. Лунные горные хребты, названные по аналогии с земными Кавказом, Альпами, Карпатами и т. д. имеют средние высоты 6–7 км.

Темные «моря» занимают 40 % поверхности Луны и представляют собой равнинные области, наполненные темным веществом – базальтами, сложенными в основном минералами плагиоклазами и моноклинными пироксенами (авгитами). Древнейший и крупнейший Океан Бурь образовался около 4,5 млрд. лет назад в результате столкновения пра-Луны с крупной планетезималью. Свыше 20 других лунных морей возникли по тем же причинам 4,5-4 млрд. лет назад. Заполнявшие чаши лунных морей массовые излияния базальтовых лав продолжались до 3,5-3 млрд. лет назад. Лунные базальты менее окислены, но более богаты тяжелыми элементами по сравнению с земными. Темными районы морей выглядят из-за примесей оливина и ильменита (TiO). Не залитые лавой низменности называются бассейнами; крупнейший из них – «Южный полюс-Эйткен» – имеет диаметр 2500 км и глубину 12 км. Близ лунных полюсов на глубине 0,4 – 2,0 м на площади до 2000 км^2 обнаружены залежи реликтового льда (около 6 млрд. тонн) в виде вечной мерзлоты.

Основной формой лунного рельефа являются кратеры. Только на видимом полушарии Луны насчитывается свыше 300000 кратеров диаметром свыше 1 км. Их кольцевые валы высотой до несколько километров окружают большие круглые впадины диаметром до 200 км. Всем крупным кратерам даны названия в честь ученых и выдающихся деятелей. Большая часть кратеров имеет ударное (метеоритное) происхождение и образовалась свыше 3,5-3,2 млрд. лет назад; последний максимум бомбардировки Луны метеорными телами произошел около 0,5 млрд. лет назад. Позднейшие кратеры образовались на валу и внутри более древних. В центре многих кратеров возвышаются горки. Часть кратеров имеет вулканическое происхождение. Тектоническая активность наблюдается в районе кратеров Аристарх, Геродот, Альфонс и в других местах. Известны цепочки кратеров, тянущиеся на тысячи километров. Характерны протяженные системы лучей – выбросы лунных пород при падении на Луну комет и астероидов, гигантские борозды и трещины тектонического происхождения.

Поверхность Луны (и других безатмосферных планетных тел) покрыта тонким (10^{-2} – 10 м) рыхлым слоем реголита – верхним слоем лунной коры, измельченным до пылевидного состояния микрометеоритной бомбардировкой, воздействием космических лучей и большими суточными перепадами температур. По физико-химическим свойствам серый лунный реголит напоминает мелкий влажный песок.

Ио – ближайший спутник Юпитера, силикатный планетоид диаметром 3636 км, массой $8,93 \cdot 10^{22}$ кг и средней плотностью $3,518$ – $3,549$ г/см³. В приливных возмущениях рассеивается мощная, в 25–45 раз выше значения теплового потока из недр Земли.

Приливные силы и электрический ток, возникающий при взаимодействии Ио с магнитосферой Юпитера, очень сильно разогревают недра спутника. Ио наполовину состоит из раскаленного жидкого металлического (Fe, Fe-FeS) ядра диаметром, по разным оценкам, от 880–1440 км до 1660–1780 км. Трехслойная мантия состоит из обогащенных железом силикатных пород; ее раскаленный свыше 1500 К верхний жидкий слой имеет толщину до 300 км. Тонкая 60-километровая кора Ио пульсирует вместе с приливами и отливами. Литосфера состоит из силикатов (базальтов), серы и ее соединений (SO₂, H₂S, S₂ и т.д.); под поверхностью Ио скрываются настоящие серные моря с температурой свыше 110°C, а на поверхности температура ниже и не превышает -150°C. Высота гор Ио достигает 16 км. Обнаружено свыше 100 вулканических кальдер поперечником до 200 км; общее число вулканов достигает 300. Температура насыщенной железом и магнием лавы достигает 1500 К. Ученые предполагают, что Ио переживает период высокотемпературного «силикатного» вулканизма, завершившийся на Земле 2 млрд. лет назад. Вулканизм Ио породил разреженную сернистую атмосферу, в которой наблюдаются вызванные ионизацией красные, синие, зеленые сияния и свечения. Обнаружено слабое магнитное поле.

Европа – силикатно-ледяной планетоид массой $4,8 \cdot 10^{22}$ кг, радиусом 1561 км и средней плотностью $3,014$ г/см³ – второй после Марса кандидат на обнаружение живых организмов. Крупное железное ядро Европы окружает силикатная мантия ($\rho \sim 3,0$ – $3,5$ г/см³). Близость к Юпитеру, мощное действие приливных сил делает возможным существование гидросферы – глобального океана глубиной до 50 км. Поверхность Европы имеет возраст от 2 до 50 миллионов лет и покрыта панцирем из водяного льда с примесью SO₂, CO₂, H₂O₂, карбонатов, сульфатов натрия и магния, толщиной от 2–3 км до 80–200 км, в трещинах, дугах и волнистых линиях, возникающих во время приливов и отливов. Отмечены следы движения крупных блоков льда, аналогичных тектонике плит литосферы Земли. Европа обладает крайне разреженной кислородной атмосферой и слабым магнитным полем.

Ганимед – спутник Юпитера, крупнейший силикатно-ледяной планетоид Солнечной системы массой $1,482 \cdot 10^{23}$ кг, радиусом 2634 км и средней плотностью $1,94$ г/см³, на 500 км превышает размерами Меркурий. Поверхность спутника – ледяные горы, ледяные поля и гладкие широкие бассейны, порожденные тектоническими процессами. Равнины перекрыты слоем грязе-ледяной лавы, припорошены обломками силикатных пород и пылью, на них выделяется множество структур ударного (кратеры и борозды) и вулканического происхождения. Внутреннее строение: сульфидно-железное ядро Ганимеда ($\rho \sim 5$ – 6 г/см³) окружает силикатно-ледяная мантия, возможно с тонкой прослойкой глобальной гидросферы, поверх которой лежит ледяная кора толщиной до 800 километров. Ганимед обладает слабым магнитным полем и крайне разреженной атмосферой (O₂ и др.).

Каллисто (масса $1,07 \cdot 10^{23}$ кг, радиус 2408 км, средняя плотность $1,84$ г/м³) состоит на 60 % из силикатных пород и на 40 % из льда. Молодой рельеф четвертого крупного спутника Юпитера сформировался всего лишь сотни миллионов лет назад. Силикатное ядро Каллисто окружено слоем смеси камней и льда ($\rho \sim 1,7$ – $2,4$ г/см³) и толстой водно-ледяной мантией. Под ледяной корой толщиной от 200 до 500 км, возможно, скрыта 10-километровая глобальная водяная оболочка. Каллисто обладает очень слабым магнитным полем и крайне разреженной атмосферой (CO₂ и др.), в которой наблюдаются довольно яркие полярные сияния.

Титан – спутник Сатурна, один из самых крупных силикатно-ледяных планетоидов диаметром 5150 км, массой $1,35 \cdot 10^{23}$ кг и средней плотностью $1,88$ г/см³.

Поверхность Титана почти неразличима сквозь его плотную оранжевую атмосферу, со-

стоящую из азота (90 %), аргона и метана (> 1 %), с давлением у поверхности 1,5 атм. Парниковый эффект увеличивает температуру лишь на 3–5 К, поэтому на Титане довольно холодно – около -179 °С. Облака атмосферы на 15-километровой высоте почти целиком состоят из капелек метана: возможно, на Титане идут метановые дожди. Титан обладает своеобразной гидросферой. На поверхности планетоида существуют открытые этано-метановые бассейны – озера, моря и океан, занимающий целое полушарие; на их дне накапливаются тяжелые органические соединения. Крупнейший из материков сравним по размерам с Австралией. Вершины ярко-белых (возможно, водно-ледяных) горных массивов покрыты метановым снегом.

Внутреннее строение Титана: тяжелое силикатное ядро окружено мантией из водяного и аммиачного льда и аммонийных гидросульфатов. Кора состоит из аммиачного льда. Азотная атмосфера образовалась при дегазации недр планетоида.

Тритон – силикатно-ледяной спутник Нептуна массой $2,14 \cdot 10^{22}$ кг, диаметром 2700 км и сравнительно высокой средней плотностью $2,07$ г/см³. Тритон имеет очень большое (1000 км) силикатное ядро, окруженное тоненькой (25–30 км) ледяной мантией, над которой простирается глобальный водяной океан глубиной 150 км, прикрытый толстой ледяной корой (180 км). На поверхности Тритона обнаружены кратеры, горы, каньоны и вулканы.

Температура поверхности планетоида всего 38 К, равнины Тритона покрывает 6-метровый слой снега из замерзшего азота, этана и этилена. В сильно разреженной (в 67000 раз разреженнее земной) атмосфере, состоящей из азота и метана, наблюдается дымка и легкие облака. У полюсов в небо бьют 8-километровые гейзеры.

Торможение приливным трением ведет к медленному сближению с Нептуном. Через 3,6 млрд. лет (по другим данным – позже) Тритон войдет в пределы зоны Роша и будет разрушен (упадет на Нептун).

Транснептуновые объекты. В 1977 г. был открыт Хирон размерами около 200 км, двигавшийся на расстоянии 16,7 а.е. от Солнца – первый представитель группы «кентавров» (в настоящее время известно свыше 10 подобных планетных тел). К началу XXI в. было открыто свыше 300 силикатно-ледяных и ледяных планетоидов размерами от 150 до 800 км. Крупнейшие объекты пояса Койпера (при альбедо 4 %) имеют размеры: 2000 WR₁₀₆ Варуна – до 1100 км, 2001 KX₇₆ около 960-1270 км, 2002 LM₆₀ Квавар – 1300 км. Вблизи перигелия они могут обладать разреженной атмосферой. Все они движутся за пределами орбиты Нептуна, на расстоянии свыше 6,5 млрд. км (43 а.е.) от Земли и входят в состав пояса Койпера, существование которого было предположено в 1949 г. К. Эджвортом и в 1951 г. Дж. Койпером. По предварительным оценкам пояс Койпера состоит из 100 000 ярко-красных реликтовых планетезималей и объектов, большая часть которых по своему химическому составу представляют собой нечто среднее между кометами и силикатными астероидами и состоят в основном из льда и замерзших газов CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂ и других сложных углеводородов и органических соединений, насыщенных углеродом и азотом. Общая масса объектов пояса Койпера около 10^{26} кг ($100 M_{\oplus}$). Объекты пояса Койпера подразделяются сейчас на два семейства: «классические объекты» (60 %) и «Плутино» (40 %), имеющих орбиты в резонансе 3/2 с орбитой Нептуна, с большой полуосью около 39 а.е. и периодом обращения около 240 лет. Так, объект 2000 WR106 обладает следующими орбитальными характеристиками: большая полуось орбиты $a = 43,27$ а.е., эксцентриситет $e = 0,055$, период обращения вокруг Солнца 285 лет. Не исключено существование нескольких слоев – колец, разделенных промежутками, в которых движутся особо массивные планетоиды. Возможно, крупнейшими объектами пояса Койпера являются Плутон, Харон, а также Тритон и некоторые другие спутники планет-гигантов, захваченные ими в давние времена. Значительная часть транснептуновых объектов имеет спутники или является двойными (бинарными) и даже кратными системами (1998 WW31 и др.), компоненты которых сравнимы по массе и размерам. Пояс Койпера является источником большинства короткопериодических комет.

• **Метеороиды: астероиды, кометы, кентавры. Метеоры, болиды, метеориты. Проблемы метеороидной бомбардировки Земли**

В настоящее время известно более 130 000 астероидов, в том числе около 20 000 крупных, размерами свыше 1 км. Ежегодно открывается десятки новых «малых планет». Первая сотня астероидов была названа именами древнеримских и древнегреческих богинь, затем астрономы обратились к именам богов из мифов других народов, когда же их запасы иссякли, ученые стали давать астероидам имена героев эпоса. В наши дни астероиды именуется в честь великих людей, выдающихся ученых, философов, национальных героев. Астероид № 852 назван Владлена в честь В. И. Ленина, № 1000 – Пиация, № 1001 – Гауссия, № 1772 – Гагарин, № 1709 – Руднева и т. д. Право дать название астероиду принадлежит его первооткрывателю и утверждается затем решением международной комиссии ученых. К началу XXI в. пронумеровано свыше 56 000 астероидов, 9000 из них даны имена.

Группы астероидов, движущиеся по сходным орбитам и, вероятно, связанные общностью происхождения (для некоторых из них ученые реконструировали родительские тела), называются семействами астероидов. Так, семейство Эос насчитывает 477 астероидов, семейство Фемиды – 550 и т.д.

Орбиты 98 % астероидов лежат между орбитами Марса и Юпитера, на расстоянии от 2,2 а.е. до 3,2 а. е. от Солнца и представляют собой незамкнутые эллиптически подобные витки с небольшими периодическими колебаниями основных характеристик (большой полуоси, эксцентриситета, наклона к плоскости эклиптики и т.д.), аналогичными прецессии земной оси. Линейная скорость движения астероидов около 20 км/с, период обращения вокруг Солнца от 3 до 9 лет, эксцентриситет орбит $0 < e < 0,2$; наклон орбит к плоскости эклиптики $5^\circ - 10^\circ$. Приливное воздействие Юпитера и Марса разделило пояс астероидов на несколько колец «люками Кирквуда» – областями, в которых малые планеты почти не встречаются.

Известно свыше 100 из предположительно 200000 астероидов, периодически сближающихся с орбитой Земли, из них свыше 500 имеют размеры более 1 км (16 % из них – двойные). Большая часть их принадлежит к семейству Амура, Аполлона и Атона, проникающих внутрь земной орбиты. Некоторые могут сближаться с Землей до опасного расстояния менее 1 миллиона километров; в том числе 40 километровый Ганимед и 20-километровый Эрос. Некоторые астероиды имеют орбиты, сближающиеся в перигелии с Венерой или даже Меркурием. Астероид Икар проходит перигелий в 28 миллионах км от Солнца. Теоретически возможно существование астероидов-«вулканоидов», вращающихся вокруг Солнца внутри орбиты Меркурия. Известны астероиды (названные в честь героев Троянской войны), орбиты которых лежат в точках Лагранжа на орбите Юпитера. Есть астероиды, вращающиеся между Юпитером и Сатурном.

Размеры и масса самых крупных астероидов: Церера – 1020×940 км; Паллада – 600 км, $2,2 \cdot 10^{20}$ кг; Юнона – 525 км. Веста имеет поперечник 530 км, массу $2,8 \cdot 10^{20}$ кг, на его поверхности обнаружен кратер диаметром 460 км и глубиной 13 км – результат столкновения с другим гигантским астероидом. Они имеют почти сферическую форму и по своим физическим характеристикам являются силикатными планетоидами. Большая часть известных астероидов имеет размеры в несколько десятков километров и бесформенную структуру, поверхность их изрыта кратерами ударного происхождения. По расчетам ученых в поясе астероидов между Марсом и Юпитером должно быть до 10^6 тел размерами свыше 1 км и миллиарды мелких каменных глыб. Средняя плотность вещества большинства астероидов 3-3,5 г/см³. Общая масса астероидного вещества до $4,2 \cdot 10^{21}$ кг (до 1/1000 M_\oplus).

Химический состав астероидов весьма разнообразен. В зависимости от него астероиды делятся на группы P, D, C, B, F, G, T, S, M, Q, A, V, R, E. Наиболее многочисленны каменные, силикатные S-астероиды с альбедо $0,08 < d < 0,4$; базальтовые или углистые, почти черные C-астероиды ($0,03 < d < 0,6$), и металлические, почти целиком состоящие из никелистого железа M-астероиды ($0,07 < d < 0,23$). Ряд малых планет «выпадает» из общей классификации и объединяется в особую U-группу: такова Церера, поверхность которой сложена своеобразными минералами, напоминающими земные глины и содержащими до 10 % воды; Церера обладает весьма разрежен-

ной атмосферой, газы которой непрерывно выделяются из недр планетоида. Некоторые астероиды обладают пористым строением – так, 52-километровая Матильда имеет плотность около $1,3 \text{ г/см}^3$.

Некоторые астероиды имеют в качестве спутников астероиды меньшей массы: у 56-километровой Иды обнаружен 1,5-км спутник Дактиль; вокруг Евгении (214 км) вращается Маленький Принц (13 км) и т. д. Астероид Антиопа – двойной, состоящий из обращающихся вокруг общего центра тяжести 170-км объектов.

По опровергнутой гипотезе Г. Ольберса астероиды являются осколками разрушенной планеты (в результате приливного действия Юпитера или, по С.К. Всехсвятскому, вулканических процессов). С точки зрения современных ученых, астероиды являются обломками планетезималей, сформировавшихся на границе горячей и холодной зон протопланетного облака.

Кометы значительно отличаются от других планетных тел Солнечной системы характеристиками своего движения (элементами орбит). Наряду с кометами, вращающимися вокруг Солнца по эллиптическим орбитам с различным эксцентриситетом – от $e \approx 0,1$ (кометы Швассмана-Вахмана-1, Отерма и др.) до $e \approx 0,95$ (кометы Галлея, Ольберса и т. д.), существуют кометы, движущиеся по параболическим ($e = 1$) и даже гиперболическим орбитам ($e > 1$), проникающие внутрь Солнечной системы единственный раз за всю историю своего существования. Столь же разнообразны углы наклона кометных орбит к плоскости эклиптики – от $i \approx 1^\circ$ (комета Кодзимы и др.) до $i \leq 180^\circ$ (кометы Хейла-Боппа, Галлея и т. д.). Известно свыше 150 комет, «царапающих Солнце», которые в перигелии проникают внутрь орбиты Меркурия (комета Икейя-Секи, комета 1882 г. и др.). Многие кометы сближаются с Солнцем на расстояние свыше 2–3 а. е. (кометы Вольфа, Нейумина и т. д.).

В настоящее время известно свыше 2000 комет, у половины которых вычислены характеристики орбит. Кометный каталог Б. Марседена содержит сведения о 947 комете, наблюдавшихся до 1997 г. Из них около 25% (свыше 200 известных) комет являются **короткопериодическими**, с периодом обращения до 200 лет. Все короткопериодические кометы можно разделить на **семейства комет** по близости афелия кометной орбиты к орбитам планет. Большая часть «царапающих Солнце» комет объединяется в семейство Крейца (по фамилии ученого, указавшего на их сходство в конце XIX в.). Семейство Юпитера насчитывает свыше 120 комет ($1,4 \leq a \leq 8,5$ а.е.; $T \approx 3,3\text{--}15$ лет); семейство Сатурна свыше 15 комет (период обращения $T \approx 10,99\text{--}17,93$ лет); семейство Урана свыше 5 комет; семейство Нептуна – более 10 комет (в том числе комету Галлея). Кометы с периодом обращения свыше 200 лет называют **долгопериодическими** (более 230 комет). К концу XX в. ученым стало известно свыше 380 комет с параболическими орбитами и более 150 комет с гиперболическими орбитами. Предполагается существование «кометных колец» Казимирчак-Полонской, подобных кольцу астероидов, между орбитами планет-гигантов. Элементы орбит комет при сближении с планетами-гигантами сильно изменяются под действием возмущений со стороны планет.

Источником подавляющего числа короткопериодических комет являются «кометные пояса» и пояс Койпера, расположенный на расстоянии 35-50 а.е. от Солнца и содержащий до 200 миллионов кометных ядер. Орбиты кометных ядер в облаке Хиллса относительно устойчивы.

Гипотеза Лагранжа-Всехсвятского предлагает в качестве источника хотя бы части короткопериодических комет вулканические извержения на поверхности силикатно-ледяных спутников планет-гигантов: согласно этим предположениям, «родительским телом» кометы Галлея может быть спутник Нептуна Тритон; кометы Хейла-Боппа – спутники Урана Миранда или Ариэль и т.д.

Источником параболических и гиперболических комет является облако Оорта. Гравитационные поля звезд, перемещающихся вблизи Солнечной системы, изменяют почти круговые орбиты кометных ядер облака Оорта и некоторые из них влетают вглубь Солнечной системы, попадая под возмущающее действие планет-гигантов, другие покидают Солнечную систему навсегда. Ежегодный приток комет внутрь Солнечной системы составляет от 5 до 10 в год. По расчетам некоторых ученых за время существования Солнечной системы облако Оорта вдвое поредело.

Существует гипотеза о межзвездном происхождении части комет, ядра которых конденсируются в плотных газопылевых туманностях ГМО. При прохождении Солнечной сис-

темы сквозь спиральные рукава Галактики некоторое количество кометных ядер захватывается из межзвездного пространства гравитационными полями Солнца и планет.

Хотя известны десятки комет, сделавших свыше 10 оборотов вокруг Солнца, гибель периодической кометы в результате полного испарения и разрушения ядра всего лишь вопрос времени: согласно расчетам, при прохождении перигелия они теряют 0,1-0,5 % массы, при этом их блеск уменьшается на $0,04^m - 0,01^m$ за один оборот. Короткопериодические кометы «живут» 300-600 лет, долгопериодические – до 1 миллиона лет. Полное испарение летучих компонентов или образование тонкой тугоплавкой коры на поверхности ядра может оттянуть ее смерть, уподобить короткопериодическую комету астероиду с эксцентричной орбитой.

В последние годы открыты десятки «промежуточных» объектов, сочетающих свойства астероидов и комет: движущихся по типично «кометным» орбитам, но лишенных кому и хвоста; или кометообразных, но вращающихся вокруг Солнца по орбитам с малым эксцентриситетом. Вероятно, они представляют собой «угасшие» кометы, ядро которых покрыто спекшимся тугоплавким слоем пыли и минеральных пород. В их число входят периодически сближающиеся с Землей Ра-Шалом ($D \approx 3,4$ км), Адонис и Фаэтон ($D \approx 6,9$ км) – прародитель метеорного потока Геминид.

Ежегодно открывается десятки новых комет, причем 90 % из них – любителями астрономии. Дж. Бредфилд (Австралия) открыл к 1988 г. 13 комет, К. Икейя (Япония) – 11 комет, К.И. Чурюмов (СССР) – 2 кометы и т.д. Каролина Шумейкер открыла к концу 2000 г. 30 комет. Комете присваивается имя ее первооткрывателя: комета Бредфилда, комета Икейя-Секи, комета Чурюмова-Герасименко (до 3 имен первооткрывателей). В последние годы большое число комет было открыто в окосолнечной области с помощью космических обсерваторий SOHO (100 комет к концу 2000 г.) и LINEAR (50 комет).

С давних времен появление кометы на небе вызывало среди людей ужас и панику (кроме Древнего Китая, где кометы рассматривались как чрезвычайные послы Неба к его Сыну-императору). В Европе считали, что кометы предвещают смерть монархов и других правителей, а также всевозможные стихийные бедствия и войны. Суеверия дожили до конца XX в.

В 1986 г. советские АМС «Вега» прошли на расстоянии 8500 км от ядра кометы Галлея, проведя исследования ядра и атмосферы кометы совместно с АМС «Сакигаке» (Япония) и «Джотто» (ЕЭС). В 2001 г. были проведены исследования ядра кометы Борелли (АМС «Дип Спейс-1», США).

По современным данным на больших расстояниях от Солнца кометы представляют собой глыбы твердого вещества: смеси водяного и метанового льда, замерзших газов (CO_2 , CO , C_2H_4 , CN , CS , HCN , C_2H_6 , CH_3CN и др.) с вмороженными в нее обломками горных пород и мелкой пылью. Плотность кометного ядра около $1,0 \text{ г/см}^3$. Размеры кометных ядер от 50 м до 50 км. Родительское тело семейства Крейца, вероятно, имело размеры около 120 км. Ядро «суперкометы» 2000 CR₁₀₅ может достигать в размерах 400 км.

С приближением к Солнцу на расстояние менее 11 а.е. вещество кометного ядра начинает нагреваться и сублимироваться, образуя газопылевую атмосферу кометного ядра – кому или оболочку кометы размерами $10^4 - 10^6$ м. Дополнительными источниками энергии вещества кометных ядер могут быть химические реакции, в том числе взрывного характера. Взаимодействие солнечного ветра и давление солнечного света на разряженное вещество – ионизированный газ и пыль оболочки – на расстоянии 3 – 4 а.е. от Солнца порождает кометные хвосты протяженностью до 500000000 км, плотностью 10^{-18} атм (1 частица/100 м³) и называемых потому «видимым ничто».

Согласно классификации Ф. А. Бредихина, хвосты комет разделяются на 3 типа:

Хвосты I типа образованы ионизированными атомами и молекулами газа, которые со скоростью $10 - 10^2$ км/с уносятся от ядра потоками солнечно-

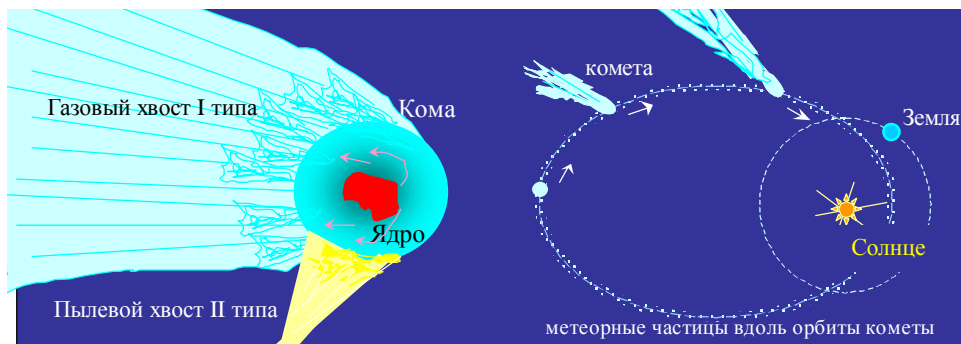


Рис. 76. Кометы

го ветра и давлением солнечных лучей.

Хвосты I типа имеют цилиндрическую форму, поперечник $2\text{-}3\cdot 10^4$ км и голубоватый цвет.

Хвосты II типа – пылевые, желтые, изогнутые, отклоняющиеся назад по отношению к орбитальному движению.

Хвосты III типа образуются в результате мощного выброса пылевых частиц из ядра.

При различных взаимных положениях Солнца, Земли и кометы основные, газовые хвосты I типа всегда направлены в противоположном от Солнца направлении; хвосты II типа и III типа могут по-разному проецироваться на небо, иногда даже в направлении Солнца (такой аномальный хвост наблюдался у кометы Аренда-Ролана).

Пространство Солнечной системы заполняет **межпланетная среда**: разреженная материя, концентрирующаяся в плоскости эклиптики и составляющая до 0,000000000001 % массы нашей планетной системы; основными ее компонентами являются: 1) **солнечный ветер**: потоки заряженных частиц (e, p) со скоростью $10^2 - 10^4$ м/с и плотностью до 10^3 частиц/см³, «выдувающие» частицы космического газа за пределы Солнечной системы; 2) галактические космические лучи с энергией $10^6 - 10^9$ эВ; 3) **межпланетное магнитное поле** – уносимое солнечным ветром магнитное поле Солнца, его напряженность вблизи Земли составляет от $2\cdot 10^{-5}$ Э до $8\cdot 10^{-4}$ Э и зависит от уровня солнечной активности; 4) **межпланетная пыль** – метеорные частицы массой $10^{-17} - 10^{-14}$ кг, размерами $10^{-9} - 10^{-4}$ м и концентрацией от 10^{-25} до 10^{-19} кг/м³ (1 частица на 1-50 км³).

Общая масса космической пыли в Солнечной системе $10^{16} - 10^{17}$ кг; 2/3 пылинок имеют массы 0,00001–0,001 г, округлую форму и силикатный или органический состав. Межпланетная пыль образует облако в форме эллипса с соотношением осей 1:7 с максимальной концентрацией частиц в плоскости эклиптики по направлению к Солнцу; на расстоянии свыше 5 а.е. космическая пыль почти отсутствует. Частицы движутся по спиральным траекториям, сталкиваясь с планетными телами, падают на Солнце (время жизни отдельных частиц составляет $10^4 - 10^5$ лет).

Отраженный и рассеянный пылью солнечный свет создает очень слабое свечение, наблюдаемое на земном небе после захода Солнца в виде светового конуса вдоль эклиптики и называется **зодиакальным светом**. Рассеяние солнечного света более далекими от Солнца пылинками порождает еще более слабое пятно света – **противосияние** в противоположной от Солнца точке неба.

Часть межпланетных пылинок генерируется системой Юпитера; обнаружен поток межзвездных пылинок, пересекающих Солнечную систему со скоростью свыше 42 км/с. Основным поставщиком космической пыли в Солнечной системе являются кометы. При прохождении вблизи Солнца комета теряет часть своего вещества: мелкие силикатные обломки, пыль и газ растягиваются вдоль всей орбиты кометы и постепенно под действием возмущений рассеиваются в межпланетном пространстве. Скорость движения этих метеорных тел (пылинок и камешков) по отношению к Земле составляет от 11,2 до 76 км/с в зависимости от того, догоняют ли они Землю или летят ей навстречу.

При вторжении метеорного тела в атмосферу Земли наблюдается световое явление – **метеор**. При торможении метеорного тела в атмосфере на высоте от 120 до 80 км над землей оно нагревается, плавится, дробится на мелкие части, распыляется и испаряется. При столкновениях испарившихся молекул с молекулами и атомами воздуха происходит их распад на атомы, возбуждение и ионизация. Наблюдатель видит свечение раскаленных паров метеорного тела и газов атмосферы вокруг него.

Ежесуточно во всем небе Земли наблюдается до 10^6 метеоров.

Яркость метеора зависит от его массы и скорости. Видимые невооруженным глазом метеоры порождаются частицами массой от 0,5 г до 0,1 кг. Более массивные и крупные порождают особо яркие метеоры ($V \geq -3^m$), называемые **болидами**. Блеск болидов доходит до -19^m .

98 % метеоров порождаются частицами кометного вещества, 1-2 % обломками астероидов, менее 0,001 % метеоров могут быть пылинками галактического происхождения. Полный суточный приток метеороидного вещества в интервале масс $10^{-15} - 1$ кг составляет от $3\cdot 10^4$ до 10^5 кг. За год в атмосфере и на поверхности Земли осаждается $3 - 6\cdot 10^7$ кг метеорного вещества. За счет этого притока за последние 4 миллиарда лет масса земной коры увеличилась на 5 %.

Ежегодно в определенные даты при пересечении Землей орбиты какой-либо кометы, вдоль которой растянулось облако метеорных частиц, в атмосфере Земли наблюдаются потоки метеоров, порождаемые большим количеством частиц со сходными физико-химическими характеристиками (состав, скорость и др.), движущимися по почти параллельным траекториям. Вследствие явления перспективы земному наблюдателю кажется, что все эти метеоры вылетают из одной точки (чаще – небольшого участка) небесной сферы – **радианта (площади радиации)** метеорного потока. Известно около 1000 метеорных потоков. Так, комета Галлея порождает 2 ежегодно наблюдаемых метеорных потока – Ориониды (с 15 по 25 октября) и Майские Аквариды (с 28 апреля по 9 мая) с часовым числом n до 35 метеоров в час. Названия метеорным потокам даются по созвездиям, в которых находится их радиант, иногда с указанием ближайшей к нему звезды созвездия.

В **звездный дождь** наблюдается до 10000 метеоров в час. В дождь Леонид 16 – 17 ноября 1966 г. ежечасно наблюдалось от 60 000 до 140 000 метеоров!

Мельчайшие, не испарившиеся до конца, пылинки плавают в верхних слоях атмосферы и служат центрами конденсации водяных паров. Так из крохотных льдинок на высоте до 80 км образуются **серебристые и жемчужные облака**.

В отдельных случаях крупные метеорные тела не успевают полностью разрушиться и испариться при своем движении в атмосфере и после полного торможения выпадает на поверхность Земли **метеоритами** (до 2000 в год). В настоящее время в различных районах Земли найдено свыше 20 000 метеоритов. Почти все они являются мелкими обломками астероидов. Известны метеориты – осколки ядер комет, десятки метеоритов являются обломками лунных пород, выброшенных в космос взрывами на поверхности Луны, найдено 14 метеоритов марсианского происхождения. Вплоть до настоящего времени метеориты являются едва ли не единственными образцами вещества внеземного происхождения, которые ученые могут подробно изучать в земных лабораториях. Масса обнаруженных метеоритов от долей грамма до десятков и сотен тонн.

В зависимости от химического состава метеориты делятся на 3 группы:

1. **Каменные** метеориты (92 % от общего числа). Подразделяются на: хондриты (85,7%), состоящие из железомagneзиальных силикатов (оливина $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{SiO}_4$ – 25–60 %, гипперстена и бронзита $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ (20–35 %), никелистого железа (8–21 %) и сульфата железа FeS (5 %). Углистые хондриты содержат от 2 до 8 % углистого вещества, 20 % воды и, предположительно, наиболее близки по составу к веществу протопланетной туманности. Некоторые ученые считают эти редкие метеориты обломками кометных ядер. Ахондриты (7,2 %) отличаются малым содержанием железа, никеля, кобальта, хрома и, предположительно, образуются при переплавке хондритового вещества в недрах массивных родительских тел. Родительским телом базальтовых ахондритов (6 % метеоритов) является астероид Веста.

2. **Железокаменные** метеориты (2 % от общего числа) состоят наполовину из металла, наполовину из силикатов и представляют собой металлическую (оливиновую) губку, в порах которой расположены силикаты или, наоборот, силикатную губку с включениями никелистого железа.

3. **Железные** метеориты (6 %) на 98 % состоят из никелистого железа. Крупнейшим из найденных метеоритов является Гоба размерами 2,95×2,84 м, массой 60 тонн (ЮАР).

Предполагается, что вещество железокаменных и железных метеоритов сформировалось соответственно в мантии (на границе мантии и ядра) и в ядре планетных тел с дифференцированным внутренним строением, разрушенных около 4,3 млрд. лет назад в результате катастрофического столкновения со сравнимым по массе объектом или приливного действия планеты-гиганта.

Повышенное по сравнению с земными породами содержание никеля (от 3 до 21 %) является одним из главных отличительных признаков метеорита. Другими являются наличие коры плавления, вмятины (регмаглипты), образовавшиеся при полете в атмосфере и т.д.

Метеорные тела массой в сотни и тысячи тонн, астероиды и кометные ядра пробивают атмосферу Земли и сталкиваются с ее поверхностью со скоростью от 1 до 75 км/с. Происходит мощный взрыв с образованием воронки – кратера ударного происхождения.

В настоящее время известно около 200 астероидов, периодически сближающихся с Землей на расстояние менее 1 млн. км; общее число таких астероидов ученые оценивают в 20-30 тысяч. 9 декабря 1994 г. астероид 1994XM¹ был обнаружен за 9 часов до максимального сближения – 100 000 км от Земли.

Вероятность столкновения Земли с астероидом оценивается по формуле:

$N(D) = 2 \cdot D^{1,58}$, где $N(D)$ – период времени (лет), D – размеры астероида (м).

Объекты размерами до 50 м сталкиваются с Землей в среднем раз в 600 лет (масса Сихоте-Алиньского метеорита, упавшего в 1947 г. на Дальнем Востоке, составляла 100 тонн) и способны произвести разрушения на площади до 100 км². Астероиды размерами до 500 м падают на Землю раз в 60000 лет и вызывают локальные повреждения ее поверхности взрывом мощностью до 10 Мт (Аризонский метеорит, кратер имеет диаметр 200 м и возраст 5000 лет). Падение астероида от 0,5 до 2 км ведет к взрыву мощностью до 10⁶ Мт тротилового эквивалента и катастрофе регионального характера: разрушения и пожары охватывают площадь до 10⁷ км². Столкновение Земли с астероидом размерами более 2 км происходит реже, чем раз в 1 миллион лет, однако взрыв мощностью свыше 2·10⁴ Мт ведет к катастрофам глобального масштаба. Помимо разрушений, вызванных ударной волной, пожарами и цунами, опустошающими континенты на сотни километров от берега, в атмосфере значительно возрастает концентрация окислов азота, взрыв выбрасывает в стратосферу миллионы тонн мельчайшей пыли, порождающих эффект «ядерной зимы» или, наоборот, разогревающих атмосферу. Столкновение Земли с объектами размерами свыше 10 км происходит в среднем каждые 63 миллиона лет.

При столкновении Земли с 10-километровым астероидом, движущимся со скоростью 16–17 км/с, мощность взрыва составляет десятки тысяч мегатонн тротилового эквивалента. Образуется кратер диаметром до 100 км, глубиной 1–2 км. Миллиарды тонн пыли, выброшенной взрывом в верхние слои атмосферы Земли, преграждают путь солнечным лучам и вызывают эффект «ядерной зимы» с глобальным падением среднегодовых температур на 10–40 К на протяжении десятков и сотен лет и вызывают массовое вымирание живых организмов. На поверхности Земли обнаружено свыше 250 кратеров-астроблем («звездных ран») размерами от 1 до 150 км. Кратер Мороквен размерами 120×340 км образовался на границе между юрским и меловым периодом 142,8 – 147,7 миллионов лет назад. Возникший на границе мезозойской и кайнозойской эры 65 млн. лет назад кратер Хиксулуб (полуостров Юкатан) имеет размеры 180×280 км. Кратеры Попигай и Чесапик-Бей возникли на границе эоцена и олигоцена 35,2 – 35,7 миллиона лет назад.

В 1992 г. в Санкт-Петербурге при институте теоретической астрономии был создан международный институт проблем астероидной опасности. Почти одновременно в США был издан труд: «Космическая бомбардировка: способы и соображения об эффективной системе перехвата объектов, бомбардирующих Землю».

Предлагается создание глобальной системы контроля космического пространства, начало развертывания которой намечено на первое десятилетие XXI в. Для защиты Земли от небольших объектов эффективно применение термоядерного оружия: для полного распыления объекта размерами в 50 м достаточен заряд мощностью 0,8 Мт. Для полной безопасности взрыв должен производиться за 40 и более суток до столкновения. Более крупные, свыше 500 м, астероиды следует отклонять от «роковой» траектории полета серией последовательных взрывов на их поверхности. Взрыв мощностью 1 Кт на поверхности объекта диаметром 1 км изменяет его скорость на 0,15 м/с. Для управления движения астероида диаметром до 45 км требуются заряды мощностью до 100 Мт. Другими вариантами противодействия могут стать воздействие на астероид мощным лазерным или СВЧ-излучением, столкновения с ним астероидов меньшей массы, создание на его пути облака мелких частиц. Если до столкновения астероида с Землей остается достаточно много времени, траекторию его движения можно изменить за счет эффекта Ярковского, изменив альбедо поверхности (перекрасив ее или побелив).

Разработана шкала астероидной опасности (Р. Бинзел, США), утвержденная в 1999 г. Международным астрономическим союзом. Все потенциально опасные объекты с учетом их массы, размеров, геоцентрической скорости и вероятности столкновения с Землей делятся на 11 категорий. Объекты нулевой категории не представляют опасности (не могут столкнуться с Землей или (при размерах до 10 м) практически полностью разрушаются в атмосфере); объекты 1-4 категории требуют внимания; объекты 5-7 категорий являются угрожающими; объекты 8-10 категории сталкиваются с Землей, вызывая катастрофу различных масштабов; объекты 11 категории становятся причиной глобальных катастроф.

Наиболее рационально не уничтожать, а изменять орбиты астероидов так, чтобы они становились спутниками Земли для последующей добычи полезных ископаемых. Для транспортировки астероида может быть использован бескамерный солнечно-термический реактивный двигатель (СТРД). Реактивная струя (газопылевой выброс) возникает при нагревании небольшого участка поверхности астероида до высоких температур зеркальным солнечным отражателем.

Каменный астероид диаметром 1 км имеет массу около 2 млрд. тонн и на 88% состоит из кремния, магния, кислорода, на 10% из железа и на 2% из никеля и кобальта.

Железный астероид диаметром 1 км имеет массу 8,5 млрд. тонн и на 90% состоит из чистого железа, на 9,3% из никеля, на 0,69% из кобальта, на 0,01% из золота, платины и других элементов.

Для 4-5-летней транспортировки астероида диаметром 1 км с гелиоцентрической на геоцентрическую орбиту потребуется зеркало из тончайшей металлизированной полимерной пленки диаметром до 1 км массой до 100 кг.

Астероиды могут стать неисчерпаемыми рудниками человечества, местом постройки космических заводов, лабораторий и электростанций. Энергозатраты пилотируемого полета к астероиду на околоземной орбите существенно ниже, чем для полета на Луну.

Вещество астероида может быть использовано для создания экрана для глобального управления климатом Земли и предотвращения ее перегрева. Круглый полупрозрачный ячеистый экран, позволяющий изменять затеняющий эффект от нуля до расчетного значения, будет иметь массу от 200 до 800 млн. тонн и устанавливаться на расстоянии 2,36 млрд. км от планеты, в точке, где центробежная, гравитационная сила и сила светового давления уравновесят друг друга. Экран для Венеры будет тяжелее – 32,5 млрд. тонн, но позволит снизить температуру ее поверхности до 56,6 °С, при которой углекислый газ атмосферы сконденсируется и выпадет в осадок, давление лишенной парникового эффекта, почти целиком состоящей из азота атмосферы понизится у поверхности до 2 атм. Венера станет доступной для колонизации землянами. Другими (более экономичными и реальными) способами изменения венерианского климата является распыление в верхних слоях ее атмосферы большого количества мелкой пыли с целью вызвать эффект «ядерной зимы» с глобальным похолоданием и (или) «засев» атмосферы культурами генетически преобразованных фотосинтезирующих микроорганизмов (дальними родственниками сине-зеленых водорослей). Отражательные экраны-рефлекторы могут увеличить освещенность поверхности Марса. Значительное увеличение среднегодовых температур повысит, за счет испарения полярных шапок, плотность марсианской атмосферы и «включит» в ней парниковый эффект. Растаявшая криосфера возродит гидросферу Марса и увеличит содержание водяных паров в его атмосфере. Деятельность специально созданных высокопродуктивных фотосинтезирующих микроорганизмов, сине-зеленых водорослей и других растений приведет к изменению химического состава атмосферы – обогащения ее кислородом до приемлемого для дыхания состава. Люди смогут заселить Марс.

Практическое занятие 6

Наблюдения Луны и планет

Первый этап занятия продолжает повторение и закрепление материала, изучавшегося в разделе «Основы астрометрии». Учащиеся должны показать на небе положение основных кругов, линий и точек небесной сферы; найти Полярную звезду и объяснить, как по ней ориентироваться на местности; отыскать основные созвездия и наиболее яркие звезды осеннего неба, видимые в это время года; показать знакомство со шкалой звездных величин.

На втором этапе урока учащиеся знакомятся с основными зимними созвездиями и наиболее яркими звездами. Описание звездного неба дано на 15 января, 20 часов местного времени:

В южной стороне горизонта хорошо видны главные звезды созвездия Ориона: три яркие звезды на одной линии – «пояс Ориона», две более яркие звезды выше – плечи небесного охотника, над ними одинокая звездочка – его голова; 2 звезды ниже «пояса» обрисовывают ноги Ориона, правая нога полусогнута. Неяркие звезды дополняют очертания фигуры: левая рука с дубинкой занесена над головой, с опущенной правой руки опускается львиная шкура, с пояса свисает меч. Орион – очень молодое созвездие, большая часть его звезд образовалась всего лишь 10 миллионов лет назад.

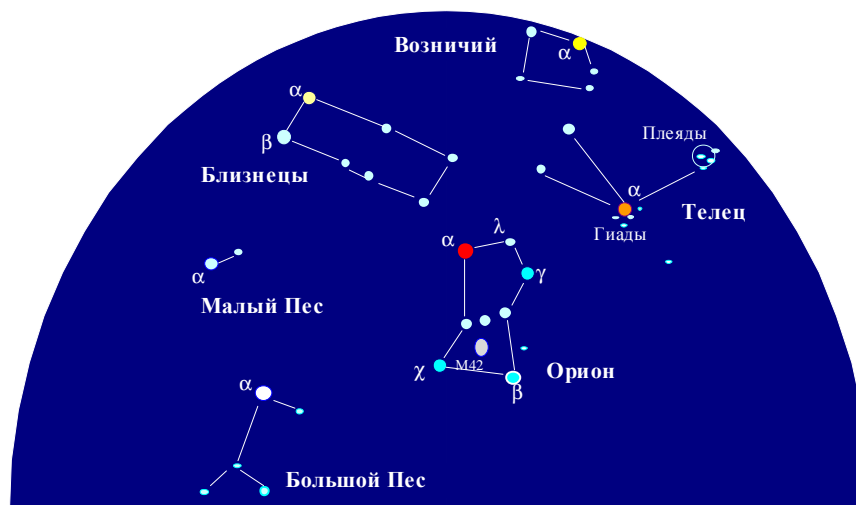


Рис. 77. Основные созвездия зимы

Яркая красноватая звезда в верхнем левом углу созвездия – красный сверхгигант Бетельгейзе, α Ориона. Она в 300 раз крупнее Солнца по размерам, но холоднее: температура Бетельгейзе не превышает 2000 К. С помощью метода спекл-интерферометрии (интерферометрами выступает система оптических телескопов) была получена фотография диска звезды: поверхность на 30-40 % покрыта пятнами и пульсирует. Бетельгейзе – полуправильная переменная звезда с двумя накладываются друг на друга периодами изменения блеска в 180 и 2070 суток.

Яркая голубоватая звезда в правом нижнем углу созвездия – Ригель, β Ориона всего в 40 раз больше Солнца по размерам, но энергии излучает в окружающее пространство в 64000 раз больше. Ригель – бело-голубая звезда с температурой поверхности 13000 К.

Ниже пояса Ориона посреди нескольких неярких звездочек видно голубоватое пятнышко – Большая туманность Ориона М 42, в которой сейчас идут интенсивные процессы образования звезд (в телескоп посреди туманности видна «новорожденная» 6-кратная звезда θ Ориона).

От кого защищается, с кем ведет бой Орион? Правее и выше его горит в небе яркая оранжевая звезда Альдебаран, глаз небесного быка-Тельца. Блеск Альдебарана равен $1,2^m$. Кучка звездочек вокруг него – рассеянное звездное скопление Гиады – образуют «морду быка». «Рога быка» – две звезды «вилкой» – нависают над Орионом. Правее, на «туловище» быка маленьким «ковшиком» переливается красивая кучка звезд – рассеянное звездное скопление Плеяды. Проверьте свое зрение: если вы видите в Плеядах 7 – 8 звезд, то оно нормальное, а если 9 – 11 звезд, то отличное. В телескоп в Плеядах можно насчитать 280 звезд.

Левее и выше Тельца, почти в зените над вашей головой очень яркая желтая звезда Капелла из созвездия Возничего – перекошенного звездного многоугольника. Долгое время Капеллу считали «космическим двойником» Солнца, но сейчас известно, что Капелла – спектрально-двойная звезд. Капелла А в 12 раз больше Солнца по размерам и в 4,2 раза по массе; Капелла В в 7 раз больше Солнца по размерам и в 3,3 раза по массе, расстояние между ними почти равно расстоянию от Земли до Солнца, а период обращения компонент вокруг общего центра тяжести составляет 104 сутки.

Левее и ниже Ориона сияет, переливается звездный бриллиант – Сириус, α Большого Пса, самая яркая звезда на земном небе – ее блеск равен $-1,2^m$ – и одна из ближайших звезд до нее 9 св. лет. Сириус – двойная звезда. Главный компонент системы Сириус А – нормальная горячая белая звезда с температурой поверхности около 10000 К. Сириус В («Щенок») является белым карликом: он лишь втрое больше Земли по размерам, а по массе почти равен Солнцу. Плотность белого карлика столь велика, что спичечный коробок вещества имеет массу около тонны!

Выше и чуть левее Сириуса – одинокая яркая звезда Процион, α Малого Пса. Это тоже двойная система: желтоватый Процион А немного крупнее и горячее Солнца (7000 К), а Процион В – белый карлик.

Выше Прочиона – две яркие звезды неподалеку друг от друга братья Кастор и Поллукс, α и β Близнецов. Кастор – шестикратная звезда: система, состоящая из 3 пар спектрально-двойных звезд. Созвездие Близнецов тянется правильным прямоугольником к Ориону.

Правее Ориона извивается, блестит почти незаметными звездочками небесная река Эридан. Из-под ног Ориона убегает перепуганный Заяц – четырехугольник из слабых звезд. Правее Ориона склоняются к западу знакомые вам созвездия.

Млечный Путь тянется слабозаметным звездным потоком по созвездиям Большого Пса, Ориона, Близнецов, Возничего, Персея, Кассиопеи, Лебеда.

Обратите внимание на то, как изменился вид звездного неба: знакомые нам созвездия заходят на западе, а из-за горизонта на востоке встают звезды весенних созвездий: восходит голубоватый яркий Регул, α Льва.

Задания: 1. Ответьте на вопросы: почему изменяется вид звездного неба в течение ночи? В течение года? 2. Определите блеск звезд: Капеллы, Ригеля, пояса Ориона, звезд Плеяд, Прочиона. 3. Запомните созвездия Ориона, Большого и Малого Пса, Тельца, Близнецов, Возничего.

Далее проводятся телескопические наблюдения Луны.

В зависимости от целей наблюдения рекомендуется применять различные увеличения. При общем обзоре лунной поверхности следует применять окуляр, дающий увеличение 30^x-40^x ; при изучении деталей рельефа – максимальное увеличение $60-80-120^x$; при наблюдении пепельного света Луны – минимальное увеличение. Для уменьшения общей яркости и возрастания контрастности деталей лунного диска можно применять слабые «нейтральный серый» и ли желтый светофильтры.

Наведите телескоп на Луну. Даже беглый взгляд видит гористый характер ее поверхности. Если виден пепельный свет Луны, нужно объяснить учащимся его природу и дать им полюбоваться. Познакомьте учеников с основными деталями рельефа: морями, кратерами, горами, вкратце расскажите об их физической природе и истории происхождения названий. Предложите учащимся найти сначала на лунных картах и глобусе, а затем в телескоп, в зависимости от возраста Луны – т.е. от условий ее видимости, следующие моря: Кризисов, Спокойствия, Нектара, Холлода, Дождей, Ясности, Паров, Облаков, Влажности и океан Бурь. Обратите внимание учащихся на терминатор Луны и задать вопрос: чем объяснить резкость и отчетливость линии терминатора? (*Отсутствием у Луны атмосферы*).

Если повесить увеличение телескопа до максимально возможного для данных погодных условий, становится хорошо заметна материковая часть Луны, горы и кратеры. Предложите ученикам найти сначала на лунных картах и глобусе, а затем в телескоп, в зависимости от возраста Луны, некоторые кратеры: Птолемея, Альфонс, Коперник, Кеплер, Аристарх, Геродот; горы: Тенериф, Прямой хребет, Альпы, Кавказ, Апеннины, Тавр; отдельные горные вершины: Питон, Пико.

Задаем ученикам вопросы: Как возникли кратеры на Луне? (*Они имеют ударную и вулканическую природу*). Как их можно различить по внешнему виду? (вулканические, как правило, имеют хорошо сохранившуюся центральную горку). Предлагаем указать кратеры вулканического и ударного происхождения. Просим объяснить природу лучевых систем у кратеров Коперник, Кеплер, Тихо (это молодые кратеры ударного происхождения: лучевые системы представляют собой выбросы породы при взрыве столкнувшегося с Луной космического тела). Как можно отличить старые кратеры от молодых? (*по количеству мелких «пара-*

зитических» кратеров позднего происхождения внутри и на валу основного кратера). Прекратилась ли сейчас на Луне вулканическая деятельность?

Показываем районы наблюдения нестационарных явлений: кратеры Аристарх, Геродот, Альфонс, Платон. Коротко рассказываем (напоминаем) о космических исследованиях Луны и показываем районы прилунения АМС «Луна-2», «Луна-9», «Луна-16», «Луноход-1» (СССР) и «Аполлон-11» (США); сообщаем имена первых астронавтов, высадившихся на Луне (Н. Армстронга и Э. Олдрина), сообщаем о перспективах исследования и освоения Луны.

При наличии времени и достаточного количества телескопов можно предложить некоторым учащимся зарисовать следующие детали лунной поверхности: море Кризисов, залив Радуги, кратеры Альфонс, Коперник, Кеплер, Тихо, Аристарх, горные хребты Кавказ и Апеннины. Если объект лежит близ терминатора, то полезно повторить зарисовку через 25-30 мин, в конце урока, чтобы убедиться в изменении вида объекта из-за изменений условий освещенности.

Завершают урок телескопические наблюдения планет.

Планеты Меркурий и Венера наблюдаются рано утром перед рассветом или вечером, на закате, в сумерках.

Меркурий почти постоянно скрывается в лучах Солнца и в средних широтах наблюдать его очень сложно, наилучшие условия наблюдений возникают во время элонгаций. В школьные телескопы можно наблюдать лишь фазы Меркурия, свидетельствующие о шарообразности планеты. Резкость линии терминатора доказывает отсутствие атмосферы. Наблюдения смены фаз Меркурия в течение 2-3 недель показывают, что их последовательность противоположна смене лунных фаз.

Наблюдения **Венеры** лучше всего проводить между элонгацией и нижним соединением. Из-за колебаний воздуха в приземных слоях удобнее всего наблюдать Венеру, когда ее высота над горизонтом превышает 20° - 25° . Для уменьшения яркости диска рекомендуется применять слабый нейтрально-серый, желтый и голубой светофильтры. Поскольку планета обладает плотной атмосферой, в школьный телескоп невозможно рассмотреть на ней какие-либо детали, кроме фаз, терминатора и, изредка, с максимальным увеличением, темных и светлых пятен на диске – атмосферных образований. Плотная атмосфера размывает терминатор и он не имеет такой четкости как у Луны и Меркурия. Благодаря рефракции света в атмосфере Венеры при фазах менее $0,2$ ее терминатор имеет вид серпа со значительным удлинением рогов, которые иногда сходятся друг с другом и образуют сумеречную дугу (явление Шретера). Рекомендуем зарисовать телескопический вид Венеры с деталями терминатора и облачного покрова (с применением красного, зеленого и синего светофильтров).

Марс является весьма трудной планетой для телескопических наблюдений; имеет смысл проводить их лишь в эпохи противостояний, когда видимые угловые размеры диска планеты превышают $15''$. Неопытный наблюдатель даже в сильный телескоп ничего не увидит на поверхности Марса; наблюдения в школьные телескопы обычно вызывают разочарование учащихся, много слышавших об этой планете. Во время противостояний на диске Марса можно видеть лишь полярные шапки и некоторые «моря» с расплывчатыми контурами. Рекомендуем зарисовать телескопический вид Марса с различными деталями

поверхности, применяя для наблюдений оранжевый, голубой и зеленый светофильтры. Сравнение рисунков, сделанных с интервалом в 2-3 часа, позволяет убедиться во вращении Марса вокруг своей оси и определить период этого вращения.

Юпитер – наиболее удобная и интересная планета для наблюдений в школьный телескоп. Самый неопытный наблюдатель легко замечает полярное сжатие планеты (ее полярный диаметр намного меньше экваториального) и темные полосы параллельно экватору; изредка можно видеть тропические полосы, которые тянутся по обе стороны экватора в 40° от него. Редко в очень благоприятных условиях можно увидеть Большое Красное пятно. В школьный телескоп хорошо видны 4 наиболее крупных галилеевых спутника Юпитера: Ио, Европа, Ганимед и Каллисто, вращающихся вокруг планеты в плоскости ее экватора. С учебной целью можно рекомендовать следующие наблюдения:

а) вращение Юпитера: при максимальном увеличении на заранее подготовленный шаблонный овал зарисовывают телескопический вид Юпитера и при этом особенно тщательно фиксируют положение 1-2 наиболее заметных деталей. Спустя 20-25 мин рисунок повторяют. Их сопоставление показывает перемещение контрольных деталей справа налево, т.е. действительное вращение планеты против часовой стрелки, и вычислить период вращения Юпитера вокруг своей оси (около $9^h 20^m$);

б) знакомство с атмосферой Юпитера: для отчетливого выделения отдельных деталей облачного покрова использовать желтый и оранжевый светофильтры;

в) наблюдения системы галилеевых спутников с зарисовками положения относительно планеты и друг друга уже через час позволяют заметить их обращение вокруг планеты. Можно наблюдать за явлениями в системе спутников Юпитера: покрытиями и, при большом увеличении и еще большем везении, прохождениями спутников по диску планеты.

Сатурн в телескоп выглядит очень эффектно, особенно красивы кольца планеты. В школьные телескопы на диске Сатурна почти ничего не видно и кольцо кажется сплошным. Из спутников планеты можно увидеть Титан и, исключительно редко, Япет. Рекомендуем выполнять зарисовки Сатурна с кольцом и спутником с применением слабого желтого и оранжевого светофильтров.

Уран и **Нептун** невооруженным глазом не видны. Пользуясь «Астрономическим календарем», их нетрудно отыскать в небе. В телескоп при максимальном увеличении (80-120 раз) можно увидеть диск Урана, Нептун же остается зеленоватой спокойной звездочкой. Рекомендуем зарисовать положение этих планет среди звезд.

Плутон в школьные телескопы не виден.

Астероиды выглядят в телескоп неяркими звездочками. Данные об их положении приводятся в «Астрономическом календаре». С помощью зарисовок можно за 2-3 ч обнаружить их движение на фоне звезд. Рекомендуем обратить внимание на периодические изменения блеска у некоторых из них как признаки вращения вокруг своей оси и неправильной формы.

Лабораторные работы

1. Наблюдения спутников Юпитера

Оборудование: телескоп (подзорная труба, теодолит или призмальный бинокль); график конфигураций спутников Юпитера на данный месяц («Астрономический календарь»); тетрадь, карандаш, фонарик.

Порядок выполнения работы:

1. Пользуясь «Астрономическим календарем» на данный год, определите условия видимости Юпитера.
2. Проведите наблюдения 4 галилеевых спутников Юпитера с зарисовкой их положения относительно диска планеты и вида атмосферы планеты.
3. Проведите 2-3 аналогичных наблюдения в последующие вечера.
4. Пользуясь графиком конфигураций спутников, содержащиеся в «Астрономическом календаре», определите номера и названия спутников.
5. Оформите результаты наблюдений следующим образом:

| Дата и время наблюдения | Конфигурация и номера спутников | | |
|-------------------------|---------------------------------|--------|--------|
| | запад | Юпитер | восток |
| 6. 03. 1981, 22 ч. | | | |

Методические указания:

Пользуясь графиком конфигураций, следует помнить, что горизонтальные линии отмечают начало календарных суток с указанием дат по мировому времени. Поэтому время наблюдений спутников следует выражать в системе мирового времени: $T_0 = T_d - n - 1$, где T_d – момент наблюдения по декретному времени, n – номер часового пояса. Чтобы определить номер спутника, на графике проводят горизонтальную линию, соответствующую дате и моменту наблюдения по всемирному времени. Ее пересечение с кривыми графика обозначает положение спутников относительно планеты.

Конфигурации спутников на графике даны для наблюдений в телескоп с астрономическим окуляром. При наблюдениях в бинокль или подзорную трубу (теодолит) запад и восток меняются местами.

Отсутствие некоторых спутников означает их затмение, покрытие Юпитером или прохождение по диску планеты. Можно выбрать из «Астрономического календаря» моменты наступления (окончания) этих явлений и проверить с помощью секундомера точность расчетов ученых. Наиболее опытные и сильные ученики могут попробовать повторить опыт Ремера по определению скорости света из наблюдений за явлениями в системе спутников Юпитера. Методика опыта содержится в учебнике физики для 11 класса Г.Я. Мякишева и Б.Б. Буховцева.

2. Фотографирование Луны

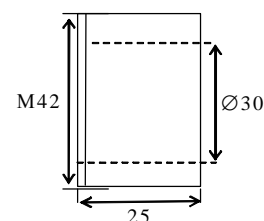
Оборудование: телескоп; фотоаппарат «Зенит»; переходник, конверторы; «Астрономический календарь», тетрадь, карандаш, фонарик.

Фотографирование Луны удобнее всего производить вблизи первой или третьей четверти. Для контрастности и выразительности деталей лунной поверхности можно применять слабые желтый или голубой светофильтры. Фотопленка должна обладать возможно большей чувствительностью (400-1200 единиц ISO).

Порядок выполнения работы:

1. Фотографирование Луны в главном фокусе инструмента: прикрепите к окулярному узлу переходник (рис. 7). Снимите объектив фотоаппарата, и привинтите камеру к переходнику на месте окулярного узла. Фотоаппарат нужно снабдить фототросиком. Экспозиция составляет, в зависимости от чувствительности пленки, от 1/60 до 1/125 секунды.

2. При съемке с конвертором последний ввинчивается между фотоаппаратом и переходником, при этом эквивалентное фокусное расстояние системы увеличивается в 2-3 раза в зависимости от типа конвертора. Экспозиция составляет от 1/60 до 1/30 секунды.



191
Простейший переходник от фотоаппарата "Зенит"

Размеры диска Луны на фотопленке составят: при съемке без конвертора с телескопом малый школьный рефрактор – 6 мм; с телескопом большой школьный рефрактор – 8 мм; 2-кратный конвертор повысит их размеры соответственно до 12 и 16 мм.

3. Фотографирование Луны с окулярным увеличением: фотоаппарат, не снимая объектива, крепят с помощью переходника усложненной конструкции к окулярному узлу, в котором устанавливается окуляр с минимальным увеличением. Эквивалентное фокусное расстояние системы рассчитывается по формуле: $F = f \cdot x$, где x – увеличение телескопа, f – фокусное расстояние его объектива. Экспозиция составляет от 1/30 до 1/2 секунды.

В журнале наблюдений указываются: тип телескопа, диаметр и фокусное расстояние его объектива; тип и чувствительность фотопленки; время экспозиции; погодные условия; данные о проявлении и печати фотопленки.

3. Определение размеров объектов лунного рельефа

Оборудование: телескоп; окуляр с натянутым крестом нитей; секундомер; карта Луны или лунный глобус; «Астрономический календарь», тетрадь, карандаш, фонарик.

Порядок выполнения работы:

1. Определение линейных размеров деталей лунного рельефа.

Размеры деталей лунного рельефа можно определить вначале в долях диаметра Луны (3476 км), а затем выразить измеренные величины в километрах.

Более точные измерения при помощи окуляра с максимальным увеличением и натянутым крестом нитей и секундомером выполняются следующим образом:

Наведите телескоп на Луну, оставьте его неподвижным и с помощью секундомера определите промежуток времени T (с), за который весь лунный диск от одного края до другого пройдет суточным движением через нить. Угловой диаметр диска D на данные сутки можно узнать из «Астрономического календаря». За 1 секунду времени смещение диска составит $n = \frac{D}{T}$. Отмечая промежуток времени t , в течение которого те или иные лунные образования пересекают нить, можно определить их размеры d : $d = n \cdot t$; $d = \frac{D \cdot t}{T}$.

Рекомендуем выполнить работу для кратеров Коперник, Альфонс и других, размерами свыше 60 км, расположенных вблизи центра лунного диска.

2. Определение высоты деталей рельефа по измерениям длины их тени.

Определить относительную высоту деталей лунного рельефа можно по длине отбрасываемой ими тени. Длина тени определяется в градусной мере по методике измерения размеров лунных образований. Высота объекта вычисляется по формуле: $H = \frac{t' \cdot \cos Z}{\sin g}$, где t' –

длина тени, величины Z и g вычисляются по известным селенографическим координатам измеряемого объекта (λ , β), точки наблюдений – центра видимого диска Луны (λ_0 , β_0) и точки Солнца ($\lambda_{\text{с}}$, $\beta_{\text{с}}$): $\cos g = \sin b_0 \sin b_{\odot} + \cos b_0 \cos b_{\odot} \cos(I_{\odot} - I_0)$.

$$\cos Z = \sin b \sin b_{\odot} + \cos b \cos b_{\odot} \cos(I_{\odot} - I)$$

Тень должна падать на ровную, не имеющую систематического повышения или понижения равнину, в противном случае точность измеряемой величины заметно снижается. Рекомендуемые объекты для наблюдений: вершины Пико и Питон, валы кратеров Кеплер, Коперник, Альфонс и т.д.

Солнце

Солнце – центральное тело Солнечной системы, ближайшая и наиболее подробно исследованная звезда. От свойств Солнца зависит существование и развитие жизни на Земле.

• Основные физические характеристики Солнца:

Масса Солнца $1,989 \cdot 10^{30}$ кг, в 333434 раз превышает массу Земли и в 750 раз – всех планетных тел Солнечной системы. Радиус Солнца 695990 км, в 109 раз больше земного. Средняя плотность солнечного вещества 1409 кг/м^3 , в 3,9 раза ниже плотности Земли. Ускорение силы тяжести на экваторе $279,98 \text{ м/с}^2$ (28 g). Экватор Солнца наклонен под углом $7,2^\circ$ к плоскости эклиптики. Сидерический период вращения на экваторе равен 25,38 суток и увеличивается по направлению к полюсам (до 32 суток на широте 60°). Внешним слоям Солнца присуще дифференцированное вращение, свойственное жидким и газообразным телам. Солнце обладает магнитным полем со сложной структурой средней напряженностью 1-2 Гс.

Возраст Солнца около 5 млрд. лет.

Видимая звездная величина (блеск) Солнца $-26,6^m$. Мощность общего излучения Солнца $374 \cdot 10^{21}$ кВт, среднее значение солнечной постоянной $1366 \text{ Дж/с} \cdot \text{м}^2$. Светимость Солнца $4 \cdot 10^{20}$ Вт. Земля получает $1/20000000000$ часть солнечной энергии: на площадку в 1 м^2 , перпендикулярную солнечным лучам за пределами земной атмосферы приходится $1,36 \text{ кВт}$ лучистой энергии.

Температура видимой поверхности (фотосферы) Солнца 5770 К . Спектральный класс Солнца G2, абсолютная звездная величина $+4,96^m$.

Химический состав Солнца: водород – 71 %, гелий – 26,5 %, остальные элементы 2,5 %. В составе Солнца нет неизвестных на Земле химических элементов.

Агрегатное состояние солнечного вещества – ионизированный атомарный газ (плазма). Вглубь Солнца, с увеличением температуры и давления, степень ионизации растет вплоть до полного разрушения атомов в ядре Солнца.

Внутреннее строение Солнца:

1. **Ядро** (зона термоядерных реакций) – центральная область, простирающаяся на $1/3$ радиуса Солнца от его центра, вблизи которого при давлении до $2 \cdot 10^{18}$ Па, температуре $1,5-1,6 \cdot 10^7 \text{ К}$ и плотности плазмы до 16 г/см^3 протекают термоядерные реакции превращения ядер атомов водорода в ядра атомов гелия, сопровождающиеся выделением колоссальной энергии. Ядро вращается как единое твердое тело с периодом 22-23 суток.

2. **Зона лучистого переноса** (расстояния от $1/3$ до $2/3 R_{\odot}$) – область, в которой выделяющаяся в солнечном ядре энергия передается наружу, от слоя к слою, в результате последовательного поглощения и переизлучения электромагнитных волн. Плавно распределяясь по возрастающему объему вещества, энергия (и, в

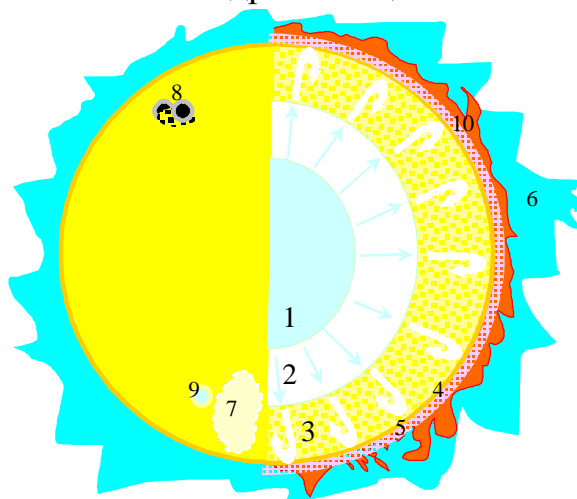


Рис. 78. Внутреннее строение Солнца

соответствии с законом Вина, длина) электромагнитных волн постепенно уменьшаются от 10^{-11} - 10^{-12} Дж (γ - и жесткое рентгеновское излучение) на границе с ядром до 10^{-16} Дж (жесткий ультрафиолет) на границе с конвективной зоной, где плотность плазмы составляет около $0,16 \text{ г/см}^3$ при давлении до 10^{13} Па и температуре до 10^6 К.

3. **Зона конвекции** ($0,29 R_{\odot}$) простирается почти до самой видимой поверхности Солнца. В ней происходит непрерывное перемешивание (конвекция) солнечного вещества.

В глубинах Солнца плотность солнечного вещества настолько велика, что до границы с зоной конвекции оно вращается как твердое тело. Выше плотность вещества уменьшается настолько, что в зоне конвекции вращение Солнца приобретает дифференцированный характер (как у жидкого или газообразного объекта): быстрее всего на экваторе, медленнее – по направлению к полюсам. Взаимодействие движущихся потоков солнечной плазмы дает эффект динамо-механизма, порождающего магнитное поле Солнца. В энергию магнитного поля преобразуется до 0,1 % от всей поступающей в конвективную зону тепловой энергии Солнца. На дне конвективной зоны с 22-летней периодичностью накапливается намагниченная плазма, образующая мощный магнитный слой. У границы с фотосферой формируются гигантские *ячейки супергрануляции*; в области интенсивного перемешивания вещества генерируются мощные акустические (звуковые) колебания. На глубине $0,8$ - $0,9 R_{\odot}$ появляются первые нейтральные атомы – сначала гелия, затем водорода, выше их концентрация увеличивается.

Выше простирается **атмосфера** Солнца, в которой выделяется ряд следующих областей:

Фотосфера (4) – слой газов толщиной 350-700 км. В нижнем слое фотосферы, обладающем температурой 8000 К при давлении солнечного вещества до 10^6 Па наблюдаются *гранулы* – ячейки верхнего яруса конвективной зоны размерами около 700 км – восходящие потоки раскаленных газов.

Фотосфера условно считается «видимой поверхностью» Солнца (хотя на самом деле это тонкий слой раскаленного ионизированного газа) потому, что в вышележащих слоях солнечной атмосферы плотность вещества уменьшается настолько, что мы видим фотосферу Солнца сквозь эти слои, которые можем наблюдать лишь в особых обстоятельствах или при помощи специальных приборов.

В ней при температуре 5770 К формируется все приходящее к Земле солнечное электромагнитное излучение в интервале длин волн от 10^{-13} до $5 \cdot 10^{-2}$ м с максимумом энергетической светимости в области $\lambda = 5,55 \cdot 10^{-7}$ м (желтая часть спектра). На фоне непрерывного спектра излучения глубин Солнца наблюдаются черные линии поглощения атомарных газов солнечной фотосферы, называемых *фраунгоферовыми* линиями. Уменьшение температуры в верхних слоях фотосферы порождает потемнение солнечного диска к краям светила.

Хромосфера (5) толщиной около 10^4 км наблюдается во время полных солнечных затмений как красноватое кольцо вокруг Солнца. Представляет собой совокупность сравнительно плотных и горячих (6000-15000 К) газовых струй и волокон. На высоте 4000-5000 км со скоростью 20 км/с поднимаются редкие изолированные столбы солнечного вещества – хромосферные *спикулы* диаметром 500-3000 км, занимающие до 0,5 % солнечной поверхности.

В узком переходном слое между хромосферой и короной температура солнечного вещества быстро возрастает до 10^6 К.

Корона (10) – внешняя, наиболее разреженная часть солнечной атмосферы, обладает очень сложной и постоянно изменяющейся структурой. Корона разделяется на *внутреннюю* ($T < 1,5 \cdot 10^6$ К) и *внешнюю* ($T < 3 \cdot 10^6$ К), образующую на расстоянии в несколько радиусов Солнца поток солнечного вещества – заряженных

частиц (e^- , p) и электромагнитного излучения – **солнечный ветер**, «дующий» со скоростью от 350-400 км/с на экваторе до 700 км/с на полюсах Солнца.

В атмосфере Солнца наблюдаются проявления *солнечной активности*:

Факельные поля (флоккулы) (6) – светлые «горячие» участки фотосферы размерами от 5000 до 50000 км. Наблюдаются там, где на поверхность Солнца множеством *факелов-фонтанов* высотой до 400 км «прорывается» раскаленное до 10000 К солнечное вещество: в вершинах гранул и на их боковых гранях.

Солнечные пятна (7) – «холодные» участки солнечной фотосферы размерами от 1 до 35000 км с температурой, понизившейся до 4000 К. Кажутся черными по контрасту с окружающей поверхностью, нагретой до 6000 К.

Протуберанцы (8) – выброшенные в хромосферу на высоту около 10^4 км сравнительно холодные плотные облака солнечного вещества ($T \sim 10^4$ К).

В области **хромосферных вспышек (9)** размерами до 1000 км выделяется до 10^{22} - 10^{25} Дж/с энергии (как при одновременном взрыве миллиардов термоядерных бомб). При вспышке образуется большое коронарное облако с температурой $2 \cdot 10^7$ К (до 10^8 К). Порождают выброс заряженных частиц со скоростью до 30000 км/с и мощное ультрафиолетовое, рентгеновское и радиоизлучение.

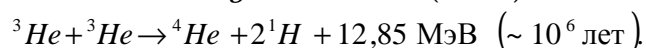
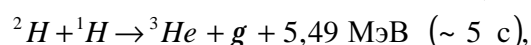
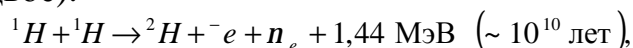
• Энергетика Солнца и звезд

Энергетика Солнца и звезд основана на **термоядерных реакциях** – процессах превращения одних элементарных частиц в другие, сопровождающихся синтезом более тяжелых атомных ядер из более легких, протекающих при высоких ($T > 10^7$ К) температурах и давлениях, с выделением огромного количества энергии.

В недрах нормальных звезд происходят термоядерные реакции превращения ядер атомов водорода в ядра атомов гелия. Общее значение выделившейся энергии, уносимой возникшими в ходе взаимодействия атомных ядер элементарными частицами (γ -квантами, нейтрино и т.д.), эквивалентно разности между суммой масс вступающих в реакцию ядер атомов водорода и массой образующегося ядра атома гелия.

Основными типами реакций, происходящих в недрах звезд, являются:

1. **Протон-протонный цикл**, протекающий при температуре $T \leq 1,8 \cdot 10^7$ К (ниже при описании хода термоядерных реакций сообщаются значения энергии, выделяющейся в ходе каждой отдельной реакции (1 МэВ = $1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж) и продолжительность реакции – время, за которое число частиц уменьшается вдвое):



2. **Азотно-углеродный цикл (CNO)**, в котором ядра атомов азота и углерода играют роль катализаторов реакции, протекающей при температурах свыше $1,8 \cdot 10^7$

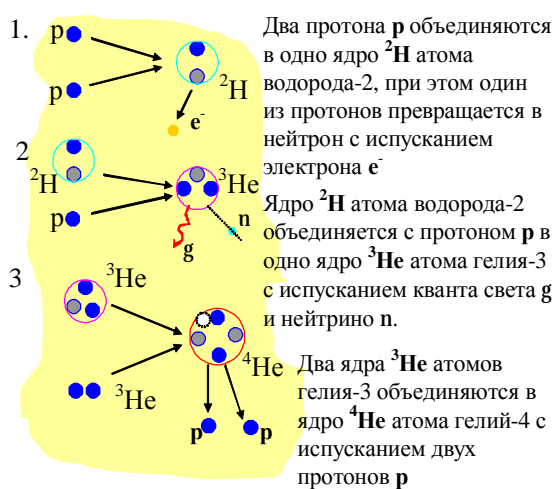


Рис. 79. Термоядерные реакции в недрах Солнца

К с установлением равновесных концентраций изотопов ^{14}N (95%), ^{12}C (4%), и ^{13}C (1 %) по массе.

Для звезд с массой $M \sim M_{\odot}$ основным являются протон-протонный цикл, для массивных звезд ($M > M_{\odot}$) основным являются азотно-углеродный цикл, протекающий с большей скоростью и большим выделением энергии.

Чем меньше масса звезды, тем ниже давление и температура в ее недрах, тем слабее, с меньшим выделением энергии идут термоядерные реакции, тем дольше «сгорает», превращаясь в гелий, водород в ядре звезды и тем дольше она живет. У красных тусклых звезд-карликов долгий век – десятки миллиардов лет.

Чем больше масса звезды, тем выше давление и температура в ее недрах, тем сильнее, с мощным выделением энергии идут термоядерные реакции, тем скорее «сгорает», превращаясь в гелий, водород в ядре звезды и тем меньше она живет. У голубых звезд-сверхгигантов недолгий век – они живут всего лишь десятки миллионов лет. Наше Солнце – желтая, средняя по своим характеристикам звезда класса G живет уже 5 миллиардов лет, и будет светить еще почти 8 миллиардов лет.

Одной из загадок солнечной энергетики 80-х годов XX в. было несоответствие между теоретически вычисленным и экспериментально зарегистрированным потоком солнечных нейтрино: их было меньше почти на 1/3 от расчетной величины. В настоящее время установлено, что в недрах Солнца и, вероятно, других звезд происходит процесс осцилляции (преобразования) электронных нейтрино $^{\pm}\nu_e$ в таонные нейтрино $^{\pm}\nu_{\tau}$ и мезонные нейтрино $^{\pm}\nu_{\mu}$, а общий поток солнечных нейтрино всех классов соответствует расчетному.

Солнце и звезды – естественные термоядерные реакторы с гравитационным удержанием плазмы. Термоядерные реакции в недрах Солнца и звезд «саморегулируются»: рост температуры в центре звезды за счет усиления мощности термоядерных реакций ведет к возрастанию газового (лучевого) давления и расширению звезды в пространстве. Увеличение размеров звезды снижает давление вышележащих слоев вещества на нижележащие под действием силы тяжести, что, в свою очередь, уменьшает температуру и интенсивность термоядерных реакций в центре звезды.

• Солнечная активность

Солнечная активность – комплекс явлений, охватывающих всю атмосферу Солнца в областях размерами $10\text{--}10^5$ км за время $1\text{--}10^6$ с. По масштабам и времени проявления солнечной активности разделяются на медленноменяющиеся – коронарные дыры, факельные поля, пятна, фотосферные волокна, и быстроменяющиеся – протуберанцы, хромосферные вспышки и т.д.

Все проявления солнечной активности возникают в результате усиления и (или) взаимодействия местных (локальных) магнитных полей в верхней части конвективной зоны и в атмосфере. Взаимодействие плазмы с магнитными полями описывается известными вам законами электромагнитной индукции.

Активные области порождаются всплыванием мощной трубки магнитного потока из магнитного слоя у основания конвективной зоны. Вместе с плазмой поднимаются «вмороженные» в нее магнитные поля с индукцией 0,2-0,3 Тл. Они возникают вследствие неоднородности вращения Солнца и обладают сложной структурой, которая в ходе движения приобретает петлеобразную форму. Гигант-

ские устойчивые биполярные магнитные области обладают двумя полюсами противоположной полярности, соединяющимися системой арок протяженностью до 30000 км и высотой до 5000 км. Вершины арок медленно поднимаются; у полюсов арок солнечное вещество медленно стекает вниз. В фотосфере активные области расщепляются на множество тонких трубок с напряженностью магнитного поля до 2000 Э, образующих *факельные поля*. Области пересечения тонких магнитных трубок с фотосферой наблюдаются в форме групп *солнечных пятен*.

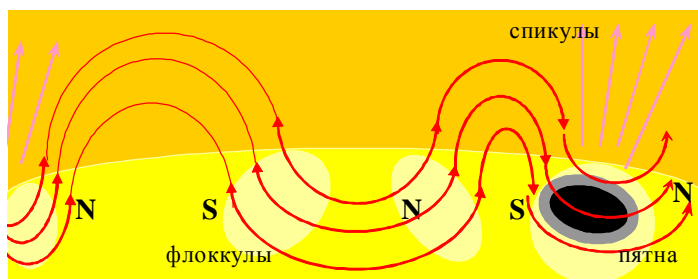


Рис. 80. Движение вещества в солнечной и атмосфере. Арки биполярных магнитных областей

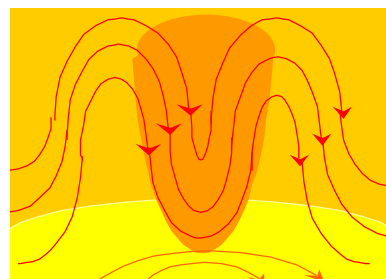


Рис. 81. Образование протуберанцев

Солнечная плазма как смесь заряженных частиц (ионов, электронов и протонов) обладает очень низким электрическим сопротивлением. По правилу Ленца, ослабление (уменьшение индукции) магнитного поля порождает поддерживающий его электрический ток (поток магнитной индукции через площадь, ограниченную произвольным контуром, со временем не изменяется). Плазма может беспрепятственно перемещаться («течь») вдоль силовых линий магнитного поля. При движении плазмы поперек поля в силу условия постоянства потока магнитной индукции плазма увлекает за собой «вмороженные» в поле линии индукции и замедляет свое движение с выделением энергии.

Обычно магнитное поле на участке солнечной поверхности обладает индукцией 10^{-4} Тл при напряженности 1 Э. Оно не может управлять движением плазмы, свободно участвующей в конвекции, поскольку плотность кинетической энергии участвующей в конвективном движении плазмы ($W = 125 \text{ Дж/м}^3$) выше плотности энергии магнитного поля ($4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3$). Магнитное поле биполярной магнитной области подавляет конвекцию, если его индукция достигает 0,2 Тл: плотность энергии магнитного поля биполярных областей ($1,6 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^3$) оказывается существенно выше плотности кинетической энергии участвующей в конвективном движении плазмы, а магнитное поле не может двигаться поперек линий индукции.

Количественная характеристика солнечной активности – числа Вольфа определяется по формуле: $W = 10g + f$, где g – количество групп пятен, f – количество всех наблюдаемых пятен. Другими, более точными индикаторами солнечной активности являются суммарная площадь пятен и интенсивность солнечного радиоизлучения ($\lambda = 0,107 \text{ м}$).

Солнечный цикл – периодический процесс появления и развития на всей поверхности Солнца активных областей, обусловленных «всплыванием» в атмосферу сильных магнитных полей. Средний промежуток между двумя максимумами солнечной активности равен 11,1 года.

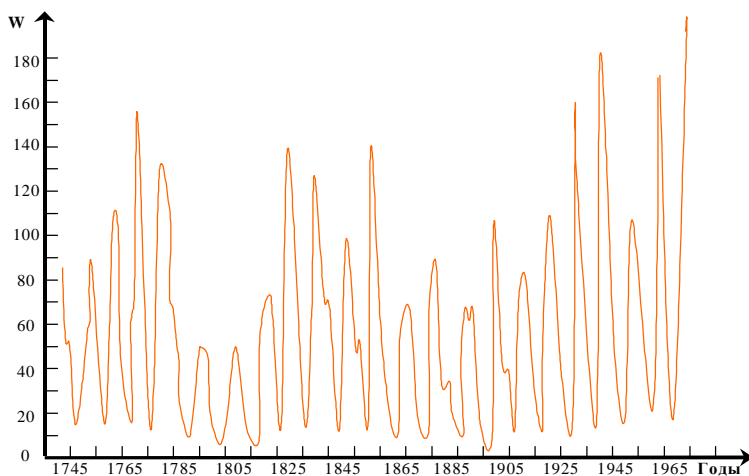


Рис. 82. 11-летний цикл солнечной активности

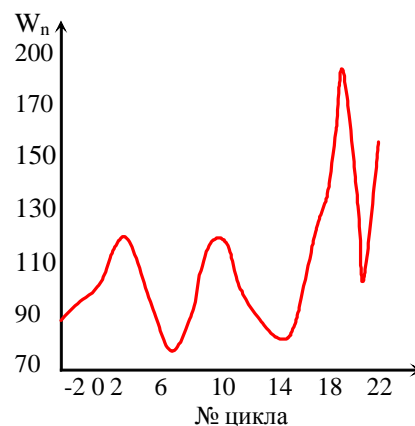


Рис. 83. "Вековой" цикл солнечной активности

Во время минимума солнечной активности для внешнего наблюдателя корона «сжимается» у полюсов; иногда в течение недель в минимуме солнечной активности в фотосфере не наблюдается ни единого пятна.

В максимуме активности число Вольфа превышает 150-200 единиц. Но возрастает количество и площадь не только солнечных пятен, но и, в большей степени, раскаленных факельных полей. Это ведет к чуть заметному увеличению температуры и, следовательно, светимости Солнца. Солнечная постоянная возрастает на 0,1-0,15 %, а концентрация рентгеновского и коротковолнового излучения в 3-4 раза. Солнечная корона приобретает «растрепанную» сферическую форму.

Обычно комплекс явлений солнечной активности протекает в следующей последовательности: с усилением магнитного поля при всплывании трубки магнитного потока в фотосфере появляется расширяющееся, увеличивающее свою яркость факельное поле. Сутки спустя в нем возникают и развиваются крохотные **поры**, постепенно разрастающиеся в черные пятна и группы пятен: через 10 суток их размеры возрастают до 10000 км. В хромосфере и короне происходят бурные процессы. Затем активность области постепенно уменьшается: через 2-3 месяца исчезают пятна; но месяцами над этим местом будет висеть огромный протуберанец, и лишь через год активная область исчезает полностью.

Соседние циклы тесно связаны между собой. Относительная интенсивность 11-летних циклов меняется с 80–90-летним («вековым») циклом солнечной активности. Установлено существование 1800-летнего цикла; возможно существование более продолжительных циклов.

Задание на дом: Составить план-конспект урока «Солнце».

Практическое занятие 7

Наблюдения Солнца

Техника безопасности: Ни в коем случае нельзя смотреть на Солнце в телескоп, не имеющий светофильтров и диафрагмы – можно ослепнуть в результате светового ожога!

При проецировании изображения Солнца на экран нужно через каждые 5 мин делать перерывы в наблюдениях на 2-3 мин, чтобы не потрескались линзы окуляра. Те же меры предосторожности нужно применять при работе с окулярными светофильтрами. При наблюдениях Солнца наиболее удобно применять объективный светофильтр в сочетании с диафрагмой: он гораздо лучше защищает телескоп от перегрева и не перегревается сам.

Если есть возможность проводить наблюдения из затемненного помещения (классной комнаты с темными шторами на окнах и т.д.) то ею надо воспользоваться. Перед началом наблюдений помещение проветривают с открытыми окнами 15-20 мин для сведения к минимуму воздушных потоков, возникающих от разности температур внутри и вне помещения.

В зависимости от целей наблюдения рекомендуется применять различные увеличения. При общем обзоре солнечной поверхности следует применять окуляр, дающий увеличение в 30-40 раз; при детальном изучении фотосферы – максимальное увеличение в 60-80-120 раз; при спектральных наблюдениях и фотографировании Солнца в главном фокусе телескопа окуляры не нужны.

Порядок проведения наблюдений:

1. Задиафрагмируйте объектив телескопа до относительного отверстия $1/30 - 1/40$. Установите окуляр с увеличением $30^{\times} - 40^{\times}$ и солнечный экран.

2. Наведите телескоп на Солнце. Удобнее всего сделать это по тени телескопа, которая при правильной наводке будет иметь круглую форму трубы и минимальные размеры. Спроектируйте полученное изображение на экран, на белый лист бумаги, покрытый сверху калькой, и сфокусируйте изображение в круг диаметром 10 см. Наиболее удобно осуществлять фокусировку по краю солнечного диска, который должен представлять идеально четкую линию.

3. Укажите учащимся солнечные пятна, факельные области и если очень повезет, хромосферную вспышку.

4. Обратите их внимание на потемнения солнечного диска по краям как свидетельство газовой (плазменной) природы Солнца.

5. Установите направление суточной параллели. Для этого отметьте карандашом последовательные изменения положения какого-либо пятна при неподвижной трубе и проведите через эту точки прямую.

6. Плавнo смещая трубу за Солнцем, чтобы изображение его не выходило за пределы 10-см круга, отметьте карандашом положение групп пятен и отдельных пятен, факельных полей и вспышки.

7. Повысите увеличение телескопа до максимально возможного для данных погодных условий ($60^{\times} - 80^{\times}$). На экране в затемненном помещении станет видна солнечная грануляция; очень красиво выглядят пятна: ядро малиновое, полутень фиолетовая, а сама поверхность Солнца бледно-розовая. Если наблюдения проводятся на улице, изображение будет неярким и менее контрастным.

8. Оденьте на объектив (вставьте в окуляр) светофильтр, снимите экран и продолжите визуальные наблюдения непосредственно через окуляр.

9. Зарисуйте при максимальном увеличении внешний вид, форму и детали строения факельных полей, пятен и групп пятен.

10. Снимите окуляр, присоединив на его место школьный спектроскоп. В хорошо настроенный спектроскоп можно наблюдать свыше 10 линий, в т.ч. линии $C\text{F}$ и f водорода, линию натрия, линию b магния, E и G железа. При наблюдениях солнечного отражения от оконного стекла для снижения яркости спектра можно увидеть линии a , A и B кислорода, а на краю фиолетовой части 2 наиболее интенсивные в видимом спектре линии H и K ионизированного кальция. Спроецируйте изображение спектра на белую бумагу. Зарисуйте основные линии спек-

тра (линии водорода, гелия и ионизированного кальция) и объясните школьникам их смысл. Вместо спектроסקопа в учебных спектральных наблюдениях может с успехом использоваться дифракционная решетка, имеющая значительно меньшие размеры и вес при почти таком же разрешении как у спектроסקопа.

Обработка и оформление полученных результатов:

1. Преподаватель проводит общий анализ работы.
2. Определение солнечного экватора и оси вращения: а) провести перпендикуляр через центр круга к направлению суточной параллели: получаем круг склонений); б) разметить положение сторон света; в) выписать из «Астрономического календаря» значения позиционного угла P проекции солнечной оси и гелиографической широты центра диска B_0 ; г) нанести положение солнечной оси, пользуясь значением позиционного угла (при положительных значениях угол между линией круга склонений и осью откладывается от северного конца круга склонений к востоку, при отрицательных склонениях – к западу); д) выбрать в соответствии с B_0 надлежащую сетку, совместить ее центральный меридиан с проведенной осью Солнца и с сетки на чертеже перенести положение солнечного экватора.

3. Используя сетку, определить, на какой широте находятся пятна и их приблизительные размеры.

4. Пользуясь книгой П.Г. Куликовского «Справочник любителя астрономии», рассчитать линейные размеры пятен и сопоставить их с размерами Земли.

5. Определить уровень солнечной активности, рассчитав число Вольфа по формуле: $W = 10g + f$, где g – количество групп пятен, f – количество всех пятен.

Оформить результаты наблюдения, при этом в журналы наблюдений (тетради учащихся) с кальки переносятся положения факельных полей, групп пятен и отдельных пятен.

Лабораторные работы

1. Фотографирование Солнца

Оборудование: телескоп; диафрагма; объективный солнечный светофильтр; фотоаппарат «Зенит»; переходник, конверторы; «Астрономический календарь», тетрадь, карандаш.

Фотографирование Солнца желательнее производить на фотопленку с наименьшей чувствительностью (50-100 единиц ISO).

Порядок выполнения работы:

1. Фотографирование Солнца в главном фокусе инструмента. Установите на объективе солнечный светофильтр и диафрагму. Прикрепите к окулярному узлу переходник. Снимите объектив фотоаппарата, и привинтите камеру к переходнику на месте окулярного узла. Фотоаппарат нужно снабдить фототросиком. Экспозиция составляет, в зависимости от чувствительности пленки, от 1/500 до 1/250 секунды.

2. При съемке с конвертором последний ввинчивается между фотоаппаратом и переходником, при этом эквивалентное фокусное расстояние системы увеличивается в 2-3 раза в зависимости от типа конвертора. Экспозиция составляет от 1/250 до 1/125 секунды.

Размеры диска Солнца на фотопленке составят: при съемке без конвертора с телескопом малый школьный рефрактор – 6 мм; с телескопом большой школьный рефрактор – 8 мм; 2-кратный конвертор повысит их размеры соответственно до 12 и 16 мм.

3. Фотографирование Солнца с окулярным увеличением: фотоаппарат, не снимая объектива, крепят с помощью переходника усложненной конструкции к окулярному узлу, в котором устанавливается окуляр с минимальным увеличением. Эквивалентное фокусное расстояние системы рассчитывается по формуле: $F = f \cdot x$, где x – увеличение телескопа, f – фокусное расстояние его объектива. Экспозиция составляет от 1/60 до 1/30 секунды.

В журнале наблюдений указываются: тип телескопа, диаметр и фокусное расстояние его объектива; тип и чувствительность фотопленки; время экспозиции; погодные условия; данные о проявлении и печати фотопленки.

2. Определение размеров солнечных пятен и факельных полей:

Оборудование: телескоп; диафрагма; объективный солнечный светофильтр; окуляр с натянутым крестом нитей; секундомер; орфографические сетки для наблюдения Солнца; «Астрономический календарь», тетрадь, карандаш.

Порядок выполнения работы:

3. Определение линейных размеров солнечных пятен и факельных полей.

Размеры солнечных пятен и факельных полей можно определить вначале в долях диаметра Солнца (1390600 км), а затем выразить измеренные величины в километрах.

Более точные измерения при помощи окуляра с максимальным увеличением и натянутым крестом нитей и секундомером выполняются следующим образом:

Наведите телескоп на Солнце, оставьте его неподвижным и с помощью секундомера определите промежуток времени T (с), за который весь солнечный диск от одного края до другого пройдет суточным движением через нить. Угловой диаметр диска D на данные сутки можно узнать из «Астрономического календаря». За 1 с времени смещение диска составит $n = \frac{D}{T}$. Отмечая промежуток времени t , в течение которого те или иные объекты солнечной фотосферы пересекают нить, можно определить их размеры d : $d = n \cdot t$; $d = \frac{D \cdot t}{T}$.

3. **Г.И. Малахова** в статье «Методика изучения астрофизических разделов школьного курса астрономии» [Астрономия в школе, с. 4-69] предлагает практическую работу по определению скорости вращения Солнца. Она выполняется на основе нескольких (4-5) фотографий, сделанных с промежутками в 1-2 дня. Установив масштаб снимка, учащиеся измеряют смещение l за 1 сутки пятна, расположенного близ центра солнечного диска, а затем, считая, что смещение пятна за 1 оборот составит $2pR_{\odot}$, вычисляют период T и линейную скорость вращения $u_{\text{л}}$ Солнца по формулам: $T = \frac{2pR_{\odot}}{l}$; $u_{\text{л}} = \frac{2pR_{\odot}}{T}$. Сидерический период вращения точки на экваторе Солнца $T = 25,38^{\text{д}}$,

линейная скорость точки экватора $u_{\text{л}} = 2$ км/с. Нужно обратить внимание учеников на дифференцированный характер вращения Солнца, обусловленный газовой (плазменной) природой звезды: скорость вращения Солнца плавно уменьшается от солнечного экватора к полюсам.

Семинар 5

Солнечно-земные связи

Космические объекты и космические процессы оказывают мощное влияние на все природные оболочки Земли и эволюцию планеты. Достоверно установлен ряд циклов природных явлений: «вековых», продолжительностью 169, 222, 400 и более лет, и «внутривековых», длительностью 1, 2, 3, 4, 6, 11, 23, 33, 80 лет.

В ходе семинара идет повторение и углубление знаний об основных физических характеристиках нашей планеты (особенно подробно о верхних слоях атмосферы (ионосфере), магнитном поле и радиационных поясах Земли) и космических явлениях, оказывающих влияние на геосферные процессы.

Обучаемые должны отработать следующие положения:

1. Солнце состоит из плазмы – ионизированного атомарного газа, хаотично движущихся заряженных частиц, взаимодействующих между собой и внешними электромагнитными полями.

2. Солнце обладает как общим сравнительно слабым магнитным полем, так и местными (локальными) мощными полями на отдельных участках атмосферы.

3. В результате взаимодействия заряженных частиц и магнитного поля изменяются характеристики движения (скорость, направление) и энергия частиц.

4. Земля находится внутри внешних слоев солнечной атмосферы – короны.

5. Солнце оказывает влияние на процессы в околоземном космическом пространстве и на Земле.

6. Существенными особенностями солнечной активности являются ее цикличность и влияние на геосферные оболочки и околоземное космическое пространство.

7. От Солнца зависит существование жизни на нашей планете.

Следует предложить обучаемым самостоятельно организовать и провести это занятие. Педагог определяет лишь тему и цель проведения занятия; структуру, порядок проведения, темы докладов и сообщений определяют для себя сами обучаемые в ходе фронтального обсуждения за 2 недели до начала занятия.

Доклады и сообщения могут быть: а) повторительно-обобщающего характера на темы «Магнитосфера Земли», «Радиационные пояса Земли», «Полярные сияния»; б) содержащие не изучавшиеся ранее сведения о воздействии солнечной активности на основные параметры и состояние магнитосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы Земли, влиянии магнитных бурь на жизнь и здоровье людей и технические устройства, способах профилактики и защиты от вредных последствий солнечно-земных связей и т.д. Желательно показать основные направления в использовании солнечной энергии человеком сейчас и в ближайшем будущем (наземные и космические солнечные электростанции и промышленные установки).

Справочный материал:

Наука о Земле как единой, целостной, открытой, саморазвивающейся и частично саморегулирующейся системе взаимодействующих природных оболочек – геосфер, называется **геономией**. Геономия органично объединяет в себе географию, геологию, геофизику, геохимию и экологию. У истоков этой науки стояли А. Гумбольдт, Э. Зюсс, Н. Я. Грот, В. И. Вернадский, А. А. Григорьев, С. В. Колесник и другие знаменитые ученые.

Циклы природных явлений средней продолжительности зависят от колебаний солнечной активности: квазидвухлетний, 11-летний, 22-летний, 100-летний циклы обладают наибольшей фундаментальностью наряду с 27-суточным синодическим периодом вращения Солнца вокруг своей оси, и воздействуют на магнитное поле, атмосферу и биосферу Земли. Наиболее кратковременные циклы связаны с неравномерным облучением Земли космическими частицами, область их действия – магнитосфера и атмосфера.

Земля обладает магнитным полем напряженностью $5 \cdot 10^{-5}$ Тл и индуктивностью 0,31 Гс, сходным по структуре с полем однородного намагниченного шара – сферического магнита, ось которого наклонена к оси вращения Земли на $11,5^\circ$. Северный магнитный полюс Земли расположен в ее южном полушарии и имеет координаты: $j = 78,6^\circ$, $l = 70,1^\circ W$. Южный полюс расположен в северном полушарии: $j = 78,6^\circ$, $l = -10^\circ E$. Замечательной способностью геомагнитного поля является изменчивость величины индуктивности и напряженности, и дрейф магнитных полюсов по земной поверхности: они могут даже меняться местами.

Современные теории геомагнетизма уподобляют Землю динамо-машине с самовозбуждением исходя из предположения, что магнитное поле Земли создается и поддерживается за счет вращения внешнего ядра планеты. Процесс генерации геомагнитного поля остается неизменным на протяжении 250 млн. лет.

Магнитное поле планеты с размерами $9-11 R_\oplus$ (до $6,38 \cdot 10^6$ м), обтекаемое в космосе солнечным ветром, называется **магнитосферой**. Попадающие внутрь магнитосферы заряженные частицы потоков солнечного ветра (электроны и протоны) плотностью 10^8 частиц/см² со скоростями 400–1000 км/с и электроны, излучаемые магнитосферой Юпитера, захватываются магнитным полем Земли и начинают двигаться по винтообразным траекториям вокруг силовых линий

магнитного поля, образуя **радиационные пояса**.

Внутренняя часть поясов простирается на высоту 500 км над полюсами и от 2400 до 5600 км над экватором и состоит из электронов и протонов; внешняя часть поясов располагается между высотами 6000–20000 км и состоит из электронов, обладающих еще большей энергией. Увеличение скорости частиц солнечного ветра на 100 км/с ведет к деформации (прогибанию) магнитосферы Земли на 15 – 20 %, энергия захваченных электронов возрастает в 10000 раз!

Если бы у Земли отсутствовала магнитосфера, космическая радиация убила бы на ней все живое. Однако большая часть космических лучей отклоняется магнитным полем Земли, а часть захватывается, и лишь наиболее энергичные частицы достигают верхних слоев атмосферы, в основном в области земных полюсов, и вызывают свечение разреженных газов – **полярные сияния**; при этом выделяется энергия до $2 \cdot 10^{12}$ Вт, превышающая мощность всех электростанций Земли.

На протяжении последних 76 млн лет места и полярность магнитных полюсов Земли и напряженность, и другие характеристики геомагнитного поля изменялись 171 раз.

Между инверсиями геомагнитного поля и появлением новых видов животных и растений и, вероятно, климатическими изменениями существует четкая корреляция, обусловленная значительными колебаниями уровня облученности поверхности Земли космическими лучами во время инверсий геомагнитного поля и в промежуточный период.

Состояние околоземного космического пространства, магнитосферы и верхних слоев атмосферы Земли определяется **космической погодой**, основными параметрами которой являются температура и концентрация компонент низкоэнергетической плазмы, магнитные и электрические поля и токи, спектральный состав электромагнитного излучения и потоков заряженных частиц.

Видимое излучение Солнца практически не изменяется со временем. Основными типами изменяющихся во времени, активных солнечных излучений являются: 1) коротковолновое (ультрафиолетовое и рентгеновское), способное производить ионизацию и диссоциацию молекул атмосферы; 2) солнечный ветер и корпускулярные потоки с их магнитными полями, взаимодействующие с магнитосферой (энергия отдельных порывов солнечного ветра эквивалентна энергии ядерного взрыва мощностью 1-10 Мт). При переходе от минимума к максимуму 11-летнего солнечного цикла полная энергия потока ионизирующего излучения возрастает в 3 раза.

В максимуме солнечного цикла температура в тропиках на $0,5^\circ$ выше, чем в минимуме; увеличивается число гроз, возрастает амплитуда колебаний атмосферного давления; усиливается общая циркуляция атмосферных потоков. В средних широтах с увеличением солнечной активности возрастает повторяемость циклонов, ведущая к увеличению количества осадков. Ряд ученых объясняет это последовательной поэтапной передачей энергии из верхних слоев атмосферы в тропосферу; колебания ультрафиолетового излучения воздействуют на концентрацию озона и изменяют температуру воздуха, порождающую вертикальные воздушные потоки, отклоняемые вращением Земли и порождающие восточные и западные ветры и струйные течения. От уровня солнечной активности сильнее зависят летние температуры стратосферы.

Вышеописанные явления протекают при колебаниях солнечной постоянной до 0,1-0,15 % от среднего значения; при ее отклонении на 0,2-0,6 % климатические изменения приобретают глобальный характер. Так, известное средневековое похолодание 1645-1715 гг., вероятно обусловлено «маундеровским» минимумом солнечной активности, когда пятен на Солнце почти не наблюдалось 70 лет подряд. Цикличность «малых ледниковых периодов» может быть связана с широкомасштабными изменениями уровня солнечной активности с периодом около 2500 лет.

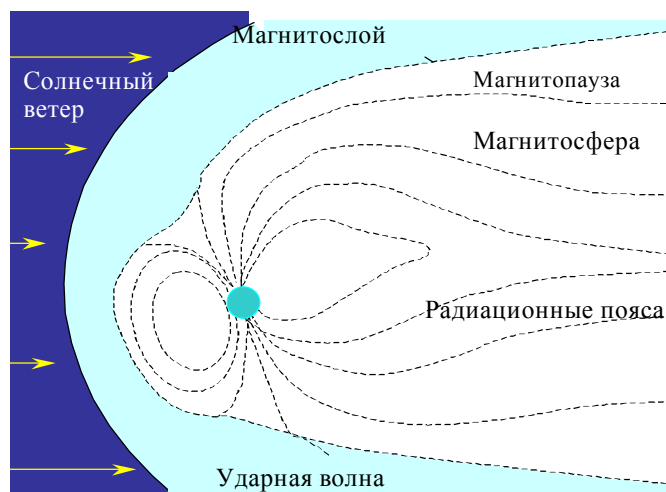


Рис. 84. Магнитосфера Земли

Многочисленные эффекты воздействия солнечной активности на биосферу получили серьезное морфологическое и статистическое обоснование, но механизм их физического воздействия до сих пор неясен, т.к. полный поток и спектральные составляющие солнечного излучения вблизи земной поверхности изменяются лишь на доли процента. Однако все живые организмы чувствительны к внешним электромагнитным полям низких и сверхнизких частот (при $H \geq 0,1$ В/м и 10^{-6} Гц), оказывающих влияние на физико-химические свойства живых клеток. Предполагается, что организмы используют квазипериодические изменения параметров внешней среды, в том числе электромагнитных полей, для синхронизации биоритмов путем «настройки» на внешнюю частоту, для ориентации в пространстве и т. д. Так, в организме человека при резком значительном изменении магнитного поля повышается кровяное давление с одновременным спазмом кровеносных сосудов, ухудшаются бактерицидные свойства крови.

На поверхности Земли регистрируются электромагнитные поля с частотой 10^4 – 10^5 Гц и наибольшей интенсивностью в диапазоне сверхнизких частот, чутко реагирующие на любые проявления солнечной активности: так, через 1,5–2 суток после вспышки на Солнце напряженность магнитного поля в ионосфере на частоте 8 Гц изменяется более, чем в 10 раз. В эпоху максимумов солнечной активности возрастает число инфарктов и инсультов, случаев производственного и дорожного травматизма, эпидемических заболеваний, эпизоотий.

Задачи земной экологии требуют астрономических наблюдений и наблюдений из космоса не только за Землей, но и за Солнцем и ближним космосом. По мере своего развития современная технологическая цивилизация становится все более уязвимой к действию космических факторов.

Солнечная активность оказывает воздействие не только на магнитосферу, атмосферу и биосферу Земли, но и на технику, созданную людьми. В годы *активного Солнца*: ухудшается радиосвязь (в КВ-, ВЧ- и УВЧ-диапазонах), телефонная и телеграфная связь, особенно в освещенном солнцем полушарии и во время ионосферных бурь; искажаются данные геомагнитных съемок; происходят сбои и катастрофы в энергетических сетях; усиливается коррозия магистральных трубопроводов; уменьшается срок эксплуатации ИСЗ из-за усиления торможения в верхних слоях разбухающей атмосферы.

Слабо защищены от мощных проявлений солнечной активности электронные и компьютерные системы и сети, системы навигации, системы управления и контроля атомных станций и военных объектов.

В 1999 г. была разработана «шкала космической погоды» – первая попытка систематического исследования всего комплекса явлений солнечно-земных связей, потенциально опасных для земной цивилизации. Выделяются 3 категории явлений: геомагнитные бури, радиационные бури и нарушения радиосвязи. Каждая категория разделяется на 5 уровней: незначительный (1 балл); умеренный (2 балла); сильный (3 балла); очень сильный (4 балла) и экстремальный (5 баллов). Наиболее опасны экстремальные геомагнитные бури, приводящие к полному выходу из строя сетей электропитания, появлению сильных токов в трубопроводах и практически полному прекращению радиосвязи на всех частотах. Экстремальные радиационные бури приводят к опасному облучению космонавтов, экипажей и пассажиров высотных самолетов.

...В настоящее время на Земле 88 % всей энергии человечество получает за счет сжигания природного углеродного топлива (ежегодно сжигается 4 млрд. тонн угля, 3,5 млрд. тонн нефти, десятки триллионов кубометров газа, древесина, торф и т.д.), загрязняющего окружающую среду на 60 %. Идея использования «бесплатной» солнечной энергии легла в основу применения космических технологий для нужд земной энергетики:

1. Орбитальные отражатели-рефлекторы для освещения отдельных полярных районов (эксперименты в России ведутся с 1993 г.).

2. Орбитальные солнечные электростанции: проекты разработаны в России, США, Западной Европе и Японии. В первой половине XXI в. США планирует создание 60 КЭС мощностью 5 ГВт каждая с передачей энергии на Землю в виде микроволнового луча. Существующие солнечные батареи имеют К.П.Д. около 30 %.

Звезды

На данном занятии обучаемые знакомятся с новой формой ведения урока: **лекцией-беседой**. Для полного овладения материалом обучаемые должны активно воспринять и выразить его: 1) зрительно в форме фотографии, рисунка, схемы, записи на доске и в тетради; 2) слуховым путем: услышать из уст преподавателя, товарищей и самому проговорить про себя и вслух важнейшие моменты урока; 3) в действии: при записи в тетради, на доске, построении обобщающей схемы, таблицы, выступлении, беседе с учителем и одноклассниками. Лекция-беседа, сочетая в себе наилучшие стороны 2 словесных методов преподавания, дает наилучший результат в обучении, но требует тщательной подготовки со стороны преподавателя. Важной частью лекции-беседы являются «рассуждения вслух», построение логических цепочек: ученики вместе с педагогом (сопереживая ему – эмоциональный настрой очень важен!) должны пройти, проследить весь «путь к истине», обретению новых знаний и умений.

Весь изучаемый материал генерализуется вокруг одного из главных понятий данной темы, раздела, курса. На первом этапе занятия обучаемым сообщается определение понятия. Далее следует подробный по-фразный (при необходимости пословесный) анализ определения понятия, в ходе которого выявляются и объясняются основные характеристики и свойства объекта во всем богатстве их взаимообусловленности и функционального взаимодействия.

Существенные признаки понятия уточняются и закрепляются в ходе знакомства с фактологическим материалом (в нашем случае с многообразием характеристик наблюдаемых звезд). Отслеживаются причинно-следственные цепочки, выявляющие связь данного понятия с другими понятиями данного раздела и всего курса в целом (близко- и дальнеродственные связи понятия).

Завершает занятие работа с понятием, включающая в себя:

- опору на данное понятие при усвоении нового понятия;
- новое обогащение понятия;
- установление новых связей и отношений данного понятия с другими.

Результатом работы должно стать свободное владение информацией на уровне понятия.

Минимальный уровень усвоения знаний характеризуют положения:

1. Звезды – отдельный самостоятельный тип космических тел, качественно отличающийся от других космических объектов.
2. Звезда – огромный раскаленный газовый (плазменный) шар.
3. Звезды – один из наиболее распространенных (возможно, наиболее распространенный) тип космических тел. Звезды сосредоточивают в себе до 90 % видимого вещества нашей части Вселенной.
4. Все основные характеристики звезд (размеры, светимость, энергетика, время «жизни» и конечные этапы эволюции) взаимозависимы и определяются значением массы звезд.
5. Звезды почти целиком состоят из водорода (70-80 %) и гелия (20-30 %); доля всех остальных химических элементов составляет от 0,1 % до 4 %.
6. В недрах звезд происходят термоядерные реакции.

7. Существование звезд обусловлено равновесием сил тяготения и лучевого (газового) давления.

8. Законы физики позволяют рассчитывать все основные физические характеристики звезд на основе результатов астрономических наблюдений.

9. Основным, наиболее продуктивным методом исследования звезд является спектральный анализ их излучения.

Дополнительный познавательный интерес возбуждается краткими историческими справками об исследовании звезд, цитировании ученых. Полезно зачитать обучаемым высказывания о познаваемости природы звезд: «Мы ничего не можем сказать о звездах, кроме того, что они существуют. Даже температура их навсегда останется неопределенной» (О. Конт, 1856) и «Нет ничего более простого, чем звезда» (А. Эддингтон, 1926) с указанием даты этих высказываний, и спросить, что они думают по этому поводу.

• Основные физические характеристики и классификация звезд

Звезды – тип космических тел, энергетика которых основана на термоядерных реакциях; пространственно-обособленные, гравитационно-связанные, непрозрачные для излучения массы вещества в интервале от 10^{29} до 10^{32} кг ($0,07–100 M_{\odot}$), в недрах которых происходят термоядерные реакции.

Проанализируем содержание определения понятия «звезда»:

- *пространственно-обособленные*: имеющие определенные пространственные границы, форму, размеры;

- *гравитационно-связанные*: силы тяготения связывают все частицы вещества звезды в единое целое;

- *непрозрачные для излучения*: электромагнитное излучение не может проникнуть сквозь звезду.

Семантический анализ словосочетания «термоядерные реакции» дает результат: *термо* + *ядерные*: происходящие при высоких температурах / с выделением тепла + в ядрах атомов / с ядрами атомов *реакции* процессы. Т.о.:

«Термоядерные реакции – это процессы, происходящие при высокой температуре с ядрами атомов (в атомных ядрах), сопровождающиеся выделением тепла (тепловой энергии)».

Из определения следует и то, что термоядерные реакции – частный случай ядерных реакций. К изучению ядерной физики вы сейчас приступаете. Напомните, из чего состоит атомное ядро? – из протонов и нейтронов. Протоны и нейтроны? – элементарные частицы. В число основных свойств элементарных частиц входят способности к:

1) взаимодействию, в результате которого частицы могут объединяться в обладающие определенными свойствами системы, называемые атомными ядрами;

2) взаимопревращению, в результате которого образуются новые виды частиц.

Значит, ядерные реакции мы можем рассматривать, как взаимодействие (взаимопревращение) элементарных частиц.

Термоядерные реакции – это процессы взаимодействия элементарных частиц, в ходе которых образуются атомные ядра.

Самые простые ядра атомов у химического элемента? (водорода). Ядро

атома водорода состоит из? (1 протона).

2 ядра атома водорода – 2 протона взаимодействуют между собой:

- гравитационными силами на больших расстояниях, т.к. обладают массами; поскольку их массы ничтожно малы, гравитационное взаимодействие между 2 даже близкими протонами во внимание принимать не будем;

- электромагнитными силами на больших расстояниях; обладая одноименным электрическим зарядом, они будут отталкиваться друг от друга;

- ядерными силами, притягиваясь на расстояниях менее 10^{-15} м.

- слабыми силами, отталкиваясь на расстояниях менее 10^{-18} м.

Для того чтобы сблизить протоны на расстояние около 10^{-15} м, нужно преодолеть растущие с уменьшением расстояния силы электромагнитного отталкивания. Это возможно при условиях, когда температура вещества достигает 10^7 К при давлении 10^{18} Па. Т.о. $T \geq 10^7$ К, $p \geq 10^{18}$ Па – граничные условия для протекания термоядерных реакций взаимодействия атомных ядер.

Такие условия достигаются в центре объектов с массой свыше 10^{29} кг.

Значит, 10^{29} кг – нижний предел массы звезд. Звезд с массой менее 10^{29} кг не может быть, поскольку температура и давление в недрах этих объектов будут недостаточны для протекания термоядерных реакций.

В каком агрегатном состоянии находится вещество в недрах звезд? При температуре 10^7 К это может быть лишь состояние плазмы – «вырожденного» вещества с полностью разрушенными атомами, плотной раскаленной смеси атомных ядер со свободными электронами.

Можем ли мы называть звезды «раскаленными газовыми шарами»? – нет, правильнее будет говорить, что звезда – это раскаленный плазменный шар.

С чем ассоциируется понятие «термоядерная реакция»? – с взрывом водородной бомбы. Любую звезду можно представить в виде сверхгигантской водородной бомбы, непрерывно взрывающейся миллионы и миллиарды лет. Почему же она не разлетается в космическом пространстве?

Вспомним, звезды – это «гравитационно-связанные»

объекты: сила тяготения связывает вещество звезды в единое

целое. Значит, на каждую частицу вещества звезды будут не-

прерывно действовать 2 силы: сила тяготения, направленная к

центру звезды, стремящаяся стянуть все вещество к центру

звезды, и «сила взрыва» – сила давления, направленная от

центра звезды, где происходят термоядерные реакции. Пока обе силы равны по ве-

личине и противоположны по направлению, звезда будет существовать в состоянии

равновесия.

Построим логическую цепочку:

Масса звезды возрастает \Rightarrow увеличивается сила тяготения в недрах звезды \Rightarrow это ведет к возрастанию температуры и давления в центре звезды \Rightarrow термоядерные реакции усиливаются \Rightarrow возрастает сила давления, компенсирующая силу тяготения.

Можем ли мы определить звезды как «естественные термоядерные реакторы с гравитационным удержанием плазмы»? – да.

Расчеты показывают, что в звезде с массой свыше 10^{32} кг силы давления станут превышать силы тяготения. Если при формировании звезды ее первоначаль-

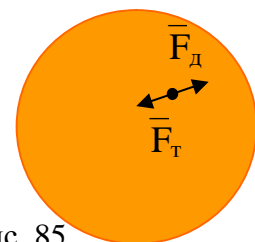


Рис. 85

чальная масса превышает 10^{32} кг, начавшиеся термоядерные реакции приведут к взрыву. Часть вещества «новорожденной» звезды (внешние оболочки) улетает, рассеивается в космосе. Масса звезды становится менее 10^{32} кг.

Значит, 10^{32} кг – верхний предел массы звезд. *Звезд с массой более 10^{32} кг не может быть, поскольку при этой массе термоядерные реакции усиливаются до критического значения, грозящего взрывом звезды.*

Значит, звезды сами регулируют свое состояние.

В старых и большинстве новых школьных учебников астрономии понятие «звезда» не определяется. Наше определение понятия «звезда» является сокращенным вариантом предложенного профессором В.В. Ивановым в 1992 г. и включенного в учебник Б.А. Воронцова-Вельяминова и Е.К. Страута:

***Звезды** – пространственно-обособленные, гравитационно-связанные, непрозрачные для излучения массы вещества в интервале от 10^{29} до 10^{32} кг ($0,07-100 M_{\odot}$), в недрах которых в значительных масштабах происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий.*

Мы считаем вторую половину этого определения не вполне удачной:

- *в значительных масштабах* – неясная качественная характеристика, порождающая вопрос: насколько значительны эти масштабы?;

- *происходили... термоядерные реакции*: значит, в число звезд надо включать и такие объекты, как черные дыры, образовавшиеся из самых массивных звезд;

- *будут происходить ... термоядерные реакции*: значит, в число звезд надо включать и будущие «зародыши» звезд – сгустки вещества туманностей;

- *термоядерные реакции превращения водорода в гелий*: идут 90 % времени жизни звезды, но на завершающих стадиях существования звезд сменяются другими (превращения гелия в углерод, кислород и т.д.).

Химический состав у всех нормальных звезд очень схожий: 70-75 % водорода, 25-30 % гелия, а на долю всех остальных химических элементов приходится от 0,1 % у самых старых звезд до 3 – 4 % у новорожденных звезд.

Размеры звезд колеблются в очень широких пределах: от тысяч до миллиардов километров. Гранатовая звезда *m* Цефея имеет диаметр 1,6 млрд. км; красный сверхгигант *e* Возничего А имеет размеры в $2700 R_{\odot}$ - 5,7 млрд км! Звезды-карлики Лейтена и Вольф-475 меньше Земли. Нейтронные звезды имеют размеры 10-15 км.

Быстрое вращение вокруг своей оси и притяжение близких массивных космических тел нарушает сферичность формы звезд, «сплющивая» их: звезда R Кассиопеи имеет форму эллипса, ее полярный диаметр составляет 0,75 экваториального; в тесной двойной системе W Большой Медведицы компоненты приобрели яйцевидную форму.

Средние плотности звезд изменяются в интервале от 10^6 г/см³ до 10^{14} г/см³ – в 10^{20} раз! Плотность звезд сверхгигантов в тысячи раз меньше плотности воздуха, а плотность нейтронных звезд такова, что 1 см³ их вещества имеет массу в тысячи тонн.

Температура видимой поверхности звезд составляет от 3000 К до 100000 К. Недавно открытая звезда под названием «Пистолет» (HD 93129А) из созвездия Кормы имеет температуру поверхности 220000 К! Самые холодные: Гранатовая звезда (*m* Цефея) и Мира (o Кита) имеют температуру 2300К, *e* Возничего А – 1600 К.

Одной из важнейших характеристик звезд является их светимость.

Что такое светимость с точки зрения физики? Определите это понятие через «ближайший род и видовое отличие». Вначале – «ближайший род»: что такое светимость – объект, явление, прибор?... Большая часть из вас считает, что светимость – это физическая величина. Но физическая величина никогда не существует сама по себе, она служит количественным выражением какой-то меры, характеристики, свойства какого-то объекта, явления, процесса. Поэтому всегда очень важно отделять меру каких-то свойств от физической величины как количественной характеристики этих свойств. Например, масса – это мера гравитационных и инертных свойств материальных объектов, которая характеризуется одноименной физической величиной, измеряемой в килограммах. Так что же такое светимость?

Светимость L – энергетическая характеристика источника электромагнитного излучения; мера энергии, испускаемой материальным объектом. Характеризуется одноименной физической величиной, численно равной количеству энергии, испускаемой объектом за единицу времени. Измеряется в Дж/с (Вт). Зависит от: 1) скорости выделения энергии; 2) размеров источника; 3) температуры поверхности источника. $L_* = 4\pi s R_*^2 T_*^4$, где R_* , T_* – радиус и температура источника излучения, $s = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ – постоянная Стефана-Больцмана.

Светимость звезд – количество энергии, излучаемое их поверхностью в единицу времени – зависит от скорости выделения энергии и определяется законами теплопроводности, размерами и температурой поверхности звезды. Измеряется в Дж/с (Вт) и в сравнении со светимостью Солнца ($L_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{26} \text{ Дж/с}$). Разность в светимости может достигать 250 000 000 000 раз! Звезды большой светимости называют звездами-гигантами, звезды малой светимости – звездами-карликами. Наибольшей светимостью обладает голубой сверхгигант – звезда Пистолет в созвездии Кормы – $10\,000\,000 L_{\odot}$! Светимость красного карлика Проксимы Центавра $0,000055 L_{\odot}$.

Познакомимся с классификацией звезд в зависимости от их основных физических характеристик, заполняя таблицу:

| Классы звезд | | Массы M_{\odot} | Размеры R_{\odot} | Плотность г/см^3 | Светимость L_{\odot} | Время жизни, лет | % общего числа звезд |
|---|--|----------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|
| Нормальные звезды, в недрах которых происходят термо- ядерные реакции | Сверхгиганты | 50–100 | 10^3 – 10^4 | 10^{-6} – 10^{-4} | 10^4 – 10^5 | 10^6 – 10^7 | 0,001 |
| | Гиганты | 10–50 | 10^2 – 10^3 | 10^{-4} – 10^{-3} | 10^3 – 10^4 | 10^7 – 10^8 | 0,01 |
| | Субгиганты | 5–10 | 10 – 10^2 | 10^{-3} – 10^{-1} | 10^2 – 10^3 | 10^8 – 10^9 | 0,1 |
| | Нормальные звезды главной последовательности | 0,1–5 | 0,1–5 | 0,1–10 | 10^{-4} –10 | 10^9 – 10^{11} | до 90 |
| Вырожденные звезды, в недрах которых тер- моядерные реакции уже прекратились | Белые карлики | 0,1–1,5 | 10^4 км | 10^6 – 10^8 | 10^{-4} | до 10^{17} | до 10 |
| | Нейтронные звезды | 1,5 – 3 | 10 км | 10^{13} – 10^{14} | 10^{-6} | до 10^{19} | 0,01–0,001 |

Все основные характеристики звезд неразрывно связаны между собой.

Наряду с классификацией звезд по их основным физическим характеристикам в астрономии используется классификация звезд по их спектрам.

Что такое спектр? Знания не только школьников, но и многих студентов колеблются от определения спектра как «цветной радужной полосы» до «разложения света на 7 основных цветов» и «разделения электромагнитных волн по длинам волн и частотам». Для правильного определения

понятия спектра задаем ученикам вопросы: «Можно ли разложить в спектр не только видимый свет, но и инфракрасное, ультрафиолетовое, радио и т. д. – любой другой участок шкалы электромагнитных волн?» (Да); «Можно ли представить в виде спектра звучание гитары? Мяуканье кота? Круги на воде от брошенного в воду камня?» (Да, любой колебательный процесс независимо от его природы может быть представлен в виде спектра); «Чем отличаются друг от друга соседние участки спектра: частотой? длиной волны? амплитудой? фазой? углом и степенью поляризации?» (Частотой, длиной волны и амплитудой). Ученики должны придти к выводу:

Спектр – это непрерывная последовательность амплитуд длин волн или частот, характеризующих данный колебательный процесс.

От чего зависит вид спектра источника электромагнитного излучения? (*от его температуры, химического состава, движения и т.д.*). Значит, на основе анализа спектра звезд можно определить все вышеперечисленные и многие другие физические характеристики звезд. Различия во внешнем виде спектров различных классов звезд будут свидетельствовать о различиях их физических характеристик.

Вспомним, что по спектру космических тел можно определить их:

1) температуру: согласно закону Вина: длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, обратно пропорциональна температуре тела: $\lambda = \frac{b}{T}$, где $b = 2,898 \cdot 10^{-3}$ м·К – постоянная Вина;

2) химический состав: сравнивая положение линий (полос) поглощения или излучения в спектре космического тела и эталонных спектрах различных химических элементов и соединений, ученые определяют качественный химический состав, а по яркости (интенсивности) линий и полос судят о количественном (процентном) содержании каждого элемента или соединения;

3) степень ионизации и состояния его вещества. По ширине спектральных линий можно судить о светимости космических тел;

4) наличие и мощность магнитных полей: по воздействию на электромагнитные волны излучения, в соответствии с эффектом Зеемана-Штарка каждая линия в спектре «расщепляется» на 2 или более линии-близнеца;

5) по спектру объектов, наблюдаемых как единое целое даже в мощнейшие телескопы можно установить: а) какие из них на самом деле являются системами космических тел; б) какие тела с какими характеристиками входят в эти системы: их спектры «накладываются» друг на друга;

б) характеристики движения: наличие и скорость вращения, направление и скорость перемещения в пространстве относительно наблюдателя, а в ряде случаев и расстояние до них.

По принципу Доплера для оптики, при сближении наблюдателя с источником излучения длины волн излучения укорачиваются (линии в спектре равномерно сдвигаются) в фиолетовую часть спектра; при удалении объекта спектральные линии сдвигаются в красную часть спектра.

Вращение космических тел обнаруживается по регулярному смещению линий в оба конца от среднего положения.

В астрофизике принята единая классификация звездных спектров. В зависимости от особенности спектров: наличия и интенсивности спектральных линий и полос, цвета звезды и температуры ее поверхности – все звезды разделены на классы, обозначаемые буквами латинского алфавита:

$$W - O - B - F - \begin{matrix} / C (= R - N) \\ G - K \text{ -----} M \\ \backslash S \end{matrix}$$

Каждый класс звезд разделяется на десять подклассов (A0...A9).

Запись основных спектральных классов легко запомнить из поговорки:
«Вообразите: один бедный англичанин финики жевал, как мартышка – разве не смешно?»

W — O — B — A — F — G — K — M R . N S

Спектральная классификация звезд

| Класс | Температура, К | Цвет | Типичные звезды |
|-------|----------------|------------------|--|
| W | до 100000 | голубые | S Золотой Рыбы |
| O | 25000 – 35000 | голубовато-белые | λ Ориона, λ Персея |
| B | 15000 – 25000 | бело-голубые | Спика (α Девы), Беллатрикс (γ Ориона) |
| A | 10000 | белые | Сириус (α Большого Пса), Вега (α Лирь), |
| F | 7500 | желтоватые | Проциона (α Малого Пса), α Персея |
| G | 6000 | желтые | Солнце, Капелла (α Возничего) |
| K | 4500 | оранжевые | Арктур (α Волопаса), Альдебаран (α Тельца) |
| M | 2000 – 3000 | красные | Бетельгейзе (α Ориона), Проксима Центавра |

Как по спектру звезды можно судить о ее температуре? – По цвету наиболее яркой части спектра. Кроме того:

Относительное количество химических элементов является функцией температуры: чем ниже температура звезды, тем больше линий в спектре этой звезды вы сможете наблюдать. В ярких спектрах голубоватых и белых звезд видны лишь редкие одинокие линии поглощения водорода и гелия. В спектрах желтоватых звезд к ним присоединяются линии поглощения кальция. С уменьшением температуры, в спектрах желтых звезд линии поглощения водорода и гелия постепенно слабеют и исчезают, зато становятся видны линии металлов. В тусклых спектрах оранжевых и, особенно, красных звезд – густой частокол линий поглощения металлов. В спектрах холодных красных звезд становятся видны черные полосы поглощения самых тугоплавких молекулярных соединений: окиси титана TiO, углерода C₂, окиси циркония ZrO и т.д.

• Определение физических характеристик звезд

Как ученые смогли узнать основные физические характеристики звезд: их массы, размеры, плотность, светимость и т.д. еще в середине XIX в.? Как они определяются в наше время? – ведь при наблюдениях с Земли мы можем исследовать лишь характеристики видимого движения, блеск и спектры звезд.

Проследим за рассуждениями и расчетами ученых:

1. Самый старый и самый точный геометрический метод определения космических расстояний основан на явлении параллактического смещения.

Земля вращается вокруг Солнца. Пусть в данный момент Земля находится в точке 1 своей орбиты, тогда положение произвольно выбранной звезды на небесной сфере можно обозначить цифрой 1'. Спустя полгода Земля переместится

в точку 2 своей орбиты, а выбранная нами звезда будет наблюдаться в положении 2'. Т.е. из-за обращения Земли вокруг Солнца все небесные светила будут описывать на небесной сфере крохотные эллипсы: и чем дальше космическое тело от Земли, тем меньше будут размеры их траекторий. Это явление называется **годовым параллаксом**.

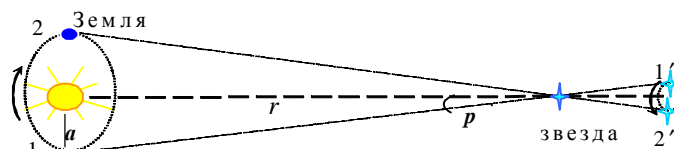


Рис. 86. Явление годового параллакса

Одноименное название носит предельный угол, на которой отклоняется светило от своего центрального положения для земного наблюдателя. С «инопланетной»

точки зрения это угол, под которым со светила виден радиус земной орбиты, перпендикулярный к лучу зрения.

Явление годового параллакса служит доказательством истинности гелиоцентрической теории: если Земля неподвижна, то звезды на небесной сфере в течение года тоже остаются на своих местах. Еще в Древней Греции ученые полагали, что явление годового параллакса способно сразу объяснить, что вокруг чего вращается: Солнце вокруг Земли или Земля вокруг Солнца! Однако параллакс ближайшей из звезд – Проксимы Центавра составляет всего 0,75'', а зоркость (разрешающая способность) человеческого глаза около 1' – почти в 100 раз хуже! Поэтому до изобретения телескопа, 182 год после смерти Коперника его гелиоцентрическая теория оставалась недоказанной (ее истинность подтвердили открытия г.ичной аберрации Дж. Брэдли в 1725 г.).

Измерение величины годового параллакса какой-либо звезды позволяет рассчитать расстояние до нее. Поскольку треугольник Земля-Солнце-звезда прямоугольный, и мы знаем длину катета a Земля-Солнце (1 а.е. или 149 млн км) и величину противолежащего угла p (причем для очень малого угла $\sin p \approx \operatorname{tg} p$), то расстояние от Земли до звезды: $r = \frac{a}{\sin p}$.

Поскольку значение параллакса удобнее выражать не в градусах, а в угловых секундах, формула расчета межзвездных расстояний примет вид: $r = \frac{206265''}{p''} a$.

Удобно ли нам выражать расстояния до звезд в километрах или даже астрономических единицах? Нет, ведь даже до ближайшей из звезд, Проксимы Центавра $r \gg 275\,000$ а.е.

Расстояние до звезд выражается в световых годах или в парсеках.

Световой год (св. г.) – расстояние, которое луч света в пустом пространстве преодолевает за 1 год $1 \text{ св. г.} = 9,463 \cdot 10^{15} \text{ м} = 63240 \text{ а.е.}$

Парсек (пк) – расстояние, с которого большая полуось земной орбиты, перпендикулярная лучу зрения, видна под углом в 1''. Расстояние в парсеках обратно величине годового параллакса в секундах дуги.

$1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3,26 \text{ св. г.} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м.}$

До удаленных звездных систем расстояния выражают в тысячах парсек – килопарсеках (кпк), до далеких галактик – в миллионах парсек – мегапарсеках (Мпк).

Однако параллактический метод измерения межзвездных расстояний применим лишь для звезд, удаленных от Солнечной системы на относительно

небольшие расстояния (до 100 св. лет); расстояние до более далеких космических объектов определяется иными способами (о них будет сказано дальше).

2. Поскольку звезды находятся на разных расстояниях от Земли, то по их видимому блеску сложно судить об их истинных размерах, температуре, светимости.

Поэтому для сравнения энергетических характеристик космических объектов, находящихся на разных расстояниях друг от друга было введено понятие абсолютной звездной величины.

Абсолютная звездная величина (M) – блеск, которым бы обладало светило, находящееся на расстоянии 10 парсек от Земли: $M = m + 5 + 5 \lg p$ $M = m + 5 - 5 \lg r$.

Абсолютная звездная величина Солнца $+4,96^m$. Наше Солнце на расстоянии 10 пк от Земли было бы едва заметной слабой звездочкой на грани видимости невооруженным глазом.

Абсолютная звездная величина ярчайших звезд-сверхгигантов около -10^m .

Абсолютная звездная величина планет ничтожно мала (менее $+20^m$) и поэтому даже в мощнейшие телескопы планеты как отдельные светила не наблюдаются даже у самых близких звезд.

Абсолютная звездная величина космического объекта неразрывно связана с его светимостью: $L = 2,512^{5-M}$, $\lg L = 0,4 \cdot (5 - M)$.

Можем ли мы, зная светимость звезды, вычислить ее абсолютную звездную величину? (да). Можем ли мы, зная абсолютную звездную величину звезды, вычислить расстояние до нее? (да).

Познакомимся с еще одним способом измерения межзвездных расстояний. «Новорожденные» звезды пульсируют, периодически сжимаясь и расширяясь на 10-50 %; причем при сжатии температура их поверхности ... (увеличивается), а при расширении... (уменьшается). Выделяют несколько классов пульсирующих звезд: желтоватые солнцеподобные называются цефеидами, белые и голубые гиганты – лиридами и т.д. Между периодом колебаний и светимостью этих пульсирующих звезд есть зависимость, определяемая простыми формулами. Можем ли мы по изменению видимого блеска звезды определить период ее колебаний (да), а затем по соответствующим формулам вычислить сначала светимость и абсолютную звездную величину этих звезд, а потом – расстояние до них? (да).

3. Светимость звезды как раскаленного тела связана с ее размерами (площадью излучающей поверхности) и температурой:

По закону Стефана-Больцмана энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры: $\mathfrak{R} = s \cdot T^4$, где $s = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴ – постоянная Стефана-Больцмана. Поскольку звезды излучают в очень широком диапазоне длин волн электромагнитного излучения, мы можем использовать эту формулу для расчета характеристик звезд. Однако понятия «энергетической светимости абсолютно черного тела» \mathfrak{R} и светимости звезды L неравнозначны, $\mathfrak{R} \neq L$.

$\mathfrak{R} = \frac{\Phi}{S}$, где Φ – световой поток, полное количество энергии, излучаемой поверхностью источника света, а S – площадь излучающей поверхности. Но, по известному вам определению, «светимость звезды – это полное количество

энергии, излучаемой звездой в единицу времени», значит $\Phi = L$!

Тогда: $\frac{L}{S} = s \cdot T^4$. Поскольку звезды имеют форму шара, то $S = 4\pi R^2$

Значит, $\frac{L}{4\pi R^2} = s \cdot T^4$. В нашей формуле связаны 3 параметра звезды: ее размеры (радиус R), температура и светимость.

Теперь мы можем, зная размеры и светимость звезд, рассчитывать их температуру: $T = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi R^2 s}}$.

4. Однако температуру звезд мы можем вычислять и по закону Вина: $\lambda = \frac{c}{T}$, где $c = 2,898 \cdot 10^{-3}$ м·К – постоянная Вина.

5. Выведем формулу для расчета размеров звезд по сравнению с размерами Солнца. Поскольку для произвольной звезды $\frac{L_*}{4\pi R_*^2} = s \cdot T_*^4$, а

для Солнца $\frac{L_\odot}{4\pi R_\odot^2} = s \cdot T_\odot^4$, то

$$\frac{L_*}{L_\odot} = \left(\frac{T_*}{T_\odot}\right)^4 \cdot \left(\frac{R_*}{R_\odot}\right)^2 \quad \text{Следовательно,}$$

$$\frac{R_*}{R_\odot} = \sqrt{\frac{L_* \cdot T_\odot^4}{L_\odot \cdot T_*^4}}$$

6. Масса звезды тоже связана с ее светимостью: $\frac{L_*}{L_\odot} \approx \left(\frac{M_*}{M_\odot}\right)^4$, $M_* = M_\odot \sqrt[4]{\frac{L_*}{L_\odot}}$.

Так в середине XIX в. астрономы научились определять физические характеристики звезд по данным их наблюдений. К началу XX в. накопилось очень много данных о десятках тысяч звезд. Это позволило построить графики и диаграммы, выражающие взаимную связь между основными физическими характеристиками звезд.

Оставалось связать между собой основные классификации звезд: по их главным физическим характеристикам и по спектрам. Это сделали в 1912 г. американец Э. Рассел и датчанин Э. Герцшпрунг. На основе данных о тысячах звезд они построили диаграмму «спектр-светимость»: на оси абсцисс указаны спектральные классы звезд (и соответствующие им температуры), на оси ординат – абсолютные звездные величины (светимость) звезд.

В верхнем углу диаграммы разместилась область звезд-сверхгигантов, ниже ее – звезды-гиганты. Их оказалось очень и очень мало – менее 0,1 % от общего числа звезд.

90 % точек-звезд легли на кривую линию, протянувшуюся из левого верхнего в правый нижний угол диаграммы. Эта линия получила название «главной

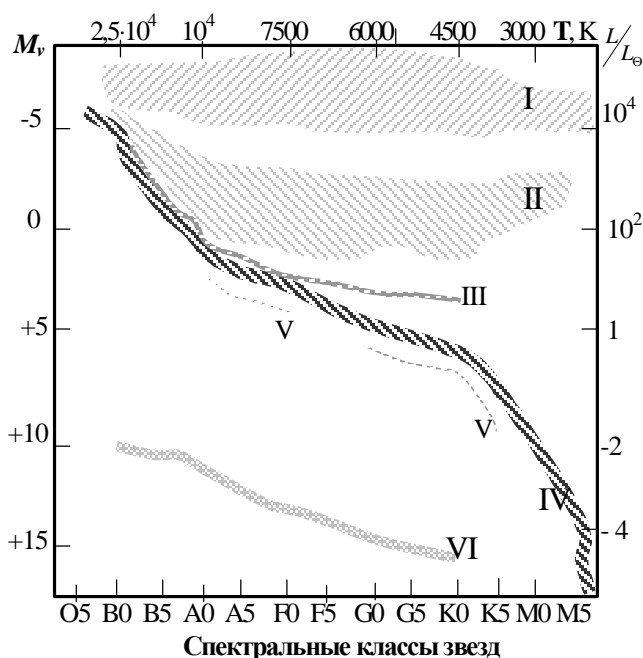


Рис. 87. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела: Последовательности: I – сверхгигантов, II – гигантов, III – субгигантов, IV – главная последовательность, V – субкарликов, VI – белых карликов

последовательности»: поэтому говорят, что большинство нормальных звезд с массами, близкими к массе Солнца, являются «звездами главной последовательности». Рядом с ней – тоненькие прерывистые линии звезд-субгигантов и звезд-субкарликов. Ниже «главной последовательности» около 10 % наблюдаемых звезд образовали линию-последовательность белых карликов.

Довольно быстро астрономы поняли, что диаграмма Герцшпрунга-Рессела имеет эволюционный характер: на ней можно отобразить весь «жизненный путь» – «трек» – звезды, от ее рождения до смерти.

Еще один способ измерения космических расстояний: можем ли мы по спектру звезды при помощи диаграммы Герцшпрунга-Рессела определить ее абсолютную звездную величину (светимость)? (да). Сможем ли мы затем вычислить расстояние до этой звезды? (да). Так, наблюдая ярчайшие сверхгиганты в близких галактиках, яркие звезды и цефеиды в звездных скоплениях, астрономы выясняют расстояние до этих космических объектов.

Диаграммы «спектр-светимость», «масса-светимость», «размер-светимость» и т.д. позволяют нам оценить основные характеристики звезд, не прибегая к долгим утомительным вычислениям:

Рис. 88. Зависимость "масса - светимость"

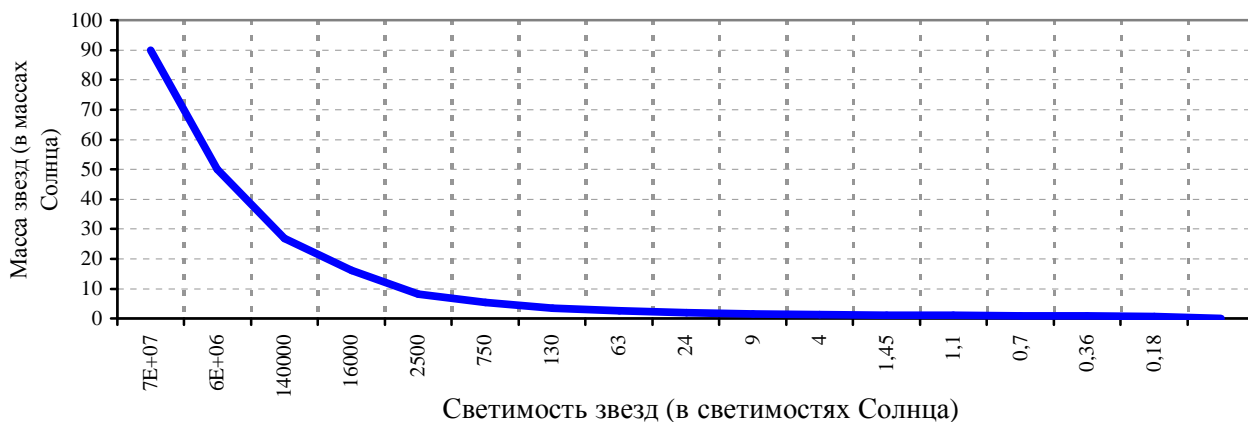


Рис. 89. Зависимость времени жизни звезд от их массы



Задание на дом:

1. Составить план-конспект урока «Звезды». В дальнейшем студенты готовят планы-конспекты уроков по всему курсу школьной астрономии. Наличие планов-конспектов становится условием допуска к курсовому экзамену.
2. Составить алгоритмы работы с основными звездными диаграммами.

Звезды: рождение, жизнь и смерть

Космические процессы образования звезд, планетных тел и других космических объектов неразрывно связаны с эволюцией космической среды.

Космическая средой называется материя, заполняющая все пространство нашей части Вселенной.

В состав космической среды входят: 1) атомы и молекулы химических элементов: водорода (70-75 %), гелия (25-30 %) и более тяжелых веществ (от 0,1 % до 2,5 % в разных уголках Вселенной); 2) элементарные частицы: протоны, электроны, нейтрино и т.д.; 3) электромагнитное излучение (причем на 1 протон приходится около 10^8 фотонов; говорят, что наша часть Вселенной погружена в «фотонный газ», близкий по свойствам к идеальному газу).

Масса каждой отдельной частицы космической среды ничтожно мала, но общая масса всей видимой составляющей космической среды в нашей части Вселенной составляет около 5 % массы всего наблюдаемого вещества.

В зависимости от плотности космической среды выделяют:

- 1) межгалактическую среду, самую разреженную: всего 1-2 частицы в см^3 пустого пространства;
- 2) межзвездную среду со средней плотностью около 10 частиц/ см^3 ;
- 3) межпланетную среду с плотностью 10^2 - 10^4 частиц/ см^3 .

В результате воздействия внутренних и внешних гравитационных полей, электромагнитного излучения космических объектов и собственного движения частиц космической среды в ней возникают сгущения – космические туманности.

Туманности – тип космических тел, представляющих собой гравитационно-связанные сгущения космической среды – облака космического газа и пыли массой $10^{29} - 10^{36}$ кг ($0,1$ - $10^6 M_{\odot}$).

В зависимости от массы, размеров и плотности выделяют следующие классы туманностей:

Галактические молекулярные облака (ГМО) массой $10^{35} - 10^{36}$ кг (10^5 - $10^6 M_{\odot}$), размерами 10^3 - 10^4 св. лет и плотностью вещества 10-100 частиц/ см^3 .

В недрах ГМО наблюдаются более плотные диффузные газо-пылевые туманности массой $10^{34} - 10^{35}$ кг (10^4 - $10^5 M_{\odot}$), размерами 10^2 - 10^3 св. лет и плотностью вещества 10^2 - 10^3 частиц/ см^3 .

Диффузные газо-пылевые туманности условно подразделяют на светлые «газовые» и «темные «пылевые». На самом деле в составе всех туманностей пыли очень мало: до 1 %. Светлые туманности освещаются изнутри или снаружи горячими юными звездами. Вблизи (и внутри) темных туманностей звезд нет и мы наблюдаем их как тем-

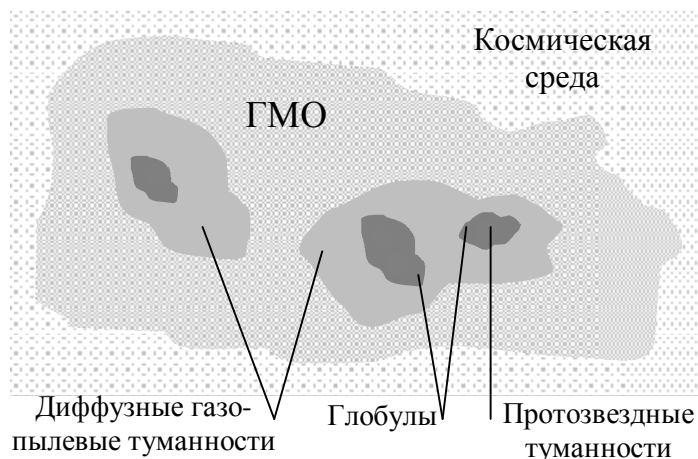


Рис. 90. Космическая среда и туманности

ные пятна на фоне далеких звезд.

Под действием ультрафиолетового излучения близких звезд в холодных газо-пылевых туманностях при температуре всего 20-50 К происходят химические реакции. Возникают молекулярные соединения: от простейших молекул водорода H_2 , гидроксидов OH , HO , водяного пара H_2O , угарного газа CO до сложных неорганических и органических соединений: ароматических гидроуглеродов (пирен, нафталин), кислот (муравьиная, уксусная), спиртов (этиловый, диметиловый) и т.д. вплоть до 100 разновидностей нуклеиновых кислот (а на Земле жизнь основана всего на четырех аминокислотах). Так, еще на стадии формирования планетных тел из остатков вещества протозвездных туманностей на поверхности и в атмосферах планет присутствует множество органических и неорганических соединений, которые могут стать основой для возникновения жизни. В разреженных газо-пылевых туманностях наблюдаются небольшие темные сгущения – глобулы массой $10^{33} - 10^{34}$ кг ($10^3 - 10^4 M_{\odot}$), размерами от 10 до 100 св. лет и плотностью вещества $10^3 - 10^4$ частиц/см³.

Внутри глобул прячутся мелкие плотные протозвездные туманности массой $10^{29} - 10^{33}$ кг ($0,1 - 10^3 M_{\odot}$), размерами от 0,1 до 1 св. г. и плотностью вещества свыше $10^4 - 10^5$ частиц/см³.

Протозвездные туманности сжимаются под действием сил тяготения. В их центрах идут бурные процессы образования звезд и планетных тел.

В зависимости от начальной массы туманности в ней образуются:

- 1) При общей массе туманности $10^{32} - 10^{35}$ кг ($10^2 - 10^5 M_{\odot}$) – звездные ассоциации и скопления из десятков и сотен звезд.
- 2) В отдельных сгущениях туманности массой $10^{30} - 10^{32}$ кг ($1 - 10^2 M_{\odot}$) формируются отдельные звезды и небольшие звездные системы из 2-10 звезд.
- 3) Из вещества мелких сгустков туманностей массой $10^{27} - 10^{29}$ кг ($0,001 - 0,1 M_{\odot}$) формируются коричневые карлики, планетные тела и системы.

Вопрос: Свыше 10 миллиардов лет назад в нашей части Вселенной было много колоссальных газовых туманностей массой $10^{42} - 10^{46}$ кг ($10^{12} - 10^{16} M_{\odot}$). В настоящее время их нет: из их вещества образовались гигантские звездные системы – галактики, состоящие из десятков и сотен миллиардов звезд. Откуда ученые узнали об их существовании? Могут ли они наблюдать процессы образования галактик?

Рассмотрим процесс формирования звезды.

Во Вселенной нет двух абсолютно одинаковых звезд, как на Земле нет и не может быть двух одинаковых людей. Качества личности чело-в. определяют-ся его родителями, средой и условиями рождения и воспитания. Так и будущее звезды определяется характеристиками ее «мамы»-туманности и условиями образования.

Свойства рождающейся звезды будут зависеть от массы туманности, формы, скорости вращения вокруг своей оси, распределения плотности, химического состава, магнитного поля и других параметров. Чем больше начальная масса протозвездного облака, тем быстрее в нем образуются звезды: при начальной массе $0,1 M_{\odot}$ процесс займет свыше 1 миллиарда лет, при массе $100 M_{\odot}$ – менее 1 миллиона лет.

1. Пусть протозвездная туманность круглая, с равномерным распределением вещества по всему объему не вращается вокруг оси и не имеет магнитного поля (рис. 91). Начальная масса протозвездного облака равна массе Солнца при размерах около 0,1 св. г. Оно состоит из молекулярного водорода при температуре вещества около 20 К.

2. Облако сжимается под действием сил тяготения: сначала медленно, потом все быстрее и быстрее. Вскоре после начала сжатия плотность в облаке становится неоднородной, сильно увеличиваясь к центру. Скорость движения частиц к центру облака постепенно возрастает: от 1 м/с на краю до 1 км/с в центральной области. Там за 250 тыс. лет формируется теплое (свыше 200 К) и сравнительно плотное ядро массой свыше 0,005 M_{\odot} .

Скорость уплотнения ядра начинает уменьшаться: при нагревании газ расширяется. Растущая сила давления газа противодействует силе гравитационного сжатия. Однако вещество ядра поглощает все тепловое излучение, возникающее при сжатии газа, и поэтому ядро нагревается все сильнее и сильнее.

3. Когда температура вещества в ядре поднимется до 2000 К, начнется распад молекул водорода и ионизация атомов. Давление газа в центре ядра резко уменьшается. Центральная часть ядра сжимается в сотни раз. Она превращается в протозвезду с температурой поверхности 3000 К. При резком сжатии ядра вокруг него в веществе протозвездного облака распространяется ударная волна. Потoki излучения протозвезды тормозят и отбрасывают назад частицы вещества протозвездного облака, не успевшие упасть на поверхность протозвезды. Поэтому масса «новорожденной» звезды всегда меньше массы «родительской» туманности: из облака массой 100 M_{\odot} получается звезда массой 50 M_{\odot} ; из облака массой 1 M_{\odot} возникает звезда массой 0,8 M_{\odot} .

4. Протозвезда медленно сжимается до тех пор, пока температура и давление в ее центре не достигнут «критического значения» в 10^7 К при 10^{18} Па, при которых начнутся термоядерные реакции превращения водорода в гелий. В

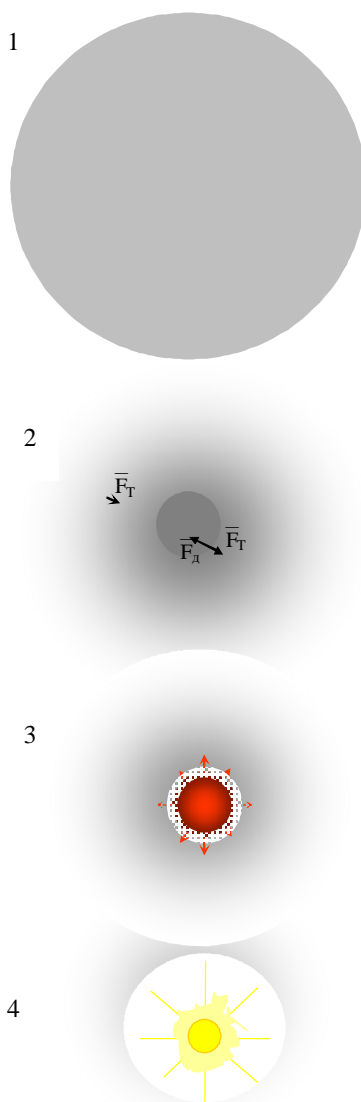


Рис. 91

Эволюция протозвездных туманностей с однородным и неоднородным распределением вещества:

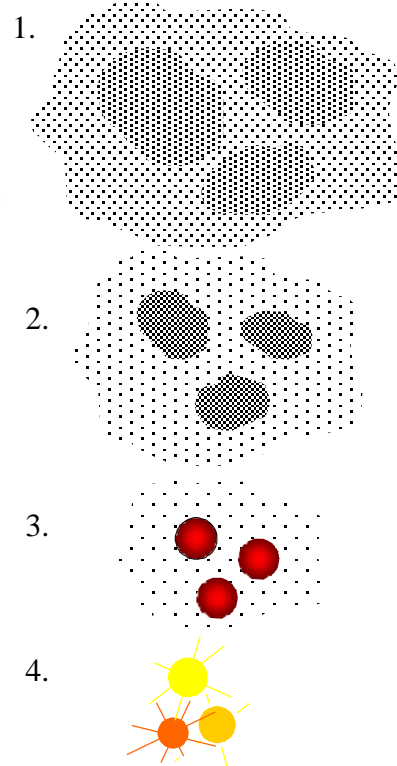


Рис. 92

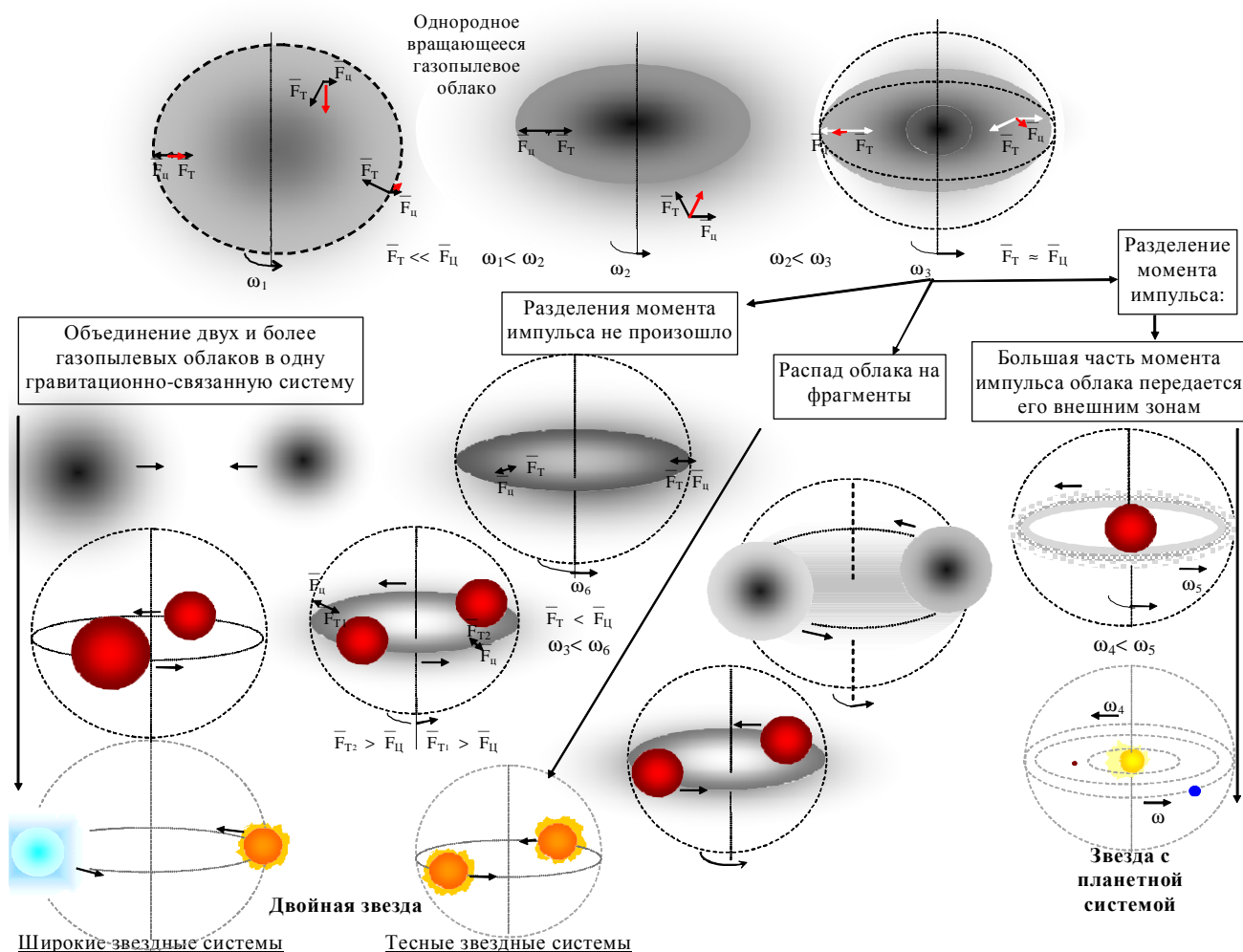
недрах звезды устанавливается равновесие между силами гравитационного сжатия и лучистого давления.

Это – редкий, «идеальный» случай рождения звезд: так возникает менее 1/1000 звезд, белые и голубые гиганты. Ведь обычно протозвездные облака имеют произвольную форму, вещество в них распределено неравномерно, они вращаются вокруг своей оси и обладают магнитным полем. Какие звезды рождаются в этом случае?

1. Протозвездное облако неоднородно по плотности: в нем есть несколько сгущений вещества (рис. 92, (1)). Они будут сжиматься под действием сил тяготения, притягивая к себе вещество из окружающего пространства (рис. 92, (2, 3)). Образуется система из нескольких звезд, коричневых карликов и/или планет-гигантов (рис. 92, (3)).

2. Протозвездное облако вращается вокруг своей оси (рис. 92, (4)). На каждую частицу вещества облака будут действовать 2 силы: сила тяготения, направленная к центру облака, и центробежная сила, направленная перпендикулярно оси вращения облака. Туманность будет не только сжиматься, сгущаясь к центру, но и «сплющиваться». Через несколько сотен тысяч (миллионов) лет образуется протозвездный диск со сгущением в центре толщиной в 1/10 от своего диаметра.

Рис. 93. Формирование звезд и звездных систем



Дальнейшая его судьба будет зависеть от скорости вращения, наличия магнитного поля, движения потоков вещества в диске и других причин:

а) Чем больше сжимается диск, тем быстрее вращается и тем больше становится значение центробежной силы. Она начинает превышать силу гравитации. Центральная часть облака медленно «рассасывается».

Образуется газопылевой тор (кольцо, «бублик») с наибольшей плотностью вещества там, где центробежная и гравитационная силы уравниваются друг друга. Поскольку вещество в кольце распределяется не идеально равномерно, то через десятки тысяч лет в нем возникнут два, реже три и более, уплотнения вещества. Они притягивают к себе окружающий газ и сжимаются под действием сил гравитации. Спустя 50 000 лет они превратятся в протозвезды, а потом – в звезды, вращающиеся вокруг общего центра масс. Так возникают тесные двойные и кратные системы звезд.

В нашей Галактике от 50 до 70 % звезд входит в двойные системы. 10 % звезд являются компонентами кратных систем, состоящих из 3-10 звезд.

б) При сжатии протозвездного диска под действием усилившегося магнитного поля, за счет вихревых движений частиц в облаке или по другим причинам происходит разделение момента импульса вещества.

Внутренняя, наиболее массивная и плотная часть протозвездного диска передает свой момент количества движения веществу на его окраине. При этом ядро протозвездного диска резко тормозит свое вращение, увеличивает за счет трения свою температуру и быстро превращается в протозвезду.

Внешние, периферийные области диска раскручиваются все сильнее и сильнее. Они «сплющиваются» в плотный и тонкий, толщиной в 1/1000 диаметра, протопланетный диск.

В нем возникают сгущения вещества, притягивающие частицы газа и пыли из окружающего пространства. Спустя сотни тысяч лет они превращаются в зародыши планет – планетезимали и, далее, в планеты.

Так образуются обладающие планетными системами одиночные желтые, оранжевые и красные звезды.

Рассмотрим процесс **эволюции звезд**.

Известный советский астрофизик И.С. Шкловский писал:

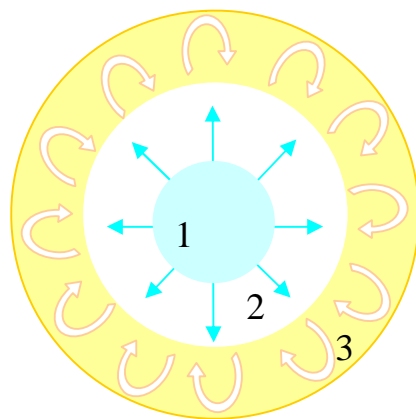
«История существования любой звезды – это поистине титаническая борьба между силой гравитации, стремящейся ее неограниченно сжать, и силой газового давления, стремящейся ее «распылить», рассеять в окружающем межзвездном пространстве. Многие миллионы и миллионы лет длится эта «борьба». В течение этих чудовищно больших сроков эти силы равны. Но в конце концов.. победа будет за гравитацией...».

На каждую частицу вещества звезды действуют 2 силы: сила тяготения, направленная к центру звезды, и сила лучевого (газового) давления, направленная от центра звезды. Обе силы ... (*равны по величине и противоположны по направлению*). Пока они уравниваются друг друга, звезда будет жить, светить. Если это равновесие нарушается, звезда гибнет или переходит на другую стадию своего развития. Во внутреннем строении всех звезд мы можем выделить 3 основные зоны (оболочки): 1) ядро, в котором происходят термоядерные реакции (1); 2) зону лучистого переноса (2), в которой энергия ядра передается наружу путем последовательного поглощения и переизлучения квантов элек-

ромагнитной энергии; 3) зону конвекции (3), в которой энергия передается наружу при конвективном движении раскаленного вещества. Внутри Солнца размеры этих зон одинаковы: на 1/3 радиуса Солнца от центра простирается ядро, еще на 1/3 – зона лучистого переноса и еще на 1/3 – зона конвекции.

Если звезда имеет массу больше, чем Солнце, то температура и давление в ее центре будут ... (*больше*); значит, ядро будет ... (*больше*), а зона лучистого переноса ... (*меньше, чем ядро*), а зона конвекции ... (*еще меньше*).

Белые звезды имеют очень большие ядра, занимающие более 2/3 объема звезды, тонкие зоны лучистого переноса и совсем тоненькие зоны конвекции. У бело-голубых, голубоватых звезд зоны конвекции вовсе отсутствуют: есть только огромные ядра и тоненькие-тоненькие зоны лучистого переноса. У голубых звезд нет и зон лучистого переноса: вся звезда представляет собой одно пышущее жаром гигантское ядро.



Если звезда имеет массу меньше, чем Солнце, то температура и давление в ее центре будут ... (*меньше*); значит, ядро будет ... (*меньше*), зона лучистого переноса ... (*больше, чем ядро*), а зона конвекции ... (*еще больше*).

Красные звезды имеют очень маленькие ядра, большие зоны лучистого переноса и огромные зоны конвекции, во много раз превышающие размеры ядра.

В ходе термоядерных реакций в ядре звезды ядра атомов водорода ... (*превращаются в ядра атомов гелия*). Будут ли образовавшиеся ядра гелия участвовать в термоядерных реакциях? (*нет, т.к. температура и давление для этого недостаточны*). Куда они денутся, что с ними будет происходить? (В случае затруднения рассуждений задаем вопрос: что тяжелее: водород или гелий?) (*Гелий будет скапливаться в центре звезды*). В центре ядра звезды образуется растущее гелиевое ядрышко (4).

Какое вещество обладает большей плотностью: водород или гелий? (*гелий*). Что будет происходить с объемом ядра звезды, в котором все больше водорода превращается в гелий? (*объем ядра будет уменьшаться*). Значит, ядро будет... (*сжиматься*). Где сосредоточена основная масса звезды? (*в ее ядре*).

Если ядро сжимается, то расстояние от ядра до внешних оболочек звезды будет... (*увеличиваться*). Значит, сила тяготения со стороны ядра по отношению к внешним оболочкам будет ... (*уменьшаться*). Что будет происходить с внешними оболочками звезды? (*они будут удаляться от ядра*). Значит, для внешнего наблюдателя звезда будет ... (*расширяться*).

Если ядро звезды сжимается, то температура и давление в нем будут... (*нарастать*). Значит, термоядерные реакции будут ... (*усиливаться, идти все интенсивнее*), водород будет превращаться в гелий ... (*все быстрее и быстрее*). Энергии в ядре будет выделяться ... (*все больше и больше*).

Если энергии в ядре звезды выделяется больше и она увеличивается по размерам, то ее светимость будет ... (*увеличиваться, нарастать*).

С другой стороны, звезда расширяется... (*все быстрее и быстрее*). Ее размеры увеличиваются в десятки, а затем и в сотни раз. Значит, на единицу площади поверхности звезды энергии будет приходиться ... (*все меньше и меньше*). Температура ее будет ... (*уменьшаться*).

Как изменится цвет звезды? Вспомните закон Вина. Белая звезда будет ... (*сначала «желтеть», а затем «краснеть»*).

Таким образом, на завершающих этапах своей эволюции звезда: 1) увеличивается по размерам в сотни раз; 2) ее температура уменьшается до 2000-3000К; 3) звезда приобретает красный цвет.

Эти звезды называют красными гигантами.

У наиболее массивных звезд в конце их жизни размеры увеличиваются в тысячи и десятки тысяч раз. Такие звезды называют красными сверхгигантами.

Рассмотрим соответствующие этапы эволюции Солнца и Солнечной системы:

4,5 млрд лет назад размеры и светимость молодого Солнца были на 30 % ниже современных. Соответственно меньше были и размеры Солнечной системы, Земля была гораздо ближе к Солнцу.

На протяжении миллиардов лет за счет излучения света и потоков элементарных частиц масса Солнца ... (*уменьшается*), а солнечное ядро ... (*сжимается*). Сила притяжения планет к Солнцу... (*слабеет, уменьшается*) и они постепенно ... (*удаляются от Солнца*). Но в то же время интенсивность термоядерных реакций в недрах Солнца ... (*растет*), его размеры ... (*увеличиваются*) и светимость ... (*возрастает*).

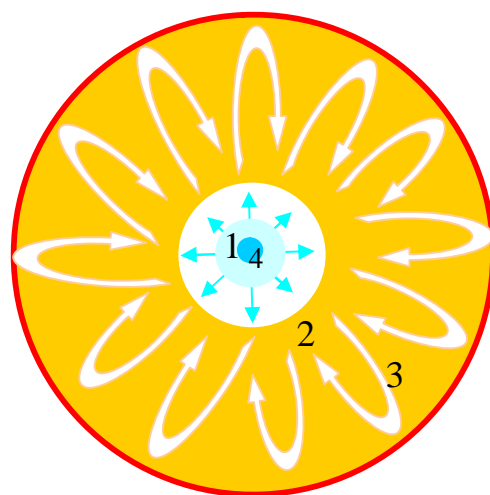
Таким образом, несмотря на постепенное удаление Земли от Солнца, количество солнечной энергии, падающей на земную поверхность – «солнечная постоянная» – практически не изменяется за все 4,5 млрд, лет существования Солнечной системы.

Однако светимость Солнца возрастает все быстрее и быстрее. В предстоящие 1,1 млрд лет яркость Солнца возрастет на 10 %.

В результате глобального повышения температуры в атмосфере Земли увеличится содержание водяных паров. Усилится парниковый эффект, дополнительно нагревающий поверхность Земли. Это будет способствовать испарению океанов. Количество воды на нашей планете будет постепенно уменьшаться.

Спустя еще 2,4 миллиарда лет светимость Солнца возрастет еще на 30 %. Мощный парниковый эффект вызовет полное испарение всех морей и океанов. Земля превратится в подобие современной Венеры. Существование всех современных форм жизни на Земле станет невозможным.

Постепенно, на протяжении последующих 1,3 миллиарда лет Солнце медленно расширится более чем в 170 раз, поглотит Меркурий и превратится в красный гигант.



Что происходит со звездами на заключительных стадиях эволюции, когда весь водород в их ядрах превращается в гелий? Они умирают.

Но смерть звезды принимает различные формы в зависимости от массы самой звезды, массы ее ядра, скорости вращения, магнитного поля и других параметров. На протяжении жизни звезды ее масса может очень сильно изменяться, иногда – в десятки и сотни раз, но масса ядра звезды почти не изменяется.

Самые «легкие» звезды – красные карлики с массой до $0,5 M_{\odot}$ при массе ядра до $0,1 M_{\odot}$ живут очень долго – до ста миллиардов лет. По мере уменьшения концентрации водорода в ядре термоядерные реакции в нем медленно угасают. Звезда превращается в черный карлик, постепенно остывающий сотни миллиардов лет. Сила тяготения в недрах бывшей звезды уравнивается давлением остывающего ионизированного газа. Ход эволюции прост:

Красный карлик главной последовательности ($M \leq 0,5 M_{\odot}$ при $M_{\text{я}} \leq 0,1 M_{\odot}$)

æ Черный карлик

Эволюция более массивных звезд имеет более сложный характер.

Когда концентрация водорода в ядре звезды снижается до 1 %, термоядерные реакции прекращаются. Сила лучистого давления ... (*исчезает*). Под действием силы тяготения ядро звезды будет резко ... (*сжиматься*). При этом температура и давление в веществе сжимающегося ядра будут ... (*повышаться*).

При быстром сжатии ядра вокруг него в веществе звезды распространяется ударная (взрывная) волна. Она стремится отбросить (сбросить) внешние оболочки звезды в окружающее пространство. Если масса ядра была меньше $0,5 M_{\odot}$, то сила его тяготения не сможет удержать вещества разлетающихся оболочек.

Если масса ядра звезды была больше $0,5 M_{\odot}$, то силы тяготения смогут удержать внешние оболочки от разлета. Масса звезды не изменится. Ядро будет сжиматься до тех пор, пока температура при соответствующем давлении не возрастет до 200 миллионов кельвин. Тогда в центре ядра начнут протекать новые термоядерные реакции: ядра атомов гелия превращаются в ядра атомов углерода: ${}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^8\text{Be} + g$; ${}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + g$.

По мере «сгорания» гелия ядро продолжает сжиматься, температура и давление в ядре растут. Когда температура в центре звезды превысит 1 миллиард кельвин, в нем начнутся термоядерные реакции превращения углерода в кислород, кислорода – в неон и т. д.: ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O} + g$; ${}^{16}\text{O} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{20}\text{Ne} + g$.

Если температура и давление в центре звезды растут, термоядерные реакции будут идти ... (*интенсивнее, быстрее*). Значит, на каждый последующий цикл термоядерных реакций времени будет уходить ... (*все меньше и меньше*).

Термоядерные реакции превращения водорода в гелий занимают 90 % времени жизни звезды; термоядерные реакции превращения гелия в углерод – до 10 % времени жизни звезды; термоядерные реакции «горения» углерода – менее 1 % времени, последующие реакции идут все быстрее и быстрее...

Каждый раз при переходе от одного цикла термоядерных реакций к новому, еще более мощному, вокруг ядра в веществе звезды распространяется все более сильная ударная волна, стремящаяся сорвать ее внешние оболочки. Если это ей удастся – произойдет взрыв, который астрономы называют **вспышкой Новой** звезды.

За несколько дней светимость гибнущей звезды возрастет до 400 000 раз! –

и остается такой на нескольких недель или месяцев. Поскольку до вспышки такие звезды часто были не видны невооруженным глазом, то для древних астрономов это явление выглядело появлением на небе нового яркого светила. Но на самом деле это не рождение, а смерть звезды...

Отброшенные взрывом газовые оболочки расширяются со скоростью до 1000 км/с. Они образуют **планетарную туманность** размерами до нескольких световых лет. Они содержат в своем составе не только водород, но и много гелия, кислорода и азота, образовавшегося в звездном ядре. Планетарная туманность светится за счет энергии взрыва и медленно рассеивается в космическом пространстве.

Бывшее ядро звезды сжимается до тех пор, пока давление плотностью ионизированного газа не уравнивает силу тяжести. Оно превращается в **белый карлик** – «вырожденную звезду» с температурой около 10 000 К и диаметром менее 10 000 км ($R < 0,007 R_{\odot}$). Масса белого карлика почти равна массе ядра бывшей звезды. Поэтому средняя плотность вещества белых карликов очень велика – до 10^6 г/см³ – в тысячи раз больше, чем у металлов. Кубический сантиметр вещества белого карлика имеет массу около 1 тонны! Однако температура и давление в центре белых карликов будут недостаточными для протекания термоядерных реакций. Излучение белых карликов происходит за счет «запасенной» энергии, причем излучают не электроны, а атомные ядра (при переходе с одного энергетического уровня на другой). Они взаимодействуют между собой, образуя подобие кристаллической решетки. В ее узлах находятся атомные ядра, а в промежутках между ними «шныряют» свободные электроны. На что это похоже? (*на строение металлов*). Значит, внутреннее состояние вещества белых карликов можно описывать при помощи... (*электронной теории*).

Время существования – медленного остывания белых карликов с превращением их в холодные черные карлики составляет сотни триллионов лет.

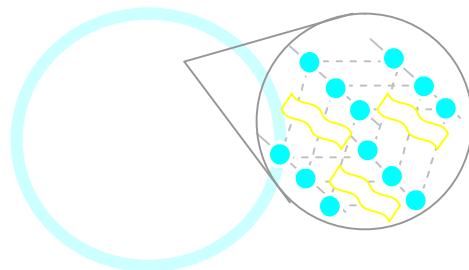
Смерть звезды может быть «тихой» и постепенной, без вспышки Новой.

Когда размеры звезды увеличатся в тысячи раз, она превращается ... (*в красный сверхгигант*).

Могут ли слабеющие силы гравитации удерживать вещество расширяющихся внешних оболочек от постепенного рассеивания в космосе? (*нет*). Значит, красный сверхгигант будет «испаряться» в космосе, теряя вещество тем быстрее, чем больше будут становиться его размеры. За миллионы лет звезда теряет большую часть своей начальной массы. Уменьшение массы звезды приведет к ... (*ослаблению действия сил гравитации, уменьшению температуры и давления в ядре*). Термоядерные реакции медленно ... (*угаснут, прекратятся*). Ядро звезды постепенно превратится в белый карлик. Вспышки Новой не произойдет. Удаляясь от звезды, вещество внешних оболочек образует планетарную туманность.

В нашей Галактике около 100 миллиардов белых карликов.

Таким образом, эволюция всех нормальных звезд главной последовательности с начальной массой 3-8 M_{\odot} при массе ядра до 1,4 M_{\odot} протекает следующим образом:



æ Звезда главной последовательности ($M < 8 M_{\odot}$ при $M_{\text{я}} \leq 1,4 M_{\odot}$) æ
 æ Красный гигант (сверхгигант) æ
 æ Вспышка Новой (или постепенное испарение внешних оболочек) æ
 Белый карлик + планетарная туманность ® Черный карлик

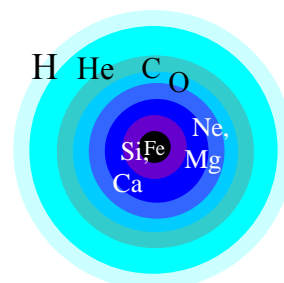
...Завершающие страницы судьбы нашей Солнечной системы таковы. Через 5 миллиардов лет Солнце расширится до размеров современной земной орбиты. Радиус Солнца будет равен 150 миллионам километров! Его светимость превысит современную в 5200 раз! И хотя Земля удалится от Солнца на расстояние, соответствующее радиусу современной марсианской орбиты, температура на ее поверхности будет достигать 1300°C .

Затем Солнце превратится в Новую звезду. После взрыва ядро Солнце станет белым карликом массой $0,4-0,5 M_{\odot}$.

Заключительные стадии эволюции более массивных звезд с массой ядра от $1,5 M_{\odot}$ до $3 M_{\odot}$ – другие.

Масса звезды слишком велика, чтобы ударные волны смогли оторвать ее внешние оболочки. Ядро продолжает сжиматься, температура и давление в нем ... (*растут*) и термоядерные реакции образования кислорода и неона сменяются новыми – с образованием ядер кремния и других, все более тяжелых ядер химических элементов.

Где будут накапливаться образующиеся тяжелые атомные ядра? (*в центре звезды*). Будут ли они смешиваются друг с другом? (*нет, они будут накапливаться слоями*). Действительно, на заключительной стадии жизни массивной звезды ее ядро будет похоже на многослойную луковицу. Сверху слой ядер атомов водорода. Глубже – гелия. Под ним – углерода, далее кислорода, неона, кремния и т.д. – вплоть до образования в центре ядра крохотного, диаметром в 10 км, железного ядрышка.



Чем больше размеры красного сверхгиганта, тем интенсивнее он «испаряется», теряя массу. Оболочки звезды могут совсем рассеяться в космосе. При этом начальная масса звезды уменьшится в несколько раз и станет не более $10-15 M_{\odot}$ – то есть не настолько, чтобы в ядре прекратились термоядерные реакции.

Обнажающееся ядро становится голубой звездой класса **W** с температурой поверхности $100\,000\text{ K}$! Такие «испаряющиеся» объекты называют **звездами типа Вольфа-Райе**. Время их жизни – десятки тысяч лет, до тех пор, пока в их центрах не начнут протекать «роковые» термоядерные реакции «горения» железа.

Чем они отличаются от других типов термоядерных реакций? – тем, что одним из главных «продуктов» реакции являются частицы нейтрино.

Одно из основополагающих свойств звезд: «звезды ... непрозрачные для излучения массы вещества». Какое излучение имеется в виду? При изучении материала о термоядерных реакциях в недрах звезд на предыдущем занятии вы узнали, что в ходе термоядерных реакций возникают потоки элементарных частиц: а) атомных ядер, α -частиц, протонов – могут они вырваться из звездного ядра наружу? (*нет*); б) фотонов – могут они вырваться из звездного ядра наружу? (*да*) Быстро ли будет происходить этот процесс? (*нет, т.к. вещество в яд-*

ре и зоне лучистого переноса обладает высокой плотностью). Как называется и как направлена сила потока фотонов, вырывающихся из звездного ядра? Что вы о ней знаете? (Это сила лучевого (лучистого) давления, она направлена из центра ядра наружу, она уравнивается силой тяготения); в) нейтрино. Каждая отдельная частица-нейтрино обладает очень маленькой энергией, но очень высокой проникающей способностью. Для потока нейтрино земной шар прозрачнее, чем стекло для солнечного света. Сможет ли поток нейтрино вылететь без помех из звездного ядра наружу? (да).

На начальной стадии «выгорания» железа: $^{55-56}\text{Fe} + ^4\text{He} \rightarrow ^{58-60}\text{Ni} \rightarrow ^{59-64}\text{Cu} + n, \bar{\nu}$ при температуре 10^{10} К центральная часть звезды излучает в космическое пространство огромное число нейтрино и антинейтрино, уносящих с собой значительную долю выделяющейся в ядре термоядерной энергии.

Равновесие между силами тяготения и резко уменьшившегося лучевого давления необратимо нарушается. Ядро звезды сжимается в десятки тысяч раз за 0,01 с. Плотность его вещества увеличивается в десятки миллионов раз, а температура до 200 миллиардов кельвин! В оболочке, окружающей ядро, возникает взрывная реакция «выгорания» кислорода и углерода. За доли секунды под действием невероятно высоких температур и давления происходят термоядерные реакции образования тяжелых и сверхтяжелых химических элементов с атомной массой до $A \sim 270$: урана, тория и других. Сверхмощная взрывная волна срывает и уносит звездную оболочку, рассеивая в пространстве «новорожденные» химические элементы.

Издали смерть звезды выглядит как **вспышка Сверхновой** звезды. При вспышке Сверхновой выделяется энергия до 10^{43} Дж! Светимость гбнущей звезды возрастает в сотни миллионов раз и в течение нескольких недель и даже месяцев звезда излучает света больше, чем целая галактика!

Оболочка взорвавшейся звезды расширяется со скоростью 5000–10000 км/с и образует **волокистую туманность** размерами в десятки световых лет. Она светится за счет энергии, запасенной во время взрыва. В составе вещества волокистых туманностей содержится много тяжелых и сверхтяжелых химических элементов, образовавшихся во время взрыва звезды. Частота вспышек Сверхновых в Галактике – 1 раз в 100–300 лет.

Сжавшееся ядро в центре туманности образует **нейтронную звезду**.

Почему «нейтронную»? Из чего состояло звездное ядро до смерти звезды? (Из «смеси» различных атомных ядер и свободных электронов). При катастрофическом сжатии звездного ядра давление и температура в нем увеличиваются настолько, что эти атомные ядра распадаются на составные элементарные частицы – Какие? (*протоны и нейтроны*). Затем освобожденные протоны и электроны вступают в реакцию: $p^+ + e^- \rightarrow n^0$ и превращаются в нейтроны. Все вещество в сжимающемся ядре звезды «нейтронизируется». Давление сверхплотного нейтронного вещества уравнивает силы гравитации.

Почему нейтронные звезды называют «сверхзвездами»? Они:

1. Сверхмалые по размерам (8-15 км). Но, поскольку масса нейтронной звезды почти равна массе бывшего ядра звезды – $3-6 \cdot 10^{30}$ кг ($1,5-3 M_{\odot}$), они будут...
2. Сверхплотные: средняя плотность вещества нейтронной звезды дости-

гает 10^{14} г/см³, т.е. 1 см³ вещества имеет массу в несколько тысяч тонн!

Поскольку при сжатии ядра звезды скорость его вращения ... (*увеличивалась*) пропорционально квадрату уменьшения радиуса, от десятков тысяч до десяти километров – в 100 000 раз! – нейтронные звезды будут ...

3. Сверхбыстровращающимися со скоростью десятки, сотни, тысячи оборотов в секунду!

Поскольку магнитное поле при сжатии звезды усиливается так же, как скорость вращения, нейтронные звезды будут ...

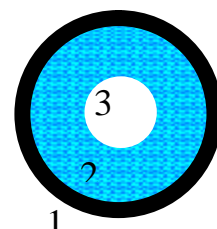
4. Сверхмагнитными, со сверхмощными магнитными полями в 10^{11} - 10^{13} раз мощнее солнечного! Самые «магнитные», с магнитным полем напряженностью до 10^{15} Гс молодые нейтронные звезды называют **магнетарами**.

Если ось магнитного поля не совпадает с осью вращения нейтронной звезды, она станет **пульсаром** – источником импульсного рентгеновского или радиоизлучения с периодом 0,033–4,8 с.

В ходе эволюции нейтронных звезд происходит их постепенное остывание, «затухание» магнитных полей и замедление вращения.

Рассмотрим внутреннее строение нейтронной звезды:

Нейтронные звезды – единственные (хотя и «вырожденные») звезды с по-настоящему твердой поверхностью. Кора (1) толщиной до 1 км состоит из полностью вырожденного вещества (железа), раскаленного от 10 до 100 миллионов кельвин!



Под этой твердой (!) оболочкой находится нейтронное вещество (2), обладающее свойствами ... жидкости (!!), раскаленной до 1 миллиарда кельвин, но при этом – сверхтекучей и сверхпроводящей (!).

Ядро (3) может состоять:

а) у «обычных» нейтронных звезд – из смеси сверхтяжелых элементарных частиц (гипероны, мезоны, мюоны);

б) у наиболее массивных нейтронных звезд – из кварков (!!!), поскольку давление и температура в их центре настолько велики, что «обычные» элементарные частицы распадаются на составляющие их первичастицы-кварки.

Такие объекты предполагается называть уже не нейтронными, а кварковыми звездами.

Общее число нейтронных звезд в Галактике может достигать нескольких миллиардов.

Таким образом, основные этапы эволюции массивных звезд таковы:

æ Звезда главной последовательности ($M < 10$ - $15 M_{\odot}$ при $M_{\text{я}} \sim 1,5$ - $3 M_{\odot}$) æ

æ Красный сверхгигант ® звезда типа Вольфа-Райе æ

æ Вспышка Сверхновой æ

Нейтронная звезда + волокнистая туманность

Звезды с конечными массами свыше $15 M_{\odot}$ при массе ядра более $3 M_{\odot}$ имеют другой вариант эволюции:

æ Звезда-сверхгигант классов O, B æ

æ Звезда типа Вольфа-Райе æ

æ Вспышка Сверхновой æ

Черная дыра + волокнистая туманность

На стадии взрыва Сверхновой звезды сжатие звездного ядра непреодолимо: происходит «гравитационный коллапс» с образованием космического объекта нового типа – черной дыры.

Черные дыры – гравитационно-связанные, непрозрачные для излучения, пространственно-обособленные в пределах гравитационного радиуса $R_g = \frac{2GM}{c^2}$ сгустки материи массой до 10^{37} кг.

Проанализируем это определение:

1. Что значит «гравитационно-связанные»? (*материя в пределах черной дыры связана силами тяготения; черные дыры существуют за счет действия сил тяготения*).

2. Что значит «непрозрачные для излучения»? – (*никакое излучение не может пройти сквозь черную дыру*).

3. Что значит «пространственно-обособленные в пределах гравитационного радиуса $R_g = \frac{2G}{c^2} \cdot M$ »? (*размеры черной дыры определяются размерами гравитационного радиуса, определяемого по этой формуле*).

4. Какие величины входят в эту формулу? Как они связаны между собой? (*В формулу входят физические величины: размеры черной дыры как размеры гравитационного радиуса, масса черной дыры, гравитационная постоянная, скорость света. Поскольку скорость света в вакууме и гравитационная постоянная никогда не изменяются, размеры черной дыры будут прямо зависеть только от ее массы*). Оговаривается ли где-либо физическая природа объекта, становящегося черной дырой? (*нет*) Если наше Солнце сжать до размеров гравитационного радиуса для его массы, превратится ли оно в черную дыру? (*да*). Если Землю сжать до размеров гравитационного радиуса для ее массы, превратится ли она в черную дыру? (*да*). Если вас сжать до размеров гравитационного радиуса для вашей массы, превратитесь ли вы в черную дыру? (*да*).

5. Каков физический смысл этой формулы? (*Любой физический объект, размеры которого при его массе станут (являются) меньше размеров гравитационного радиуса для данной массы, будет черной дырой*).

6. Рассчитайте размеры черных дыр массой $1 M_{\text{ж}}$ и $1 M_{\oplus}$. (*Черная дыра с массой $1 M_{\text{ж}}$ имеет размеры около 3 км; черная дыра с массой $1 M_{\oplus}$ имеет размеры около 3 мм*).

Основные классы черных дыр:

1. Черные дыры «звездного происхождения» массой около 10^{31} кг ($10 M_{\text{ж}}$).

2. «Промежуточные» черные дыры массой 10^{33} - 10^{34} кг (10^3 - $10^4 M_{\text{ж}}$). Происхождение неясно. Возможно, образуются при слиянии мелких черных дыр.

3. Сверхмассивные черные дыры в центрах галактик массой 10^{36} - 10^{37} кг (10^6 - $10^7 M_{\text{ж}}$), образовавшиеся при сжатии протогалактических газовых облаков.

Первые исследователи черных дыр полагали, что они не имеют индивидуальных характеристик. В настоящее время установлено, что черные дыры могут быть столь же разнообразны по свойствам, как и звезды.

Обнаружить черную дыру можно лишь по действию ее гравитационного поля, искривляющему путь проходящих вблизи нее световых лучей (эффект

«гравитационной линзы»)), а также по радио- и рентгеновскому излучению вещества, падающего в черную дыру из окружающего пространства и раскаляющегося при этом до 10^9 К. В настоящее время наблюдается свыше 10 черных дыр «звездного» происхождения с массой 4-16 M_{\odot} , несколько «промежуточных» и сотни сверхмассивных черных дыр в центрах галактик. Общее число черных дыр в нашей Галактике составляет 1/20 от количества нейтронных звезд и, вероятно, превышает 10000.

Опишем некоторые свойства черных дыр:

Их существование было предсказано на основе теории Всемирного тяготения и корпускулярной теории света в конце XVIII в. Внешние свойства черных дыр описываются в рамках общей теории относительности и квантовой физики. Внутренние свойства черных дыр современные физические теории описать не могут.

«Ушедший под гравитационный радиус» объект перестает наблюдаться, поскольку для него вторая космическая скорость u выше скорости света c . Граница области, которую не может покинуть электромагнитное излучение (при $u = c$) называется «горизонтом событий» черной дыры. У невращающихся черных дыр горизонт событий совпадает с гравитационным радиусом. Вблизи черной дыры изменяются геометрические свойства пространства и времени. Внутри черной дыры пространственная и временная координаты взаимнообращаются: перемещение в пространстве становится движением во времени. У вращающихся черных дыр положение горизонта событий не всегда соответствует положению гравитационного радиуса и в каждый момент времени зависит от всей последующей (!) эволюции системы.

С точки зрения общей теории относительности для внешнего наблюдателя падающий в черную дыру объект никогда не пересечет горизонт событий, непрерывно замедляясь при сближении с ним, но для наблюдателя, связанного с падающим объектом падение произойдет за определенное время.

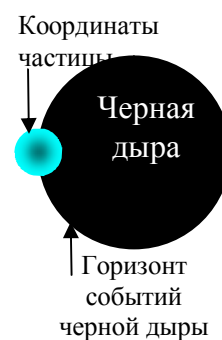
С точки зрения классической физики и теории относительности черные дыры могут, непрерывно поглощая свет и вещество из окружающего пространства и ничего не излучая, существовать бесконечно долго.

Однако квантовая физика пророчит иное.

В силу соотношения неопределенностей мы не можем однозначно задать координаты элементарной частицы в данный момент времени: они определяются с некоторой вероятностью. Таким образом любая частица близ горизонта событий черной дыры может для каждого момента времени быть с некоторой вероятностью как *под ним*, так и *над ним*: т.е. покинуть черную дыру со скоростью, меньшей скорости света. Черная дыра «рождает» все виды элементарных частиц, причем, чем больше ее масса, тем более тяжелые частицы излучаются.

Время существования черной дыры зависит от ее массы: они постепенно «испаряются» за счет квантовых эффектов тем быстрее, чем меньше их масса. Относительно устойчивы лишь объекты с массой $M \geq 10^{31}$ кг. Сверхмассивные черные дыры могут «жить» до $10^{94} - 10^{96}$ лет.

Звезды с массами свыше $90 M_{\odot}$ в результате сверхмощного взрыва при



вспышке **Гиперновой** полностью распыляются в окружающем пространстве. Энергия взрыва Гиперновых в десятки и сотни тысяч раз превышает энергии вспышек Сверхновых и достигает 10^{45} - 10^{47} Дж!

Наиболее интересны и сложны пути эволюции двойных и кратных звездных систем. Например, если 2 звезды с разной массой находятся на небольшом расстоянии друг у друга, то когда наиболее массивная станет красным гигантом (*сверхгигантом*), вторая станет «воровать», притягивать к себе вещество внешних оболочек соседки. Ее масса ... (*увеличивается*), термоядерные реакции в ядре идут (*быстрее, сильнее*). Она будет сжигать свои запасы водорода (*быстрее*) и превратится в ... (*красный гигант или сверхгигант*). Тем временем масса первой, обворованной звезды ... (*уменьшалась*) и термоядерные реакции в ядре... (*замедлялись*). Когда «воровка» сильно увеличится в размерах, «ранее «обворованная» станет... (*воровать, отнимать – притягивать вещество из ее внешних оболочек*). Маятник эволюции качнется в обратную сторону. Так может повторяться несколько раз, пока большая часть вещества из оболочек обеих звезд не рассеется в космическом пространстве. Останется 2 медленно сближающихся белых карлика. Когда они сольются, произойдет взрыв Сверхновой.

В двойных системах, состоящих из нормальной звезды и пульсара он постепенно, на протяжении многих миллионов лет сближается со звездой вплоть до столкновения с ней. Нормальная звезда может даже «проглотить» перемещающуюся в ее центр нейтронную звезду.

При увеличении массы нейтронной звезды за счет притягиваемого вещества свыше $3 M_{\odot}$ она превращается в черную дыру.

При слиянии 2 нейтронных звезд, бывших компонентами тесной двойной системы, происходит колоссальный взрыв, наблюдаемый издали как **гамма-вспышка**. За 10-100 с в космос излучается 10^{41} - 10^{47} Дж энергии!

...Эволюция звезд отражается на диаграммах Герцшпрунга-Рессела «спектр-светимость» и «температура-светимость». Жизненный путь звезды, последовательные этапы ее развития лежат вдоль диаграммы причудливой кривой линией – **трека** эволюции звезды.

Например, у нашего Солнца он будет таким:

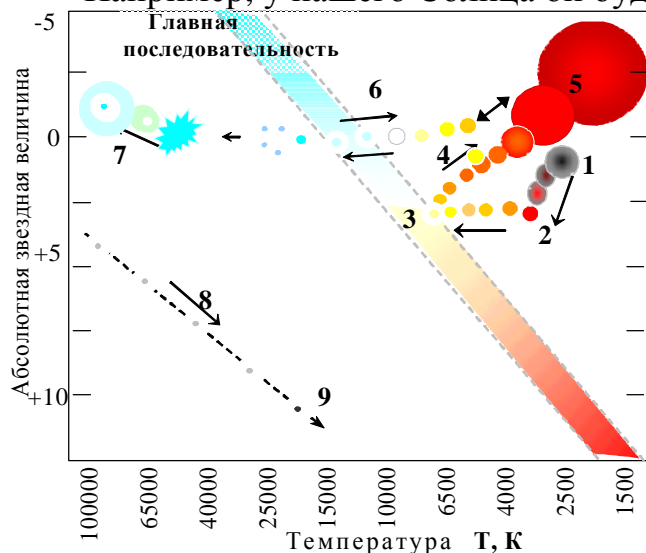


Рис. 94. Жизненный путь Солнца:

- 1 — гравитационное сжатие протозвездного облака;
- 2 - протозвезда;
- 3 — стабильное положение звезды на главной последовательности, энергетика основана на термоядерных реакциях превращения водорода в гелий;
- 4 — образование гелиевого ядра и превращение звезды в красный гигант;
- 5 — красный сверхгигант;
- 6 — пульсирующая переменная звезда, в недрах которой образуется углеродное ядро;
- 7 - вспышка Новой, образование планетарной туманности;
- 8 — белый карлик;
- 9 — остывший черный карлик

Все основные физические характеристики звезды: масса, светимость,

спектр, размеры и плотность – постепенно изменяются на всем протяжении ее «жизни». Звезды сдвигаются («выходят») на главную последовательность из правой части диаграммы – области протозвезд, когда внутри них начинаются термоядерные реакции. На главной последовательности, сосредоточивающей в себе подавляющее число звезд, поскольку она отражает наиболее продолжительный этап жизни нормальных звезд, в их ядрах протекают термоядерные реакции «водородного» горения. Затем звезда перемещается вправо и вверх, в область красных гигантов.

Последовательно вспыхивающие термоядерные реакции углеродно-кислородного и последующих циклов могут ненадолго, на все более короткие промежутки времени, рывками отодвигать ее влево, вдоль оси абсцисс, но возвращение в область холодеющих красных сверхгигантов неизбежно. Для маломассивных звезд все заканчивается вспышкой Новой и падением в нижнюю область диаграммы – в последовательность белых карликов и дальнейшее столетие оствывание слева направо вдоль диаграммы до состояния черного карлика. У более массивных звезд их ядра, сжавшиеся после вспышки Сверхновой в нейтронные звезды и черные дыры, покидают диаграмму совсем.

Практическое занятие 9

Решение задач звездной астрофизики

Проверим, насколько хорошо усвоен пройденный материал. Решим комплексную задачу, воспроизводящую работу ученых-астрономов:

Задача 1:

Звезда имеет следующие характеристики:

- блеск $m = 0^m$;
- годичный параллакс $p = 0,1''$;
- цвет: белый, максимум энергии излучается в диапазоне длин электромагнитных волн вблизи $\lambda \approx 290$ нм.

Воспользовавшись формулами для расчета основных внешних и внутренних характеристик звезд, звездными диаграммами «спектр-светимость», «масса-светимость» и считая, что звезда излучает как абсолютно черное тело, определите:

- 1) расстояние до звезды r_x , ее абсолютную звездную величину M_x и светимость L_x ;
- 2) спектральный класс и температуру видимой поверхности T_x . К какому классу звезд относится эта звезда?
- 3) основные физические характеристики звезды: массу M_x , размеры (радиус) R_x , среднюю плотность вещества ρ_x ;
- 4) нарисуйте приблизительную схему внутреннего строения звезды;
- 5) изобразите современное положение и ход эволюции (трек) звезды на диаграмме Герцшпрунга-Рессела. Какова продолжительность жизни этой звезды? Какими будут заключительные этапы ее эволюции? В какой объект превратится ядро звезды?

Решение и ответ задачи:

1) Расстояние до звезды рассчитывается по формуле: $r = \frac{206265''}{p''} a$, где a – большая полуось земной орбиты. $r_x = 2062650 \text{ а.е.} = 32,6 \text{ св. г.} = 1,38 \cdot 10^{17} \text{ м.}$

Абсолютная звездная величина звезды определяется формулами:

$$M = m + 5 + 5 \lg p'' \quad M = m + 5 - 5 \lg r. \quad M_x = 0^m$$

Светимость звезды определяется по формуле: $L = 2,512^{5-M} \cdot L_x = 100 L_x$

2) Температура видимой поверхности звезды определяется из закона Вина: $l = \frac{e}{T}$, где $e = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – постоянная Вина. $T_x = 10000 \text{ К.}$

Другой способ определения температуры звезды: по диаграмме Герцшпрунга-Рессела «спектр-светимость» приходим к выводу, что звезда относится к нормальным звездам главной последовательности спектрального класса А2 (белые звезды) с температурой поверхности 10^4 К.



3) Размеры, масса и плотность звезды вычисляются по формулам:

$$R_* = \sqrt{\frac{L_* \cdot T_\odot^4}{L_\odot \cdot T_*^4}}, \quad R_\odot = 695300000 \text{ м}, \quad M_\odot = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}, \quad T_\odot = 5770 \text{ К} \quad \underline{R_x \approx 3,6} \quad \underline{R_x \approx 2,5 \cdot 10^9 \text{ м}}$$

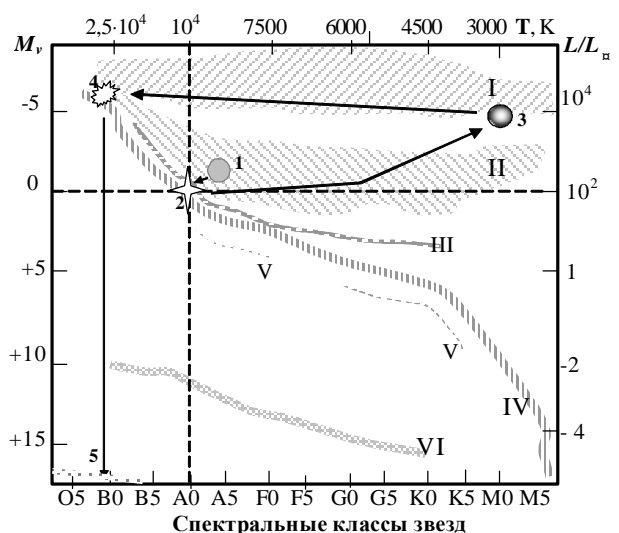
$$\frac{L_*}{L_\odot} \approx \left(\frac{M_*}{M_\odot}\right)^4, \quad M_* = M_\odot \sqrt[4]{\frac{L_*}{L_\odot}}. \quad \underline{M_x \approx 3,15} \quad \underline{M_x \approx 6,3 \cdot 10^{30} \text{ кг.}}$$

$$r = \frac{M}{V}, \quad \text{где } V = \frac{4}{3} p R^3 - \text{объем звезды.} \quad \underline{r_x \approx 1 \text{ кг/м}^3}.$$

Вещество в недрах звезды находится в состоянии плазмы. Поскольку масса звезды свыше $3 M_x$, то в энерговыделении в ядре звезды значительную, если не основную, роль играет азотно-углеродный цикл термоядерных реакций. Приблизительная схема строения недр звезды спектр-класса А: сравнительно большое ядро и зона лучистого переноса при относительно небольшой зоне конвекции.

5) Время существования звезды зависит от ее массы и может быть приблизительно оценено на основе соответствующей диаграммы: $t_x \approx 10^8 \text{ лет.}$

Поскольку масса звезды превышает $3 M_x$, а ее ядро, вероятно, имеет массу около $1,5 M_x$, основными этапами эволюции звезды будут: Протозвезда (1) \Rightarrow нормальная звезда главной последовательности (2) \Rightarrow красный сверхгигант (3) \Rightarrow сброс внешних оболочек (4) \Rightarrow нейтронная звезда (5) + туманность. На завершающей стадии эволю-



Трек эволюции звезды на диаграмме Герцшпрунга-Рессела

ции ядро звезды сожмется и превратится в нейтронную звезду.

Приблизительный трек жизни звезды изображен на диаграмме «спектр–светимость».

Задача 2:

Определите массы компонент двойной звездной системы α Большого Пса, если ее горизонтальный параллакс $p = 0,376''$, а период обращения компонент Сириус А и Сириус В вокруг общего центра масс (ЦТ) 50 лет. Видимый промежуток между звездами $j = 7,3''$, они удалены от центра масс системы на расстояния, соотносящиеся, как 1 : 2.

Решение задачи:

1) Расстояние до звезды рассчитывается по формуле: $r_* = \frac{206265''}{p''} \cdot a_{\oplus}$, где a_{\oplus} – большая полуось земной орбиты.

$$r_x = 548577 \text{ а.е.} = 8,6 \text{ св. лет} = 8,17 \cdot 10^{16} \text{ м.}$$

2) Из закона сохранения момента силы $|F_1| \cdot a_1 = |F_2| \cdot a_2$ следует:

$$M_1 \cdot a_1 = M_2 \cdot a_2 \quad \frac{M_1}{M_2} = \frac{a_2}{a_1}, \text{ где } a_1 \text{ и } a_2 \text{ – расстояния компонент от центра}$$

масс («плечи сил»), M_1 и M_2 – массы компонент Сириуса А и Сириуса В, M_* – полная масса системы. $M_* = M_1 + M_2$. Поскольку $a_2 = 2 a_1$, $\underline{M_1 = 2 M_2}$.

3) Определим истинное расстояние между звездами: $a = r_* \cdot \sin j$. $\underline{a = 19,4 \text{ а.е.}}$

4) Масса звездной системы рассчитывается на основе формулы III закона Кеплера, уточненного Ньютоном: $\frac{M_1 + M_2}{M_{\odot} + m_{\oplus}} \cdot \frac{T_*^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a_*^3}{a_{\oplus}^3}$, где M_{\odot} – масса Солнца ($M_{\odot} = 1$), a_{\oplus} – большая полуось орбиты Земли ($a_{\oplus} = 1 \text{ а.е.}$), T_{\oplus} и T_* – сидерические периоды обращения Земли и неизвестной планеты ($T_{\oplus} = 1 \text{ году}$), $m_{\oplus} \rightarrow 0$.
Окончательная формула для расчетов упрощается до вида: $M_* = \frac{a_*^3}{T^2}$

$$\underline{\text{Ответ к задаче: } M_1 + M_2 = M_* \approx 3,2 M_{\odot}; M_1 = \frac{2}{3} M_* \approx 2,2 M_{\odot}; M_2 = \frac{1}{3} M_* \approx 1 M_{\odot}.}$$

Задача 3:

Светимость Солнца составляет $3,74 \cdot 10^{26}$ Дж/с, масса Солнца равна $2 \cdot 10^{30}$ кг. Какую массу Солнце теряет за 1 с? Насколько уменьшилась масса Солнца за все время его существования (5 млрд лет)? К каким последствиям ведет уменьшение массы Солнца?

Решение и ответ:

1) При известной светимости $L_{\odot} = E_{\odot}$ (мощности излучения) Солнца в соответствии с формулой Эйнштейна $E = m \cdot c^2$ масса звезды ежесекундно уменьшается на величину: $\Delta m = \frac{E_{\odot}}{c^2} = \underline{4,26 \cdot 10^9 \text{ кг.}}$

2) За 5 млрд лет ($1,58 \cdot 10^{17}$ с) масса Солнца уменьшилась на $\underline{6,72 \cdot 10^{26} \text{ кг}}$ или 0,034 % от массы Солнца.

3) С уменьшением массы Солнца в соответствии с II законом Ньютона и

законом Всемирного тяготения: $\frac{mu_0^2}{r_0} = G \frac{M_0 m}{r_0^2}$ и $\frac{mu^2}{r} = G \frac{Mm}{r^2}$ следует: $\frac{u^2}{u_0^2} = \frac{M}{M_0} \cdot \frac{r_0}{r}$.

По закону сохранения момента импульса $mur = mu_0 r_0 \Rightarrow r = r_0 \cdot \frac{M_0}{M}$, $u = u_0 \cdot \frac{M}{M_0}$.

Сила притяжения Солнцем планет Солнечной системы ослабевает, большие полуоси планетных орбит увеличиваются, а скорость движения планет вокруг Солнца уменьшается. Период обращения планет $T = \frac{2\pi r_0}{u_0} \cdot \left(\frac{M_0}{M}\right)^2$ изменяется и становится равным: $T = \sqrt{\frac{T_0^2 \cdot r^3 \cdot M_0}{r_0^3 \cdot M}}$.

Задачи для решения на дом:

1. Звезда главной последовательности имеет массу $2 M_{\odot}$. Воспользовавшись звездными диаграммами «спектр-светимость», «масса-светимость» и т.д. и формулами для расчета основных характеристик звезд, определите:

- спектральный класс;
- температуру видимой поверхности T_* ;
- светимость L_* и абсолютную звездную величину M_* ;
- размеры R_* ;
- среднюю плотность вещества ρ .

Ответы к задаче:

1) звезда относится к спектральному классу **F0** (желтоватые звезды) и имеет температуру видимой поверхности $T_x \approx 8000$ К;

2) светимость звезды $L_* = 8 L_{\odot}$, а ее абсолютная звездная величина $M_* = 2,8^m$;

3) размеры звезды $R_* \approx 1,6 R_{\odot} \approx 1,12 \cdot 10^9$ м;

4) плотность звезды $\rho \approx 0,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

Практическое занятие 10

Наблюдения звезд, звездных скоплений, туманностей и галактик

Лучше всего проводить этот урок при ясном, безлунном небе (при фазе Луны менее 0,3) в теплую безветренную погоду, воздух должен быть чист и прозрачен.

Вначале занятия учащиеся должны показать на небе положение основных кругов, линий и точек небесной сферы; найти Полярную звезду и объяснить, как по ней ориентироваться на местности; отыскать основные созвездия и наиболее яркие звезды зимнего неба, видимые в это время года; показать знакомство со шкалой звездных величин.

На втором этапе урока учащиеся знакомятся с основными весенними созвездиями и наиболее яркими звездами. Описание звездного неба дано на 15 марта, 19 ч местного времени:

В южной части неба хорошо заметно созвездие Льва: трапеция из 4 звезд, в верхнем правом углу «крючок» из 5 звезд. Попробуйте увидеть на небе очертания фигуры царственного животного. Ярчайшая звезда созвездия α Льва называется Регул – «сердце Льва», «Царственная». Регул – горячая белая звезда спектрального класса А с температурой поверхности 14000 К, в 2,8 раза больше Солнца по размерам и в 140 раз по светимости. Регул – главный

компонент тройной звездной системы, в которую входят белый карлик и желтая звезда, похожая по своим основным характеристикам на наше Солнце.

Левее Льва мы видим яркую оранжевую звезду Арктур, α Волопаса, возглавляющую созвездие, похожее на склоненную к востоку «звездную дубинку» или «кристалл». Арктур – оранжевый гигант спектрального класса K, в 26 раз больше Солнца по размерам, но несколько холоднее – температура видимой поверхности Арктура близка к 5100 К. До Арктура 33 св. г. Арктур – первая звезда, которую удалось увидеть днем с помощью телескопа, и первая звезда, у которой было обнаружено собственное движение в пространстве.

Между Львом и Волопасом, ниже их мы видим яркую голубоватую звезду Спика, α Девы. Само созвездие Девы выглядит как скошенный четырехугольник с ветвями из звезд вверх и влево. Спика – горячая бело-голубая звезда спектрального класса B с температурой поверхности 16800 К, в 600 раз превосходит по светимости Солнце. Спика – главный компонент тесной двойной затменно-переменной системы.

Регул, Арктур и Спика образуют Весенний звездный треугольник.

Между Львом и Волопасом мы видим красивую тесную группу звезд, немного похожую на растрепанную «метлу» – созвездие Волосы Вероники. С ним связана красивая легенда (следует рассказать ее ученикам). Выше Волос Вероники, под «хвостом» Большой Медведицы заметна одинокая звезда α Гончих Псов под названием «Сердце Карла Второго» (желательно кратко рассказать о происхождении названия звезды как примере того, что астрономы остаются вполне земными людьми в своих политических пристрастиях). Сердце Карла – очень красивая двойная звезда, главный компонент которой обладает мощным переменным магнитным полем от – 4000 Э до 5000 Э (у Солнца менее 50 Э), что установлено на основе спектрального анализа. Правее Льва можно увидеть слабозаметное созвездие Рака, в котором между звездами γ и δ Рака заметно крохотное туманное пятнышко – очень красивое рассеянное звездное скопление Ясли.

Левее Волопаса красивое, хорошо заметное созвездие Северной Короны (в старину просто Корона или Венец). Звезда α Северной Короны называется Гемма. Ниже Северной Короны восходят из-за горизонта созвездия Змееносца и Змеи. Под Девой перекошенный четырехугольник из слабых звезд – созвездие Ворона, чуть правее его – малозаметные созвездия Чаши и Гидры.

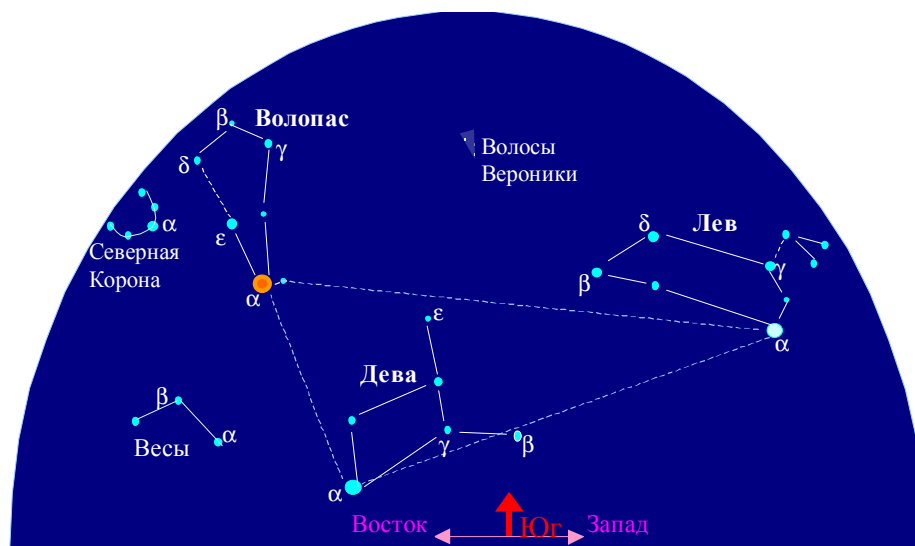


Рис. 95. Основные созвездия весны

Млечный Путь струится почти слабо различимой полосой с юго-запада на север. А на северо-западе восходит знакомая нам яркая голубая Вега, а левее нее, у самого горизонта – Денеб. За полночь в небе будут царить уже знакомые созвездия летнего неба Лиры, Лебедя и Орла.

Задания: 1. Постарайтесь найти на небе и запомнить созвездия Льва, Волопаса и Девы. 2. Определите блеск звезд: Регула, Спика, Арктур, Геммы, Сердца Карла.

Нужно обратить внимание учеников на планеты, видимые в это время года, кометы (если они видны), метеоры и другие небесные явления.

Далее проводятся телескопические наблюдения звезд, звездных скоплений, туманностей и галактик:

1. При наблюдении ярких одиночных звезд (см. табл. 10) желательно применять окуляры с наименьшим увеличением, наибольшим полем зрения. Следует обратить внимание учащихся:

- в любой, даже самый мощный телескоп звезды выглядят точками (желательно попросить учеников дать этому объяснение);

цвет звезд зависит от их температуры: самые горячие звезды голубые и голубовато-белые, самые холодные – красные.

Желательно ознакомить учеников со спектрами наиболее ярких звезд при помощи дифракционной решетки, установленной в окулярном узле телескопа.

В конце зимы – начале весны великолепными объектами для наблюдения будет, последовательно, четверка звезд: Сириус или Ригель, Капелла, Альдебаран или Арктур, Бетельгейзе.

Таблица 10

Цветные одиночные звезды

| Название звезды, созвездие | Блеск, m_v | Цвет | Название звезды, созвездие | Блеск, m_v | Цвет |
|-------------------------------|---------------------|--------------|------------------------------|--------------------|---------------|
| Сириус, α Большого Пса | - 1,2 ^m | Белый | Регул, α Льва | - 1,2 ^m | Белый |
| Капелла, α Возничего | 0,03 ^m | Желтый | Кастор, α Близнецов | 1,35 ^m | Белый |
| Арктур, α Волопаса | - 0,12 ^m | Оранжевый | Поллукс, β Близнецов | 1,58 ^m | Белый |
| Бетельгейзе, α Ориона | 0,9 ^m | Красный | Процион, α Малого Пса | 1,1 ^m | Желтый |
| Ригель, β Ориона | 0,3 ^m | Белый | Антарес, α Скорпиона | 0,37 ^m | Желтый |
| Вега, α Лиры | 0,03 ^m | Бело-голубой | β Андромеды | 0,91 ^m | Красный |
| Альдебаран, α Тельца | 1,06 ^m | Оранжевый | Гранатовая, μ Цефея | 2,06 ^m | Желто-красный |
| Альтаир, α Орла | 0,76 ^m | Белый | | 4,49 ^m | Красный |
| Денеб, α Лебедя | 1,25 ^m | Белый | | | (гранатовый) |

2. При наблюдении двойных и кратных звезд необходимо применять окуляры с наибольшим увеличением. В начале весны великолепными объектами для наблюдения будут ξ Большой Медведицы, α Гончих Псов, i Рака, α Близнецов, ξ Волопаса. В табл. 11 приводятся списки двойных и кратных звезд для наблюдения в бинокль и разные телескопы; указанные объекты перечислены в порядке трудности разделения. Рекомендуем зарисовать цветными карандашами (фломастерами) расположение компонент наиболее интересных двойных звезд.

Двойные и кратные звезды

| Инструмент наблюдений | Название звезды | Блеск компонент, m_v | Угловое расстояние между компонентами | Цвет компонент |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------|
| Бинобль | ξ и g Большой Медведицы | 2,2 ^m и 5,0 ^m | 707'' | Белый |
| | α Весов | 2,9 ^m и 5,3 ^m | 231'' | Белый, желтый |
| | ϵ Лиры | 4,5 ^m и 4,7 ^m | 207'' | Белый |
| | β Козерога | 3,2 ^m и 6,3 ^m | 205'' | Желтый, голубовато-белый |
| | θ_1 и θ_2 Ориона | 4,8 ^m и 4,9 ^m | 135'' | Бело-голубой |
| | ν Дракона | 5,0 ^m и 5,0 ^m | 62'' | Желтовато-белый, белый |
| | δ Ориона | 2,5 ^m и 6,9 ^m | 52'' | Голубовато-белый |
| | ξ Лиры | 4,3 ^m и 5,9 ^m | 44'' | Белый, желтовато-белый |
| | β Лебеда | 3,2 ^m и 5,4 ^m | 35'' | Сапфирная и золотая |
| | i Рака | 4,2 ^m и 6,6 ^m | 30'' | Желтый, голубой |
| | ξ Большой Медведицы | 2,4 ^m и 4,0 ^m | 14'' | Белый |
| | β Скорпиона | 2,9 ^m и 5,1 ^m | 14'' | Белый, зеленовато-желтый |
| | 60-мм школьный телескоп-рефрактор | θ_1 Ориона | 5,6 ^m и 7,8 ^m | 9'' и 21'' |
| θ_2 Ориона | | 5,5 ^m и 6,5 ^m | 52'' | Белые |
| ν Скорпиона | | 4,3 ^m и 7,0 ^m | 40'' | Голубовато-белый, белый |
| α Гончих Псов | | 3,2 ^m и 5,7 ^m | 20'' | Желтый, лиловый |
| γ Дельфина | | 3,4 ^m и 6,0 ^m | 11'' | Желтый, зеленоватый |
| γ Андромеды | | 2,2 ^m ; 5,5 ^m и 6,5 ^m | 10'' и 0,5'' | Оранжевый, голубой |
| α Близнецов | | 2,5 ^m ; 3,0 ^m и 9,5 ^m | 5,6'' и 73'' | Белый, зеленовато-желтый |
| δ Большого Пса | | 2,1 ^m и 7,5 ^m | 225'' | Белый |
| η Кассиопеи | | 4,0 ^m и 7,0 ^m | 6,7'' | Желтый, пурпурный |
| α Геркулеса | 4,1 ^m и 5,5 ^m | 4,7'' | Красный, зеленоватый | |
| 80-мм школьный телескоп-рефрактор | ξ Волопаса | 4,5 ^m и 6,5 ^m | 4,2'' | Оранжевый, красный |
| | θ Дракона | 4,7 ^m и 8,5 ^m | 32'' | |
| | η Персея | 4,2 ^m и 8,5 ^m | 28'' | Оранжевый, голубоватый |
| | δ Геркулеса | 3,6 ^m и 8,0 ^m | 18'' | Белый, фиолетовый |
| | β Цефея | 3,4 ^m и 8,0 ^m | 14'' | Голубовато-белый |
| | 54 Гидры | 5,2 ^m и 8,0 ^m | 19'' | |
| | λ Ориона | 3,5 ^m и 6,0 ^m | 4,5'' | Голубовато-белый |
| | ρ Геркулеса | 4,0 ^m и 5,5 ^m | 3,7'' | |
| | ξ Водолея | 3,5 ^m и 4,4 ^m | 3,5'' | |
| | γ Льва | 2,5 ^m и 4,0 ^m | 3,0'' | Золотисто-желтый |
| | ϵ Волопаса | 2,4 ^m и 6,5 ^m | 2,9'' | Желтый, зеленоватый |

3. Звездные скопления. Рассеянные звездные скопления относятся к самым красивым объектам звездного неба; их следует наблюдать при малых ($30\times - 40\times$) и средних увеличениях. Обратите внимание на размеры скоплений (видимые, в сравнении с Луной, и истинные, в сравнении с Солнечной системой и расстоянием до ближайших звезд) и на количество звезд в скоплениях. Наилучшие объекты для наблюдения в конце зимы – начале весны: Гиады, Плеяды и Ясли.

Шаровые звездные скопления наблюдать сложнее; при их поисках следует применять минимальные увеличения, а для разрешения краев скоплений на отдельные звезды – увеличения максимальные. В конце зимы – начале весны можно с трудом наблюдать скопления М3, М10 и, возможно, М13.

4. Туманности и галактики как слабые протяженные объекты следует наблюдать с минимальным увеличением. Рекомендуем зарисовать отдельные ту-

манности на листе белой бумаги мягким карандашом: вначале намечается общий контур туманности, а затем производится растушевка. Хороший результат дает также выполнение рисунков на листах черной бумаги белым (светлым) карандашом. Наилучшие объекты для наблюдения в конце зимы – начале весны: туманность М 42 и галактики М 31 и М 81.

Таблица 12

Звездные скопления, туманности и галактики

| Название объекта | | Экваториальные координаты | | Интегральный блеск, m_v | Созвездие, в котором находится объект |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | | a | d | | |
| Рассеянные звездные скопления | М 45 (Плеяды) | 3 ^h 45 ^m | +24° 03′ | | Телец |
| | М 44 (Ясли) | 8 ^h 29 ^m | +19° 47′ | | Рак |
| | χ и η Персея | 2 ^h 18 ^m | +57° 02′ | | Персей |
| | Гиады | 4 ^h 18 ^m | +15° 35′ | | Телец |
| | М 34 | 2 ^h 40 ^m | +42° 40′ | | Персей |
| | М 35 | 6 ^h 07 ^m | +24° 20′ | | Близнецы |
| Шаровые звездные скопления | М 4 | 16 ^h 22 ^m | -26° 28′ | 4,4 ^m | Скорпион |
| | М 22 | 18 ^h 34 ^m | -23° 57′ | 6,5 ^m | Стрелец |
| | М 13 | 16 ^h 41 ^m | -36° 30′ | 6,8 ^m | Геркулес |
| | М 5 | 15 ^h 17 ^m | +2° 10′ | 7,0 ^m | Змея |
| | М 3 | 13 ^h 41 ^m | +28° 30′ | 7,2 ^m | Гончие Псы |
| | М 2 | 21 ^h 32 ^m | - 0° 56′ | 7,3 ^m | Водолей |
| | М 15 | 21 ^h 29 ^m | +12° 04′ | 7,3 ^m | Пегас |
| | М 10 | 16 ^h 46 ^m | - 4° 04′ | 7,6 ^m | Змееносец |
| М 12 | 16 ^h 46 ^m | - 1° 55′ | 7,9 ^m | Змееносец | |
| Туманности | М 42 | 5 ^h 34 ^m | - 5° 24′ | 4,0 ^m | Орион |
| | М 8 | 18 ^h 03 ^m | - 24° 20′ | 5,8 ^m | Стрелец |
| | М 17 | 18 ^h 19 ^m | - 16° 11′ | 7,0 ^m | Стрелец |
| | М 27 | 19 ^h 59 ^m | +22° 39′ | 7,6 ^m | Лисичка |
| | М 57 | 18 ^h 53 ^m | +33° 00′ | 9,3 ^m | Лири |
| Галактики | М 31 | 0 ^h 41 ^m | +41° 00′ | 4,3 ^m | Андромеда |
| | М 33 | 1 ^h 33 ^m | +30° 32′ | 6,2 ^m | Треугольник |
| | М 81 | 9 ^h 54 ^m | +69° 11′ | 7,9 ^m | Большая Медведица |

Завершают урок телескопические наблюдения планет и Луны.

Семинары 7-8

Жизнь и Разум на Земле и во Вселенной

Цель проведения занятий: формирование понятий об условиях возникновения и развития жизни и разума на Земле и во Вселенной.

Общеобразовательные задачи:

1) обобщение, повторение и закрепление учебного материала по астрономии, физике, химии и биологии: основных физических характеристиках Солнца и звезд; планетных систем и Солнечной системы; условиях на поверхности Земли, планет земной группы Солнечной системы и экзопланет; солнечно-земных и космическо-земных связях; биологическом действии различных диапазонов электромагнитного излучения; технических основах радиосвязи, лазерных устройств и космонавтики; понятиях «жизнь» и «разум»; основных гипотез о происхождении жизни и чело.; условиях существования и развития живых

организмов во взаимодействии с окружающей средой;

2) формирование понятий о внеземных цивилизациях (ВЦ) и способах осуществления и особенностях контакта с ними.

Воспитательные задачи: формирование научного мировоззрения и атеистическое воспитание в ходе обсуждения материала об условиях возникновения и развития жизни и разума на Земле и во Вселенной как очередном закономерном этапе развития материи.

Развивающие задачи: формирование умений работать с научно-популярной и справочной литературой, готовить доклады, выступать, дискутировать, отстаивать свою точку зрения.

Обучаемые должны **знать:** о физико-химических характеристиках внешней среды, допускающей возможность существования и развития живых организмов; основные гипотезы о происхождении жизни на Земле и возможности ее существования на других планетах Вселенной; основные гипотезы о происхождении чел. и возможности существования внеземных цивилизаций.

Обучаемые должны **уметь:** доказывать естественность происхождения жизни и разума на Земле, основываясь на совокупности своих познаний по астрономии, физике, химии и биологии; работать с научно-популярной и справочной литературой, готовить доклады, выступать, дискутировать, отстаивать свою точку зрения.

Методика проведения мероприятия:

Современный образованный человек должен знать о подлинном единстве Природы, едином основании, на котором построено все разнообразие объектов, явлений и процессов природы, из которого вытекают основные законы, связывающие микро- и макромиры, Землю и Космос, астрономические, физические, химические, биологические явления, Жизнь и Разум.

Изучая отдельные естественные науки (астрономию, физику, химию, биологию и т.д.), невозможно понять Природу как единое целое: это лишь первая ступень к познанию Природы во всей ее целостности, т.е. познанию законов с общей естественнонаучной позиции – с использованием общей методологии науки, обобщенно-диалектического и естественнонаучного методов на основе центральных теоретических концепций, и моделей природы на основе идей современной естественнонаучной (квантово-космологической) картины мира.

Основными целями изучения комплекса естественных наук являются:

1. Познание Вселенной, места и роли чел. и человечества во Вселенной.
2. Выявление скрытых взаимосвязей, создающих органическое единство всех физических, химических, биологических, психологических и социально-экологических явлений и процессов.
3. Более глубокое и полное познание законов этих явлений и процессов и создание современной естественнонаучной картины мира.

Данные семинаров призваны реализовать межпредметные связи школьных и вузовских курсов астрономии, физики, химии и биологии с целью формирования знаний о возникновении жизни и разума во Вселенной.

Проблема объяснения происхождения жизни на Земле является одной из 7 глобальных проблем человечества.

Возможность существования жизни на других планетах интересует не только ученых, но и широкие массы населения нашей планеты.

Вопросы о существовании внеземной жизни и инопланетян ученики любого возраста наиболее часто задают своему учителю.

В подготовке к занятию следует опираться на приведенный ниже справочный материал, многочисленные статьи в научно-популярных журналах («Земля и Вселенная», «Наука и жизнь», «Техника – молодежи» и т.д.) и научно-популярную литературу по астрономии из списка в конце книги.

Методика проведения I занятия:

Рекомендуемые темы докладов и сообщений:

1. «Что такое жизнь?» – доклад с последующей краткой дискуссией.
2. Теории о происхождении жизни на Земле – доклад, 2-3 сообщения.
3. «Где искать жизнь во Вселенной?» – доклад, 2-3 сообщения.
4. «Есть ли жизнь на Марсе?» и «Есть ли жизнь в Европе?» – доклады.
5. Космическо-земные связи – доклад, сообщения.

В начале занятия при постановке проблемы педагог акцентирует внимание обучаемых на важности поиска ответов на вопросы о происхождении жизни на Земле и возможности ее существования на других планетах Солнечной системы и у других звезд Вселенной.

Целью первого выступления с докладом «Что такое жизнь?» является попытка определения понятия «жизнь», относящегося к фундаментальным, категориальным научным понятиям, определяемым через описание его важнейших сторон и свойств. Следует отметить, что в науке до сих пор нет его единого общепринятого полного определения. Работа над определением понятия «жизнь» в ходе дальнейшей дискуссии, моделирующей работу научного семинара, показывает сложность обсуждаемого вопроса, формирует представление о том, на какие группы и почему делятся все научные понятия, учит формулировать свою точку зрения, определять понятия, отстаивать свою точку зрения. Обучаемые должны понять, что для серьезного обсуждения любой проблемы нужно договориться об использовании соответствующей терминологии, определить все используемые понятия.

Далее они знакомятся с основными гипотезами о происхождении жизни на Земле, которые можно разделить на 3 группы:

- 1) религиозная гипотеза о «божественном» происхождении жизни;
- 2) «панспермия» – жизнь возникла в космосе и затем была занесена на Землю;
- 3) жизнь возникла на Земле в результате естественных процессов.

Следует обсуждение гипотез, в котором педагогу принадлежит двойная роль: «адвоката дьявола», обращающего внимания на слабые стороны каждой гипотезы и судьбы, следящего за корректностью спора и сохраняющего в нем строгий нейтралитет в обсуждении всех высказываемых предположений за исключением первой абсолютно ненаучной гипотезы «творения». Обучаемые должны придти к выводу, что, несмотря на остающуюся неопределенность в вопросе о происхождении жизни на Земле, не вызывает сомнения факт в естественности ее происхождения как определенного закономерного этапа развития материи.

В ходе 5-7-минутной беседы обучаемые определяют условия, в которых может существовать жизнь белкового типа. Оговариваются размеры и другие параметры «зоны жизни» в Солнечной системе и во внесолнечных планетных системах, связываемые с характеристиками их центральных звезд.

Занятие продолжается докладами «Есть ли жизнь на Марсе?», «Есть ли жизнь в Европе?», за которыми следует их краткое обсуждение.

Завершает занятие беседа о влиянии космических факторов на существование и развитие жизни на Земле, в качестве которых выделяются: гравитационно-приливное воздействие Луны; солнечная активность, инверсии геомагнитного поля, облучение поверхности Земли ультрафиолетовым излучением и космическими лучами; состояние озонового слоя атмосферы и «парниковый эффект» в ней; столкновения планеты с ядрами комет и астероидами. Особое внимание обращается на солнечно-земные связи.

Итогом всего занятия должны стать выводы:

1. Возникновение жизни на Земле подготовлено ходом эволюции неживой материи во Вселенной.

2. Существование жизни на Земле определяется постоянством действия космических факторов: мощностью и спектральным составом солнечного излучения, неизменностью основных характеристик орбиты Земли и ее осевого вращения, наличием магнитного поля и атмосферы планеты.

3. Развитие жизни на Земле во многом обусловлено плавными незначительными изменениями космических факторов; сильные изменения ведут к катастрофическим последствиям.

4. На определенном этапе своего развития жизнь становится фактором космического масштаба, оказывающим влияние на физико-химические характеристики основных оболочек планеты (например, состав и температуру атмосферы, гидросферы и верхних слоев литосферы).

Существует много определений понятия «жизнь» – столь же сложного, многогранного и неоднозначного, как понятия «Вселенная», «материя» и «разум», предельно широкого, отражающего самые общие черты действительности – категории, определяемой через описание основных характеристик и свойств.

Определение из энциклопедического словаря весьма уязвимо: «Живыми называются системы, которые способны самостоятельно поддерживать и увеличивать свою очень высокую степень упорядоченности в среде с меньшей степенью упорядоченности» – по нему живыми являются все самоорганизующиеся и саморегулирующиеся системы – звезды, галактики и сама Метагалактика, коацерватные капли и многие сложные органические соединения, самопроектирующиеся и самосборные кибернетические устройства и т. д.. Предложение академика С.Ф. Лихачева рассматривать жизнь как некоторое неопределимое свойство Вселенной ничего не дает в плане практического использования понятия.

Не потеряло своей актуальности уточненное в XX в. определение Ф. Энгельса: «**Жизнь** – это способ существования белковых тел и нуклеиновых кислот» – вне живых организмов белки в природе не встречаются, хотя сложные органические соединения обнаружены в 80-х годах в составе ГМО.

По определению академика А.А. Ляпунова: «**Жизнь** – высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул». Его уточнил профессор И.С. Шкловский: «Живое вещество – сложный молекулярный агрегат, в котором имеется «управляющая система», включаю-

щая в себя механизм передачи наследственной информации, обеспечивающей сохраняющие реакции следующим поколениям». Близкое определение жизни дал В.С. Троицкий.

Наилучшим следует признать определение Н.В. Волькенштейн: «**Живые тела**, существующие на Земле, представляют собой открытые, самоорганизующиеся и самовоспроизводящие системы, построенные из биополимеров – белков и нуклеиновых кислот».

«**Разум** есть способность материи познавать саму себя – фундаментальные законы природы и различные сущности» или, по-другому, «**Разум** – это способность живой материи к обмену информацией с внешней средой, кодируемой понятиями» (В.С. Троицкий). Клетки коры головного мозга (нервные клетки) имеют наивысшую на Земле сложность организации. Носителем разума во Вселенной может быть только живая и высокоорганизованная материя.

Возникновение и развитие жизни и разума на Земле подготовлено всем ходом эволюции неживой материи Метагалактики. Закономерность и неизбежность возникновения и развития жизни и разума обусловлена одним из важнейших свойств Метагалактики – «антропным принципом» (см. главу «Вселенная»).

Вышесказанное определяет условия, необходимые и достаточные для проявления и развития жизни, возможное время ее возникновения в Метагалактике и на Земле, основные темпы и направления эволюции живых организмов.

В раннюю эпоху существования Метагалактики вплоть до образования галактик, жизнь не могла существовать из-за абсолютно неподходящих внешних условий. Не могла она возникнуть вблизи звезд I поколения, которые, скорее всего, не имеют планетных систем из-за 10–40-кратного дефицита тяжелых химических элементов.

Для образования космических тел с современным химическим составом и соотношением изотопов тяжелых элементов их синтез должен был произойти за 4–6 млрд лет до образования Солнечной системы, т. е. не позже 9–11 млрд лет назад. Образование тяжелых элементов было особенно интенсивным в период формирования основных галактических структур; в нашем районе Галактики период интенсивного звездообразования закончился к моменту образования Солнечной системы.

Химические условия возникновения и развития жизни определяются составом ее молекулярных основ. Нуклеиновые кислоты ДНК и РНК построены из нуклеотидов, состоящих в свою очередь из сахара, азотистых оснований и фосфата; белки состоят из аминокислот. Все химическое разнообразие жизни на Земле исчерпывается 28 веществами: 20 видов аминокислот, 5 оснований, 2 углеводов и 1 фосфата, элементарный химический состав которых состоит из водорода (37,5 %), углерода (29,8 %), кислорода (18,3 %), азота (11,3 %), фосфора (3,1 %). Водород – самый распространенный химический элемент, углерод, кислород и азот – самые распространенные из тяжелых химических элементов, способные образовывать огромное число сложных и относительно стабильных молекул (благодаря наличию химически инертных соединений углерода). Кислород – активный окислитель, его соединение с водородом H_2O , вода – широко распространенный универсальный биологический химический растворитель, остающийся в жидком состоянии в широком диапазоне температур, обладающий высокой диэлектрической проницаемостью и теплоемкостью.

Химические условия существования жизни налагают ряд дополнительных требований к физическим характеристикам объектов, на которых они могли бы реализоваться.

Химический состав объекта должен допускать наличие гидросферы и атмосферы приемлемого состава, состоящей из газов, способствующих возникновению и развитию живых организмов и поддерживающих необходимый энергетический режим (температуры и энергетической освещенности) без резких (критических) колебаний вышеупомянутых условий и давления. Так, углекислый газ в современной атмосфере Земли не только основное сырье для фотосинтеза, но и важнейший инструмент для поддержания температуры атмосферы с оптимальной концентрацией 0,03–0,04 %.

Масса объекта должна обеспечивать силу тяжести, достаточную для удержания постоянной атмосферы достаточной плотности у поверхности космического тела без перехода атмосферных газов в другие агрегатные состояния.

Орбита космического тела должна лежать в пределах «зоны жизни» данной планетной системы, обеспечивающей достаточную энергетическую освещенность поверхности в приемлемом диапазоне длин волн и иметь малый эксцентриситет во избежание резких колебаний внешних условий на поверхности тела. Объект должен вращаться вокруг своей оси со скоростью, достаточной для установления атмосферной и гидросферной циркуляции и некоторого усреднения физических условий на поверхности.

Всем вышеперечисленным условиям отвечают планетные тела (планетоиды и планеты земной группы) массой от 0,1 до $10 M_{\oplus}$, входящие в состав планетных систем одиночных, медленно вращающихся, обладающих постоянством светимости звезд главной последовательности II и последующих поколений спектральных классов F5–K5.

Число планетных тел Галактики с благоприятными условиями для существования жизни определяется формулой: $N = N^* \cdot f_n \cdot n_e$,

где N^* – общее число звезд Галактики (около $2 \cdot 10^9$);

f_n – доля звезд, имеющих планетные системы (все одиночные медленно вращающиеся звезды, от 20 до 60 % звезд);

n_e – доля звезд, вблизи которых могут быть благоприятные для жизни условия (для звезд классов F5–K5 около 0,01–0,02).

Если в каждой из вышеуказанных планетных систем «обитаема» лишь одна планета, то в настоящее время в Галактике может быть от 40 до 240 миллионов планет, на которых существует жизнь. Даже если по каким-либо причинам вероятность возникновения жизни в сотни и тысячи раз меньше, в Галактике сейчас должны быть сотни тысяч и миллионы населенных планетных тел.

Для Галактики это очень маленькая величина. Так, на расстоянии до 5 парсек (16,3 св. г.) от Солнца насчитывается 53 звезды, из которых лишь 3 – ϵ Эридана, τ Кита и ϵ Индейца – удовлетворяют вышеупомянутым условиям; однако у ϵ Эридана планетная система находится в стадии формирования.

В настоящее время в научных лабораториях подробно исследованы и воспроизведены первые этапы эволюции от «неживой» к «живой» материи:

1. Эволюция малых молекул (CH_4 , H_2O , NH_3 , CO и т.д.).
2. Образование полимеров.
3. Возникновение каталитических функций.

Ведутся исследования последующего этапа эволюции – самосборки молекул гиперциклов, возникновения биологических мономеров (аминокислот, азотистых оснований и т.д.) и биополимеров, накоплены определенные сведения по следующему этапу – возникновению мембран и доклеточной организации. К сожалению, весьма далеки от окончательного понимания два важнейших заключительных этапа превращения «неживого» в «живое» – возникновение механизма наследственности и возникновение клетки.

Огромный интерес представляет решение проблем:

- Почему все белковые соединения в составе живого вещества имеют левую симметрию?
- Однократно или многократно возникла жизнь на Земле, было ли ее возникновение глобальным или локальным явлением?
- Почему жизнь на Земле не возникает из неживого в настоящее время?
- Почему у всех живых существ на Земле белки строятся только из 20 аминокислот из более чем 100 известных науке?

- Может ли возникнуть жизнь в других условиях, на принципиально иной химической основе?

Основой жизни в Метагалактике могут являться:

1) широко распространенные химические элементы IV-VI групп таблицы Менделеева (углерод, кремний, кислород, фтор, азот, фосфор, сера и т.д.), способные образовывать сложные молекулярные цепочки, выполняющие функции органических молекул;

2) химические соединения (вода H_2O , аммиак NH_3 , смесь воды с аммиаком, сероводород H_2S , синильная кислота HCN , фтористый водород HF и т.д.), обладающие свойством быть одновременно кислотой и основанием: они способны стать биологическими растворителями. Водородная связь определяет структуру белков, нуклеиновых кислот и других орга-

нических соединений и их возможных аналогов.

«Аммиачная» жизнь является второй по вероятности распространенности после земной, основанной на соединениях углерода и воде. Аммиак обладает достаточно высокими теплотой плавления, парообразования и теплоемкостью, остается жидким в диапазоне температур от $-77,7^{\circ}\text{C}$ до $-33,4^{\circ}\text{C}$ при нормальном давлении; при возрастании давления температура кипения увеличивается (до $+132,4^{\circ}\text{C}$ при $p = 112$ атм). Океаны и моря из жидкого аммиака (или смеси аммиака с водой и гидроксиламином NH_2OH) будут так же эффективно смягчать колебания температуры, как гидросфера Земли. Аммиак обладает некоторыми биологическими преимуществами перед водой (большей текучестью, способностью растворять органические соединения и т.д.). «Аммиачная» жизнь может процветать на относительно холодных планетах земной группы и планетоидах с плотными атмосферами.

Менее вероятна жизнь на поверхности небольших планет с атмосферами из дициана C_2N_2 и гидросферами из цианистоводородной (синильной) кислоты HCN ($T_{\text{замерзания}} = -13,4^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кипения}} = +25,6^{\circ}\text{C}$ при $p = 1$ атм).

В плотных атмосферах планет-гигантов в условиях низких температур (от -100°C до -50°C) может возникнуть сероводородная жизнь. Жизнь может появиться и на поверхности планетных тел с плотными атмосферами из смеси газов CS_2 , COS , CH_4 , N_2 , Ar , и гидросферами из сернистого ангидрида SO_2 ($T_{\text{замерзания}} = -75,5^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кипения}} = -10,2^{\circ}\text{C}$ при $p = 1$ атм).

Кремний может успешно заменить углерод и быть цепочкообразующим элементом органических систем, молекулы которых основаны на связях Si-O-Si или Si-N-Si . «Кремниевая» жизнь может встретиться на планетах, обладающих очень плотными горячими ($T \geq 300^{\circ}\text{C}$) атмосферами, обращающихся на небольшом расстоянии вокруг массивных горячих звезд.

Фтор – довольно редкий химический элемент, но жизнь на его основе могла бы существовать на планетах земной группы с атмосферами, содержащими свободный F_2 как аналог кислорода, и океанами из фтористого водорода HF ($T_{\text{замерзания}} = -83,1^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кипения}} = +19,5^{\circ}\text{C}$ при $p = 1$ атм), обращающихся на большом расстоянии вокруг высокотемпературных звезд с максимумом энергетической светимости в УФ-диапазоне.

В.С. Троицкий выдвинул гипотезу об однократном одновременном возникновении жизни как закономерном этапе эволюции Метагалактики (Вселенной) около 4-5 млрд лет назад везде, где возникли подходящие условия для появления и развития живых организмов.

...Некоторые ученые считают, что жизнь возникла не на Земле, а была занесена на нее из космического пространства в виде спор микроорганизмов размерами 0,2–0,6 мкм. Идея **панспермии** была выдвинута в 1907 г. С. Аррениусом и поддерживалась такими крупными учеными, как Э. Хойл, Ч. Викрамсинх, У. Крик, С. Ортель, К. Саган.

В составе планетарных и диффузных газопылевых туманностей и глобул обнаружены сложные органические соединения. При прохождении Солнечной системы через ГМО в спиральных рукавах на поверхность Земли может выпасть до 10^{14} органических молекул на м^2 . В пользу вышеупомянутой гипотезы свидетельствуют: универсальность генетического кода всех земных организмов и важность роли молибдена в живой клетке, более редкого на Земле, чем хром и никель, которые могли бы выполнять те же функции.

Устойчивые к ультрафиолетовому облучению и космической радиации споры действительно могли бы путешествовать между звезд, но для того, чтобы за миллиард лет Земля получила 1 спору, все остальные звезды Галактики должны иметь планеты, выбрасывающие в тот же срок в космос по 1 тонне спор.

В качестве места возникновения и развития жизни предполагались кометы и каменные метеориты – углистые хондриты, содержащие сложные органические вещества, в том числе аминокислоты (в составе метеорите Мерчисон было обнаружено 18 разновидностей аминокислот), не встречающиеся на Земле. Многочисленные данные свидетельствуют об изобилии органических соединений на поверхности Земли в эпоху ее формирования.

Бактерии способны размножаться в экстремальных условиях температур от -25°C до 300°C при давлении до $1,3 \cdot 10^8$ Па. Они сохраняют жизнеспособность в виде спор при температурах от -240°C до 600°C и давлении от 10^{-4} - 10^{-6} Па до $2 \cdot 10^9$ Па, облучении ультрафио-

летовым излучением интенсивностью до $5 \cdot 10^4$ эрг/мм² и жесткой радиации мощностью до 10^4 Гр. Колонии бактерий (*E. coli*) на борту АМС «Сервейер» смогли выжить в течение 1 года на поверхности Луны, и свыше 5 лет находившихся на открытой панели ИСЗ. В недрах Земли живут колонии микроорганизмов, использующие в качестве энергии водород. В ископаемых льдах Арктики и Антарктиды обнаружены споры микроорганизмов (до 10^7 клеток на грамм), находились в состоянии анабиоза от 20-40 тыс. лет до 8 млн лет! Некоторые ученые полагают, что у многих обнаруженных популяций микроорганизмов в условиях вечной мерзлоты метаболизм крайне замедляется, но не останавливается. Такая жизнеспособность обусловлена неразрывностью связи популяций организмов со средой обитания.

Отдельные группы земных микроорганизмов, примитивных грибов, дрожжей и водорослей могут не только выжить, но и размножаться в условиях, существующих в криосфере и на поверхности Марса или в океанах Европы.

И все же, несмотря на космическую распространенность органических веществ, гипотеза панспермии до сих пор не получила материального подтверждения, хотя массовая печать неоднократно в форме сенсаций сообщала об обнаружении в метеоритах окаменелостей микроорганизмов. Главным недостатком этой гипотезы является то, что перенос места возникновения земной жизни с поверхности Земли в глубины Вселенной не решает вопроса о происхождении жизни из неживой материи.

Генетический код живых организмов Земли имеет возраст $3,8 \pm 0,6$ млрд лет. Эволюция живых организмов от простейших форм к разумным существам занимает, по-видимому, несколько миллиардов лет – на Земле 3,5 млрд лет. Движущей силой эволюции являются мутации и естественный отбор – процессы, носящие статистический характер и обусловленные плавными медленными изменениями условий существования организмов (составом, плотностью и температурой атмосферы и гидросферы, климатом, рельефом, магнитным полем планеты, спектральным составом и уровнем освещенности поверхности и т. д.), причинами которых являются незначительные изменения в действии космических факторов в сочетании с мелкими, периодическими и беспорядочными колебаниями ряда основных характеристик внешней среды, в основе которых, как правило, также лежит действие космических процессов и объектов.

За всю историю существования Земли на ней проживало свыше 500 млрд видов живых существ. В настоящее время на Земле насчитывается около 2 млн видов животных, из них 75 % – насекомые. Млекопитающих всего 3500 видов, из них 2500 видов – грызуны.

Суммарная масса живого вещества на Земле составляет на континентах 2420 млрд тонн, из них 99,2 % – растения; в океанах 3,2 млрд тонн, растений всего 6,8 %.

Ряд ученых связывает появление новых видов разумных существ (и других видов живых организмов) на Земле с резкими изменениями (инверсиями) магнитосферы: уменьшение напряженности магнитного поля ведет к возрастанию облученности земной поверхности заряженными частицами солнечного ветра и космических лучей. 4,2–3,8 млн лет назад магнитные полюса 4 раза поменялись местами; 3,2–2,8 млн лет назад произошли еще 4 инверсии; последнее крупное изменение магнитного поля произошло около 40000 лет назад и совпало по времени с появлением кроманьонцев и вымиранием неандертальцев.

Существует также гипотеза о возникновении предков чел. около 5,5 млн лет назад в результате мутаций, вызванных усилением радиации в местах работы «естественных ядерных реакторов»: формирование Великого Африканского рифта происходило от 20 до 10 млн лет назад и в районе цепи Великих Африканских озер в глинистых линзах Окло (длиной до 0,5 км и толщиной до 10 м) концентрация урана повысилась от 0,5 % до 40 %, внутри них стали протекать цепные ядерные реакции.

Методика проведения II занятия (желательно провести это занятие через 1-2 недели после первого).

Рекомендуемые темы докладов и сообщений:

1. «Что такое разум?» – доклад с последующей краткой дискуссией.
2. Теории о происхождении человечества – доклад, 2-3 сообщения.

3. «Где и как искать внеземные цивилизации?», «История поиска ВЦ», «Программы SETI и SETI», «Поиск ВЦ российскими учеными» – доклады и сообщения.

4. «Первый контакт», «Посещали ли они Землю?», «Загадки НЛО» – доклады, сообщения, для подготовки которых используется научно-фантастическая литература (произведения И.А. Ефремова, А. Кларка, С. Лема, А. Н. и Б.Н. Стругацких).

Целью первого доклада «Что такое разум?» является попытка определения понятия, относящегося к фундаментальным, категориальным научным понятиям; в науке до сих пор нет его единого общепринятого определения. Работа над определением понятия «разум» в ходе дальнейшей дискуссии аналогична определению понятия «жизнь». Следует предложить сформулировать понятия «общество» и «цивилизация».

Далее обучаемые знакомятся с основными гипотезами о происхождении людей, которые можно разделить на 3 группы: 1) антинаучная религиозная гипотеза о «божественном» происхождении человечества; 2) люди возникли в результате деятельности инопланетян или являются их прямыми потомками – в свете современных открытий в генетике эта наукообразная гипотеза не выдерживает никакой критики; 3) появление *Homo sapiens* является закономерным этапом эволюции живых организмов на Земле.

Следует обсудить гипотез, в котором педагог должен помочь правильно проанализировать содержащиеся в докладах предположения ученых, выделить из них наиболее правдоподобные и ненавязчиво привести учеников к выводу о полной несостоятельности гипотезы «божественного сотворения» чelов. Обучаемые должны прийти к выводу, что несмотря на остающуюся неопределенность в вопросе о происхождении людей на Земле, не вызывает сомнения факт в их естественном и «земном» происхождении на определенном этапе развития жизни на нашей планете.

В ходе краткой беседы определяют условия, необходимые для появления и развития разумных существ. Оговариваются условия существования и поиска внеземных цивилизаций. Выводится (объясняется) формула Дрейка.

Заслушиваются и обсуждаются доклады и сообщения «Где и как искать ВЦ?», «История поиска ВЦ», «Программы SETI и SETI», «Поиск ВЦ российскими учеными». На основе попыток объяснения парадокса Ферми завязывается дискуссия об основных путях развития и судьбах космических цивилизаций. Обучаемые приходят к выводам:

1. В настоящее время деятельность человечества становится фактором глобального геофизического и даже космического масштаба, оказывающим воздействие на атмосферу, гидросферу, литосферу Земли и околоземное космическое пространство, а в перспективе – на всю Солнечную систему.

2. Разумная деятельность Сверхцивилизаций может оказывать влияние на эволюцию неживой и живой материи в масштабах Галактики и даже Метагалактики.

Завершает занятие веселая беседа, связанная с докладами «Первый контакт», «Посещали ли они Землю?» и «Загадки НЛО».

Справочный материал:

Предположения о возможности существования внеземной жизни и разума высказывались многими выдающимися учеными прошлого: Эпикуром и Лукрецием Каром, Дж. Бруно, И. Кеплером, Х. Гюйгенсом, И. Ньютоном, В. Гершелем, Л. Лапласом, М. В. Ломоносовым, И. Кантом, К. Э. Циолковским. В конце XIX в. были разработаны первые научные проекты связи с ВЦ (К. Гаусс, фон Литтров, Кро и др.). В 1876 г. российский ученый Э. Невиус в книге «Величайшая задача нашего времени» сформулировал проблему установления связи с ВЦ, рассмотрел технические возможности первого контакта и предложил язык космической связи на принципах математической логики. В 1900 г. Парижская Академия Наук учредила премию для первого чел., вступившего в контакт с представителями ВЦ «помимо Марса», поскольку в существовании высокоразвитой марсианской цивилизации почти никто не сомневался. О необходимости установления «телефонного сообщения» между Землей и Марсом К. Фламарион заявлял в 1892 г. (до изобретения радио!). К.Э. Циолковский в 1934 г. писал: «В ближайшем будущем короткие радиоволны пронизуют нашу атмосферу и станут основным средством межзвездной связи».

Число галактических цивилизаций, способных в данный момент времени t вступить в контакт между собой, определяется формулой: $N_G(t) = N^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot F \cdot q$,

где N^* – общее число звезд в Галактике;

f_p – доля звезд с планетными системами;

n_e – среднее число планет в необходимых для возникновения жизни условиями в каждой планетной системе;

F – вероятность возникновения космической цивилизации на данной планете;

q – вероятность способности данной цивилизации к контакту с другими в момент t .

Формула Дрейка определяет численность планет Галактики, на которых в настоящее время существует разумная жизнь: $N_0 = \frac{N^* \cdot F_d \cdot L_c}{t}$, где F_d – вероятность того, что на любой пригодной для существования жизни планете к моменту времени t возникнет коммуникативная (способная и стремящаяся к контакту космическая цивилизация); L_c – средняя продолжительность коммуникативной фазы космических цивилизаций. Время t отсчитывается от момента образования звезд I поколения.

Для космических цивилизаций земного типа коэффициент F_d должен учитывать вероятности возникновения жизни, возникновения разумных существ и возникновения коммуникативной цивилизации.

Оценка отдельных величин в формуле Дрейка в различных расчетах ученых значительно различается и весьма субъективна: $10^{-6} < F_d < 1$. Некоторые ученые (А. Уоллес, И. С. Шкловский и др.) считают нашу цивилизацию единственной во Вселенной.

Контактом космических цивилизаций называется любое взаимодействие между ними.

Наиболее вероятно осуществление контакта по различным каналам связи (при помощи направленных радиопередач и т.д.). Наиболее эффективны контакты, предусматривающие двусторонний или даже многосторонний обмен информацией в течение больших промежутков времени («Великое Кольцо» в романах И. А. Ефремова). Эффективность обмена информацией определяется расстоянием между цивилизациями и скоростью распространения сигнала. Для молодых, желающих вступить в контакт, изолированных в пространстве или находящихся в критическом положении и т. д. цивилизаций вероятна возможность всенаправленной односторонней передачи информации («Всем, всем, всем!»).

Менее вероятны непосредственные, взаимные или односторонние контакты – посещения представителями космической цивилизации других разумных веществ. Случайная встреча представителей разных космических цивилизаций почти невероятна; посещению предшествует контакт по каналам связи.

Межзвездные перелеты требуют огромных материальных и энергетических затрат, доступных лишь цивилизациям II типа. Нерелятивистские полеты возможны лишь к ближайшим звездам, но даже в этом случае требуют особой подготовки (сон-хибернация для постоянного экипажа; смена поколений внутри корабля; полет в один конец без возвращения)

(описаны в фантастических произведениях: И. Ефремова «Звездные корабли», Р. Хайнлайн «Пасынки Вселенной», К. Саймак «Поколение, достигшее цели» и т. д.). Релятивистская астронавтика также накладывает ряд ограничений на дальность полета проблемой ценности доставляемой информации ввиду необходимости учета эффектов общей и специальной теории относительности (теоретически, при скорости корабля $v \sim c$ возможно за время жизни одного экипажа $t \approx 10\text{--}20$ лет по часам корабля совершить полет, например, к галактике М 31 (3,5 млн св. лет), но экипаж вернется на Землю спустя 7 млн лет после старта! (С. Лем «Возвращение со звезд»). Галактодромия возможна лишь для цивилизаций III типа, но и для них является дорогим удовольствием! Так, теоретическая возможность существования топологических тоннелей («кротовых нор» или мостов Эйнштейна-Розена) в форме парных систем из черной и белой дыр, соединяющих любые удаленные области Метагалактики или даже Мини-Вселенной, представляет возможность для непосредственного контакта цивилизаций. При массе системы $5 \cdot 10^{22}$ кг возможна мгновенная связь с помощью электромагнитного излучения, а если «передатчик» – черная дыра массой в $10^5 M_{\odot}$, то можно даже мгновенно путешествовать в любую область Вселенной, где установлен соответствующий «приемник» – белая дыра (К. Саган «Контакт»). Но даже при освоении галактодромии парадоксальными цивилизациями при осуществлении прямых контактов между ними встает множество проблем (С. Лем «Солярис», «Эдем», «Фиаско»). Поэтому наиболее удобными представляются контакты «смешанного типа», предусматривающие исследование предполагаемого района существования космических цивилизаций с помощью автоматических межзвездных зондов, передающих полученную информацию по каналам связи.

Статистический подход – рассмотрение произвольно выбранного времени t_0 от возникновения разумной жизни до создания коммутативной цивилизации – дает нижнюю оценку числа ВЦ в Галактике без учета возможности возникновения качественно иных, непохожих на земные, форм жизни и разума. При $F \geq 0,01$ возможное количество космических цивилизаций в Галактике $1 \leq N_0 \leq 10^9$. Оптимисты 60-х годов считали, что в настоящее время в Галактике существует от 100000 до 1000000 развитых космических цивилизаций.

Великая астрономическая революция XX в., возникновение и развитие радиоастрономии и космонавтики сделало **проблему SETI** («поиск внеземного разума») актуальной научной задачей, чрезвычайно популярной в широких кругах общественности.

В Советском Союзе проблемой существования, поиска и контакта с ВЦ занимались такие известные ученые, как И. С. Шкловский, Н. С. Кардашев, С. А. Каплан, В. Ф. Шварцман, П. В. Маковецкий, В. С. Троицкий и другие; секция «Поиски сигналов внеземных цивилизаций» при Научном Совете по проблеме «Радиоастрономия» АН СССР была создана в 1964 г., затем она была преобразована в секцию «Поиски космических сигналов искусственного происхождения», ею руководил академик В.С. Троицкий. В 1999 г. секция под названием «Поиски внеземных цивилизаций» вошла в состав научного совета по астрономии РАН; председателем ее является академик Н.С. Кардашев.

За рубежом (в основном в США) аналогичную работу вели ученые Ф. Крик, К. Таунс, Дж. Платт, К. Флэннери, Ф. Дрейк, Дж. Коккони, Ф. Моррисон, К. Саган и многие другие.

В начале 60-х годов были сформулированы **классические принципы SETI**:

1. Внеземные цивилизации стремятся установить межзвездную связь друг с другом и с земной цивилизацией.
2. Оптимальным средством контакта с ВЦ являются электромагнитные (радио-) волны.
3. Узкополосные, переменные во времени, повторяющиеся сигналы ВЦ должны исходить из точечного радиисточника, практически совпадающего с похожей на Солнце звездой.

К настоящему времени проведено свыше 60 экспериментальных попыток обнаружения сигналов ВЦ и 84% из них основывались на вышеперечисленных принципах.

Первые работы (проект ОЗМА) по поиску радиосигналов на волне 0,21 м от звезд t Кита и e Эридана были проделаны в 1960 г. Ф. Дрейком. В 1962 г. из Центра дальней космической связи советскими учеными было отправлено первое безадресное послание ВЦ. В 1970–1980 гг. поиск импульсных радиосигналов со всей небесной сферы с помощью всенаправлен-

ной антенны в сантиметровом и дециметровом диапазонах длин волн вели В. С. Троицкий и Н. С. Кардашев. В ноябре 1974 г. в направлении шарового звездного скопления М13 (24000 св. лет) было отправлено радиосообщение о нашей земной цивилизации. Сведения о Земле и человечестве содержатся на борту АМС, покидающих пределы Солнечной системы.

К середине 80-х годов определились основные положения стратегии активного поиска ВЦ с целью осуществления контакта, исходящие из предположения о наиболее вероятном существовании КЦ на поверхности планет земной группы, входящих в состав планетных систем звезд классов F5 – K5, и о том, что энергетический потенциал и технологические возможности этих цивилизаций сравнимы или превосходят аналогичные возможности земной цивилизации.

1. Поиск следов астроинженерной деятельности космических цивилизаций.

К настоящему времени в нашей стране и за рубежом разработано много различных проектов преобразования околоземного космического пространства и Солнечной системы – от создания многочисленных орбитальных станций и крупных космических поселений вокруг Земли и вокруг Солнца («эфирных городов» К. Э. Циолковского) до постройки искусственных биосферных систем на поверхности планетных тел (в том числе искусственно сконструированных), колец и сфер Ф. Дайсона (США) с целью возможно более полного использования энергии Солнца. Аналогичные объекты могут быть обнаружены в космосе как локальные, очень близкие к звездам источники инфракрасного (ИК-) излучения ($\lambda \approx 3\text{--}10$ мкм), звезды с аналогичным избытком ИК-излучения и нетеплового циклотронного радиоизлучения. В настоящее время известно 98 ИК-источников с эффективной температурой 110-120 К и 280-290 К; 58 из них являются неотожествленными объектами.

Требования космической экологии породили проекты поиска радиоактивных облаков отходов ВЦ в космосе.

Астроинженерная деятельность цивилизаций III типа может принимать вид и масштабы «космического чуда» – наблюдаться в форме крупномасштабных космических проектов, процессов или явлений, необъяснимых или даже невероятных с точки зрения современной науки, существование которых нарушает известные законы науки.

2. Поиск следов посещения Земли представителями ВЦ можно вести по направлениям:

а) поиск внеземных артефактов – объектов или процессов, образование или существование которых на Земле не может быть объяснено естественными причинами. Такие объекты могут быть просто «космическим мусором», отходами жизнедеятельности ВЦ (А. и Б. Стругацкие «Пикник на обочине») или искусственно созданными системами для наблюдения за земной цивилизацией (А. Кларк «Космическая одиссея»). Наиболее перспективными районами поиска ряд ученых считает полярные районы Луны. Научные основы поиска артефактов ВЦ рассматриваются в исследованиях А.В. Архипова. По его расчетам вокруг звезд цивилизаций II типа существует «техногенная зона» и от 3 % до 15 % продуктов их космической деятельности рассеивается в межзвездной среде;

б) поиск следов посещения Земли в историческом прошлом на основе изучения памятников материальной и духовной культуры;

в) поиск следов посещения Земли в отдаленном прошлом на основе изучения генетики живых существ: некоторые современные ученые считают перспективным возможность включения информации в генетическую структуру клетки. «Биологический» канал связи способен существовать столь же долго, как и жизнь на планете, обладает высокой информационной емкостью, устойчивостью к помехам и доступен для «прочтения» лишь на высоком уровне развития местной цивилизации;

г) изучение аномальных явлений (АЯ, НЛЮ), исходящее из допущения, что часть их представляет исследовательские устройства (автоматические межзвездные зонды или даже пилотируемые КЛА) ВЦ.

Следует отметить, что благодаря любителям легких сенсаций, газетной шумихи и книг и фильмов Э. Фон Деннигена, А. Казанцева и т. д. научная проблема поиска следов посещения инопланетянами Земли приобрела такую скандально-дурную славу, что серьезные ученые стали стесняться своей принадлежности к данной области исследований.

3. Поиск сигналов ВЦ. Очень важен выбор оптимального диапазона электромагнитных волн, который должен иметь минимум принципиально неустранимых помех и ослаблений сигнала под действием различных факторов.

С точки зрения современной науки для поиска сигналов ВЦ с целью установления контакта оптимальным является коротковолновой участок радиодиапазона ($10^{-4} < l < 1$ м). Для цивилизации с равным или незначительно превосходящим земной уровнем развития и аналогичной техникой связи наиболее вероятны узкополостные искусственные сигналы в диапазонах $l = 0,21$ м (линия излучения космического водорода), $l = 0,18$ м (линия излучения гидроксила ОН) и $l = 1,35$ см (линия водяного пара H_2O), сигналы на кратных частотах или частотах, скомбинированных из основной частоты и математических постоянных, а также позывные, распределенные по широкой полосе частот с целью облегчения поиска сигнала. Высокоразвитые цивилизации II типа могут генерировать широкополостные мощные сигналы.

Еще одним направлением поиска радиосигналов ВЦ может быть радиоперехват передач с борта внеземных КЛА, находящихся в Солнечной системе.

Возможность обнаружения радиосигнала определяется отношением мощности сигнала a к мощности шума и зависит от характера сигнала. Для его обнаружения необходимо, чтобы $a > 1$; при $a < 1$ получателю нужно знать код отправителя. В последние годы в России была разработана методика поиска слабых сигналов ВЦ «под шумами» (Н.Т. Петрович).

Для обмена информацией между вступившими в постоянный контакт КЦ более предпочтителен оптический диапазон электромагнитных волн, поскольку обладает высокой пропускной способностью, устойчивостью к помехам и возможностью осуществления энерго-сберегающих остронаправленных передач при помощи лазера. Еще более перспективными являются рентгеновские и γ -диапазоны электромагнитных волн.

В ближайшем обозримом будущем создание приборов и способов регистрации нейтринного излучения, торсионного излучения и гравитационных волн представит новые возможности для поиска сигналов ВЦ.

Осуществление контакта при помощи средств связи выполняется в последовательности: а) прием позывных ВЦ, способных привлечь внимание получателя, облегчая для него обнаружение сигнала, указывать на его искусственное происхождение (иметь необычный спектр, особенности поляризации, временные изменения и т.д.) и нести определенное минимальное количество полезной информации, ключ к передаче основного сообщения (указание на полосу частот, способ кодирования и т.д.); б) прием основного сообщения, расшифровка, обработка и осмысление полученной информации; в) послание ответного сигнала и вступление в двусторонний (многосторонний) контакт с ВЦ. Контактующие стороны должны предусматривать хотя бы минимальные информационные гарантии, что взаимодействие между ними не будет связано с серьезными потенциальными опасностями.

...Каковы на сегодняшний день результаты работы SETI? За 35 лет был зарегистрирован ряд явлений, не имеющих объяснений с точки зрения современной астрофизики или земных причин и допускающих искусственное происхождение. Это многочисленные кратковременные вспышки радиоизлучения длительностью от 0,001 до 50 с на частотах 390–2900 Гц, причем свыше 20 из 59 сигналов наблюдались затем повторно. В августе 1977 г. астрономическая лаборатория университета Огайо (США) зарегистрировала из созвездия Стрельца узкополостной радиосигнал ($l = 0,21$ м) продолжительностью 37 с, отвечающий всем классическим принципам искусственности.

Отрицательных результатов поиска намного больше:

Отсутствие других разумных существ и, возможно, жизни в пределах Солнечной системы.

Из 53 ближайших, в радиусе 10 пк, звезд лишь 2 удовлетворяют условиям, допускающим существование планетных систем с протяженной «зоной жизни» (t Кита и e Индейца). Посланные к ним радиосообщения остались без ответа.

Хотя вблизи центра Галактики по расчетам ученых не менее 20000 звезд, похожих на Солнце, в планетных системах которых может существовать до 1000 ВЦ, скорость прохождения радиосигнала (27000 св. лет в один конец) делает невозможным установление двусторонней связи.

Все попытки обнаружить на Земле и в околоземном космическом пространстве следы современной или хотя бы древнейшей деятельности ВЦ, закончились неудачей, включая независимые, полномасштабные исследования НЛО (НАЯ), финансировавшиеся в 60-е годы Пентагоном в США, а в 70-е годы Министерством обороны СССР.

Возник «астросоциологический парадокс», заключающийся в «большой вероятности полной цивилизации Вселенной и отсутствии в настоящее время каких-либо наблюдаемых проявлений космической деятельности разумных существ» (Н.С. Кардашев).

Современная наука не отрицает возможности существования внеземных цивилизаций, но и не располагает какими-либо достоверными свидетельствами существования ВЦ.

...Несколько раз возникала «ложная тревога»: были открыты новые, неизвестные науке космические объекты, процессы, явления, демонстрировавшие ученым-первооткрывателям признаки искусственности.

Открывшие нейтронные звезды-пульсары – источники импульсного радиоизлучения – английские ученые Э. Хьюиш и Дж. Белл в 1967 г. несколько месяцев хранили в секрете от всего мира результаты наблюдений, пока не убедились в «естественном» происхождении таинственных сигналов. Аналогичная история произошла при открытии космических мазеров – источников когерентного радиоизлучения межзвездного гидроксила OH и водяного пара в областях звездообразования и оболочках переменных звезд (Х. Уивер и другие, США, 1965-1969 гг.).

«Существует реальная опасность, что SETI может быть использован как военная часть национальных космических исследований» – считает американский ученый А. Е. Гудман. Выводы ученых, исследовавшие в 60–70-е годы НЛО (НАЯ), были засекречены 20 лет. Даже в наше время установление контакта с ВЦ каким-либо одним государством привело бы к росту международной напряженности, а в годы «холодной войны» могло привести к вооруженному конфликту (Ч. Айтматов «И дольше в. длится день»).

В 1989 г. Международный институт космического права и Академия астронавтики разработали «Декларацию принципов действий, последующих за обнаружением внеземной цивилизации». Цель принятия документа – «обеспечение высоких стандартов, научной ответственности и достоверности информации»: «§1. Первооткрыватель ... должен проверить, что наиболее правдоподобным объяснением ... является существование внеземного разума, а не какой-либо природный или антропогенный феномен. §2. ...Стороны этой декларации не должны разглашать публично информацию до выяснения надежности существования внеземного разума. Первооткрыватель должен проинформировать свои национальные власти.

...Декларация запрещает первооткрывателю посылать ответный сигнал ВЦ до проведения надлежащих международных консультаций...».

К настоящему времени сформировалось понимание всей серьезности и трудности решения проблемы SETI как с научно-технической, так и с других точек зрения. Так, например, мощность всенаправленного радиомаяка для установки первоначального контакта с ВЦ, удаленных до расстояния в 1000 св. лет, должна составлять 10^{18} Вт, а его масса 0,2M_☉ или $5 \cdot 10^{19}$ тонн; по экологическим соображениям его следует удалить далеко за пределы планетной системы.

При одновременной работе множества передатчиков их излучение перекрывается, становится широкополосным и протяженным во времени.

Несовпадение эпох технического уровня цивилизаций: Характерная шкала технологического уровня цивилизации Земли (около 200 лет) в 10 млн раз меньше промежутка времени, которое прошло от возможного возникновения самых ранних цивилизаций Галактики (2 млрд лет), а по мнению Н.С. Кардашева, первые цивилизации Метагалактики могли возникнуть уже через 6 млрд лет после «Большого Взрыва».

Автономные КЦ на технологической стадии развития не могут позволить себе создание дорогостоящих и энергоемких проектов космических радиомаяков и организации межзвездных экспедиций.

Будут ли ВЦ стремиться установить контакт с нестабильными и агрессивными цивилизациями, к каким принадлежит человечество?

Существует критическая величина численного состава Метацивилизации ($n \sim 10^3$), превышение которого ведет к резкому снижению эффективности их совместного развития: установившейся Метацивилизации ВЦ новые контакты не только не нужны, но и противопоказаны.

Поиск ВЦ продолжается: к настоящему времени исследована лишь 10^{-17} части объема потенциального местонахождения цивилизаций Галактики. На исследования SETI в США ежегодно расходуется 12–14 млн долларов. В СССР и России с 1989 г. реализуется программа поиска радиосигналов ВЦ «Зодиак». Исследования ведутся в диапазоне длин радиоволн 1.38, 2.7, 3.9, 7.6, 13.0, 21.0, 31.0 см с использованием радиотелескопа РАТАН-600 и в оптическом диапазоне при помощи 6-метрового БТА. К 2000 г. было обследовано 35 солнцеподобных звезд, в т.ч. 5 звезд с планетными системами. Четыре наиболее перспективных объекта (W252 и др.) исследуются при помощи сети крупнейших радиотелескопов мира в рамках программы VLBI. Поиск оптических сигналов ВЦ ведется при помощи уникального комплекса аппаратуры САО (Россия). Поиск астроинженерных сооружений ВЦ ведут ученые АКЦ ФИАН (М.Ю. Тимофеев, В.Г. Промыслов и др.) под руководством академика Н.С. Кардашова. С 1999 г. в рамках международной программы «Cosmic Call» («Космический зов») при помощи планетарного радиолокатора (Россия, Украина) к ближайшим звездам классов F5-K5 посылаются радиосообщения, содержащие информацию о земной цивилизации и участниках проекта. В сентябре 2001 г. к 6 звездам спектральных классов G1-G5 (HD 197076 Дельфина; HD 50692 Близнецов; 47 Большой Медведицы; HD 126053 Девы; HD 76151 Гидры; HD 19364 Дракона), наличие планетных систем у которых установлено или предполагается, было отправлено первое радиопослание от детей Земли, включавшее в себя музыкальную часть, рисунок-эмблему, текст на русском и английском языках и словарь образов.

Лекция 16

Галактика

• Основные физические характеристики, структура и свойства

Наша **Галактика** – «пересеченная» спиральная космическая система типа SBb или SBc, массой около $5 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ (10^{42} кг), диаметром до 100 000 св. лет, состоящая из 150–200 млрд звезд, 10 000 галактических молекулярных облаков и туманностей, черных дыр, белых и коричневых карликов, планетных тел и других космических объектов. 95 % массы видимого вещества Галактики сосредоточено в звездах, 5 % – в межзвездном диффузном газе. Возраст Галактики около 13,5 млрд лет.

Мы изучаем свою Галактику изнутри, что затрудняет определение ее формы, структуры и некоторых физических характеристик. Нашим наблюдениям доступно лишь около 1 % звезд Галактики. Поэтому другие, соседние галактики исследованы гораздо подробнее, нежели наша Галактика. С каждым годом ученые пополняют и уточняют данные о нашей Галактике: так, всего 10 лет назад считалось, что она относится к нормальным спиральным галактикам, а Солнечная система находится гораздо дальше от ее центра.

Основная часть образующих Галактику звезд наблюдается с Земли как опоясывающая все небо белесая, слабосветящаяся полоса неправильных очертаний – **Млечный Путь**, в котором сливается сияние миллиардов далеких звезд. На его фоне в созвездиях Лебедя, Змееносца, Щита, Стрельца невооруженным глазом видны темные, поглощающие звездный свет космические газопылевые облака. В этом направлении, в районе созвездий Стрельца, Щита, Скорпиона Млечный Путь становится наиболее широким и ярким. Там, в созвездии Стрельца находится центральная часть – ядро Галактики диаметром около 2000 св. лет. Эти данные свиде-

тельствует о том, что наша Галактика не круглая (эллиптическая) и не неправильная по форме, а сильно сплюснутая звездная система. В ее диске сосредоточено почти 90 % звезд, туманностей и других космических тел.

О чем нам говорит форма Галактики? Могла ли она образоваться из протогалактического облака неправильных очертаний? (*Нет, вначале облако было круглым или почти круглым*). Под действием каких сил оно сжималось? (*гравитации, тяготения*). Равномерно ли оно сжималось (*нет, быстрее всего сжималась центральная часть облака*). Значит, там образовались (*звезды, черная дыра*).

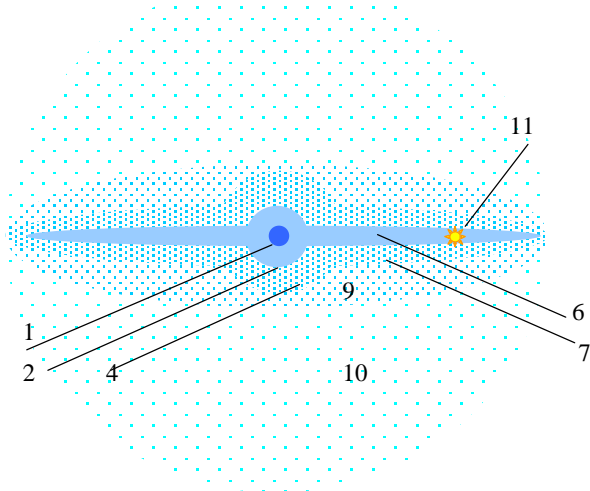
Если облако вначале было сферическим, а затем в ходе сжатия «сплюснулось», то какие еще силы, помимо гравитации, воздействовали на эволюцию облака в процессе сжатия? (*сила давления сжимающегося газа, центробежная сила*). Значит, наша Галактика сейчас должна ... (*вращаться*). Будет ли она вращаться как единое целое, как твердое тело (*нет*). Быстрее всего будут вращаться ... (*центральные части, ядро*), а медленнее всего ... (*окраины галактики, периферия*). При резком сжатии центральной части облака в веществе вокруг него распространялась... (*взрывная, ударная волна*). Будет ли она распространяться равномерно во все стороны или станет отклоняться под действием центробежной силы? (*Поскольку облако вращалось, то ударная волна будет отклоняться, закручиваться*). Где будут образовываться звезды в первую очередь? (*там, где плотность вещества выше – т.е. в центральной части облака и на гребне сжимающей вещество ударной волны*). Значит, какую форму должна иметь наша Галактика? (*спиральную*).

Рассмотрим строение Галактики:

В середине ядра Галактики есть сгущение – кern. В нем скрываются скопление голубых сверхгигантов из 50000 звезд и гигантская черная дыра массой около 4,6 миллионов масс Солнца. В ядре сосредоточено около трети всех звезд и половина туманностей Галактики. Оно скрыто от нашего зрения мощными темными газопылевыми облаками: на расстоянии от 4 до 8 тысяч парсек от галактического центра находится плотное скопление ГМО массой до 3 млрд масс Солнца – «молекулярное кольцо» Галактики. В их отсутствие ядро Галактики было бы самым ярким после Солнца и Луны небесным светилом.

Ядро пересекает звездная полоса (перемычка) – бар длиной до 10 000 св. лет, из концов которого начинают закручиваться спиральные ветви-рукава: ветвь Стрельца, ветвь Персея и ветвь Ориона. Они состоят из молодых, белых и голубых звезд и туманностей, охваченных процессами звездообразования.

Галактика: вид «сбоку»:



Галактика: вид «сверху»:

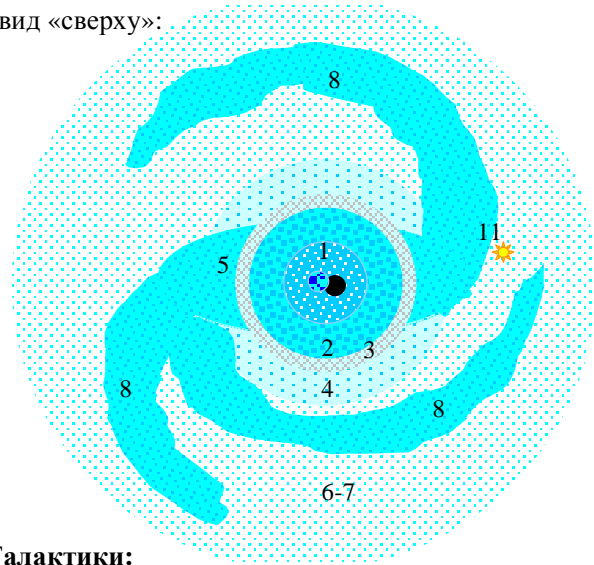


Рис. 96. Строение Галактики:

- 1 — ядро;
- 2 — ядро Галактики;
- 3 — зоны концентрации туманностей и ГМО вокруг ядра;
- 4 — балдж («вздутие»): сферическое население центра Галактики;
- 5 — бар — галактическая «перемычка»;
- 6 — плоская подсистема (звезды классов О, В, А и звездные ассоциации);
- 7 — диск Галактики (звезды главной последовательности);
- 8 — спиральные рукава (диффузные газопылевые туманности, молодые звезды классов О, В, А, F);
- 9 — промежуточная составляющая (старые звезды, долгопериодические переменные);
- 10 — сферическая составляющая подсистема — (старые звезды, шаровые скопления, белые карлики);
- 11 — солнечная система.

Солнечная система находится в плоскости Галактики близ рукава Ориона в 26000-27000 св. лет от центра Галактики. Солнце перемещается относительно ближайших звезд со скоростью 20 км/с в направлении созвездия Геркулеса и вместе с ними вращается вокруг центра Галактики со скоростью 250 км/с в направлении созвездий Лебедя и Цефея. Точка небесной сферы, в направлении которой движется Солнечная система, называется апексом.

Период обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики составляет 195-220 млн лет. Средняя продолжительность этого «галактического года» (T_G) равна 213 млн лет. С момента возникновения Земли прошел 21 галактический год, 5 млн лет назад Земля «отметила» начало нового, 22-го года.

Скорость обращения галактических рукавов ниже скорости движения отдельных звезд на том же расстоянии от центра Галактики. Поэтому все звезды, туманности и другие космические объекты на своем пути вокруг центра Галактики несколько раз в галактический год проходят сквозь ее спиральные рукава.

Концентрация космической среды в спиральных рукавах в десятки и сотни раз выше, нежели в окружающем пространстве (до 10^{-21} кг/м³). Поэтому они вблизи своих границ притягивают вещество, сообщая ему дополнительное ускорение: при приближении к ним — положительное, при удалении — отрицательное.

Звезды и другие массивные, плотные и сравнительно небольшие по размерам объекты проходят сквозь рукава, почти не взаимодействуя с их веществом.

Так, Солнечная система на протяжении галактического года 4 раза проходит сквозь галактические рукава. Промежутки времени между ними названы галактическими «сезонами» («временами года»): галактической весной, летом, осенью и зимой. Их продолжительность разная: от 30 до 85 млн лет.

Наибольшее периодическое воздействие космических процессов на земную мантию, кору и магнитное поле Земли происходит на границе соседствующих галактических лет: в канун «Нового года» и на границах между «сезонами», при прохождении Солнечной системы сквозь галактические спиральные рукава. Во время «галактической зимы» происходит глобальное похолодание, общее поднятие материков и усиление сейсмической и вулканической активности; в ходе «галактического лета» – глобальное потепление, опускание суши и увеличение площади океанов; второй и четвертый циклы носят промежуточный характер. Смена циклов сопровождается изменением характеристик магнитного поля планеты, климата, обновлением животного и растительного мира.

А что будет происходить при прохождении сквозь спиральный рукав ГМО и туманностей? (они будут «сплющиваться», уплотняться, разогреваться). Возникновение ударной волны, распространяющейся внутрь газового облака, сжимающей его, нарушающей условия равновесия, ведет к... (появлению плотных туманностей, газопылевых протозвездных сгущений, возникновению звезд). При рождении каждой новой звезды в облаке распространяется ударная волна, сжимающая газ, способствующая возникновению новых звезд. Процесс звездообразования будет продолжаться, пока на появление звезд не будет израсходована большая часть вещества ГМО.

Таким образом, в спиральный рукав Галактики влетает... (ГМО, туманность), внутри рукава из вещества ГМО (туманности) образуются... (звезды), а из рукава вылетает уже... (группа звезд, скопление), которое окутывают остатки былой туманности.

Так образуются группы из десятков, реже – сотен и тысяч молодых звезд – **звездные ассоциации** размерами от 100 до 500 св. лет возрастом до нескольких десятков миллионов лет. **ОВ-ассоциации** содержат большое число юных горячих массивных голубых, голубовато-белых и бело-голубых звезд. **Т-ассоциации** состоят из белых, бело-желтых и желтых солнцеподобных звезд. Часть звездных ассоциаций, имеющих большие размеры и низкую пространственную плотность звезд, рассеивается в пространстве отдельными звездами; из более плотных ассоциаций с течением времени образуются не имеющие правильных очертаний гравитационно-связанные **рассеянные звездные скопления** размерами в десятки св.

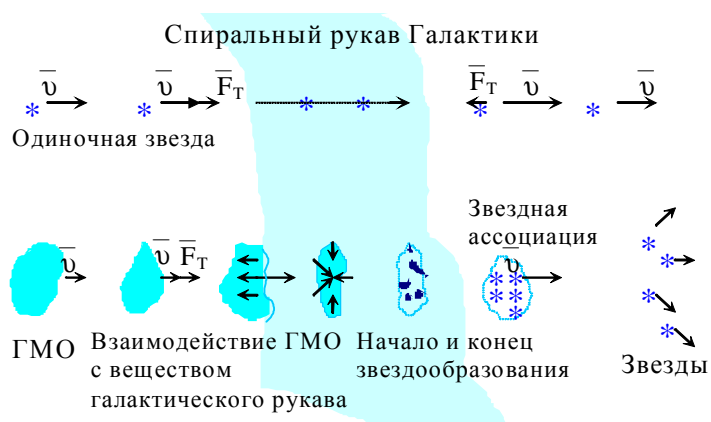


Рис. 97. Прохождение ГМО и звезд сквозь спиральные рукава Галактики

лет, состоящие из десятков и сотен звезд главной последовательности. Многие молодые звездные ассоциации и рассеянные звездные скопления объединяются в **звездные комплексы** размерами 500-1000 пк возрастом до 100 млн лет.

Эволюция древнейших звездных скоплений и ассоциаций привела к образованию **шаровых звездных скоплений** – имеющих правильную сферическую форму гравитационно-связанных систем размерами до 300 св. лет, состоящих из десятков тысяч звезд возрастом 11–13,5 млрд лет.

В нашей Галактике свыше 1000 рассеянных и свыше 100 шаровых звездных скоплений.



Рождение звезд в Галактике на протяжении миллиардов лет уменьшает концентрацию межзвездного газа и замедляет темпы звездообразования вплоть до полного прекращения из-за «нехватки сырья» на формирование звезд последующих поколений. В прошлом темп звездообразования был значительно выше. Сейчас во всей Галактике ежегодно в звезды превращается межзвездный газ массой от $4 M_{\odot}$ до $10 M_{\odot}$. Он должен возобновляться, иначе полностью исчерпался бы в первые 1–2 млрд лет жизни Галактики. Основным «поставщиком» межзвездного газа являются звезды, особенно на последних стадиях своей эволюции: «испаряющиеся» голубые и красные гиганты и сверхгиганты, вспышки Новых и Сверхновых звезд порождают в год около $1 M_{\odot}$ межзвездного газа. Вероятно, Галактика притягивает газ из окружающего ее пространства (до $1,2-2 M_{\odot}$ в год). Поэтому количество межзвездного газа в Галактике уменьшается очень медленно. Зато заметно изменяется его химический состав. В звездах I положе-

ния возрастом 12–13,5 млрд лет концентрация тяжелых элементов составляет около 0,1 %. Звезды II поколения возрастом 5–7 млрд лет содержат до 2 % тяжелых элементов. В молодых звездах III поколения, рождающихся в наши дни, содержится уже 3–4 % тяжелых элементов.

У нашей Галактики есть 16 спутников – мелких галактик, обращающиеся вокруг нее под действием сил тяготения, как Луна вокруг Земли. Самые крупные из них – неправильные галактики Большое Магелланово облако (массой $6 \cdot 10^9 M_{\odot}$) на расстояниях 50 000 пк и Малое Магелланово облако ($1,5 \cdot 10^9 M_{\odot}$) чуть подале, в 60 000 пк.

Что ждет нашу Галактику в будущем?

Через 300 млн лет ее «молекулярное кольцо», образованное газом, стекающим с окраин к центру Галактики, распадется на гигантские молекулярные облака. Они «упадут» в ядро Галактики и там начнется бурное звездообразование.

Через 3 млрд лет с нашей Галактикой столкнется Большое Магелланово облако. Поскольку его «падение» затянется на сотни миллионов лет, а среднее расстояние между звездами Галактики – десятки световых лет, то эта «космическая катастрофа» никак не отразится на Солнечной системе. Несколько миллиардов лет назад подобная катастрофа произошла с карликовой галактикой: в итоге большинство ее звезд рассеялось в Галактике, а центральное плотное ядро наблюдается как крупнейшее шаровое звездное скопление ω Центавра.

Ближайшая спиральная галактика М31 – «Туманность Андромеды» массой $10^{11} - 10^{12} M_{\odot}$ – находится сейчас на расстоянии 750 000 пк от нашей Галактики, но постепенно сближается с ней. Через 6 млрд лет они сблизятся до 20 000 – 400 000 кпк и, возможно, сольются.

Взаимное сближение всех галактик Местной группы может привести к тому, что через $10^{11} - 10^{12}$ лет они сольются в одну Сверхгалактику.

Лекция 17

Галактики

• Основные физические характеристики, структура и свойства

Галактики – гигантские пространственно-обособленные, гравитационно-связанные системы космических тел массой от 10^{36} до 10^{43} кг, размерами от 10^3 до 10^5 пк, возрастом 10–13,5 млрд лет. Основными структурными элементами галактик являются от 10^6 до 10^{13} звезд, сосредоточивающих в себе до 95 % видимого галактического вещества, различные виды туманностей, черные дыры, белые карлики, планетные тела и другие космические объекты.

Разберем определение понятия «галактики»:

Галактики – это системы космических тел: значит, галактики обладают всеми свойствами, присущими материальным системам:

- *пространственно-обособленные:* обособленные в пространстве, имеющие определенные границы, размеры и форму;

- *гравитационно-связанные:* все объекты в пределах галактики неразрывно связаны между собой силами взаимного тяготения;

- *массой от 10^{36} до 10^{43} кг:* массы галактик определяются значениями масс протогалактических облаков, из которых они образовались. Самая массивная из из-

вестных галактик – Малин I в созвездии Девы – $2 \cdot 10^{44}$ кг, в 100 раз массивнее нашей Галактики. Более массивные протогалактические облака «дробились», распадались на отдельные фрагменты, образуя группы галактик. При массе облака менее 10^{36} кг из него «рождались» не галактика, а всего лишь большое звездное скопление.

- *размерами от 1000 до 100000 пк*: размеры галактик определяются величиной протогалактических облаков, из которых они образовались и расстоянием, на котором силы тяготения могут удерживать космические объекты от «убегания» за пределы галактики. Самая большая галактика Абелл 2029 обладает размерами в 8 миллионов св. лет.

- *возрастом от 10 до 13,5 миллиардов лет*: в зависимости от массы, размеров, температуры и других характеристик протогалактических облаков, самые первые галактики возникли менее, чем 1 миллиард лет спустя после «Большого Взрыва», а самые последние – 2-3 миллиарда лет спустя.

- *основными структурными элементами галактик являются от 10^6 до 10^{13} звезд*: количество звезд в галактике зависит от начальной массы протогалактического облака. Подавляющая часть звезд имеет массу, сравнимую с массой Солнца: (10^{30} кг), в пределах от $0,1 M_{\odot}$ до $10 M_{\odot}$. Значит, число звезд в галактике N_* определяется массой галактики M_G : $N_* \sim M_G$. Полное количество энергии, излучаемой галактикой в единицу времени – **светимость** галактики L_G – тоже зависит от количества и характеристик звезд (выражается в сравнении со светимостью Солнца: $L_{\odot} \approx 4 \cdot 10^{26}$ Дж/с). Чем больше в галактике звезд, чем они ярче и горячее, тем больше будут абсолютная звездная величина и светимость галактики.

Эволюция туманностей, планетных тел и других космических объектов в галактике неразрывно связана с эволюцией звезд: звезды и планетные системы образуются из вещества космических облаков – туманностей; другие туманности, черные дыры, белые карлики возникают из вещества «состарившихся» звезд и т.д.

До начала XX в. галактики не выделялись в отдельный тип космических систем и считались особой разновидностью туманностей («спиральными туманностями»). Наука приступила к изучению галактик только в 20-х годах XX в., а крупномасштабное распределение скоплений и Сверхскоплений галактик в нашей части Вселенной было исследовано лишь в 80-х годах.

• Классификация галактик

В зависимости от внешнего вида, формы и структуры выделяют следующие классы галактик:

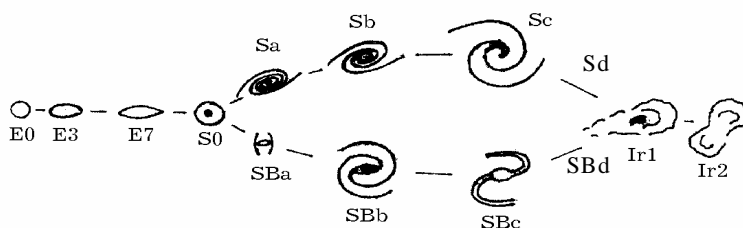


Рис. 99. Схема классификации галактик по Э. Хаббл

1. **Эллиптические галактики** (обозначаются буквой «E») округлой формы с плавно возрастающей к центру яркостью (от 17 до 25 % от общего числа галактик). В зависимости от степени сжатия подразделяются на 8 групп: от сферических E0 до чечевицеобразных E7. Наиболее просты по структуре и составу; не содержат молодых горячих звезд.

2. **Линзовидные галактики (SO)** похожи на сильно сплюснутые эллиптические галактики. Отличаются от них резким увеличением яркости от периферии к

центру с ярким, хорошо выделяющимся ядром (до 20 % общего числа галактик).

3. **Спиральные галактики (S)** – наиболее распространенный класс галактик (до 50 % от общего числа). Обладают оригинальной формой: вокруг яркого ядра наблюдается сферическое вздутие, от которого закручиваются две и более клочковатые спиральные «ветви» («рукава»), содержащие множество туманностей и молодых горячих звезд. По степени развития спиралей и уменьшению видимых размеров ядра подразделяются на 4 подкласса: *a, b, c, d*.

В **нормальных спиральных галактиках** (Sa, Sb, Sc, Sd) ветви закручиваются прямо из ядра.

В **пересеченных спиральных галактиках** (SBa, SBb, SBc, SBd) ядро пересекается по диаметру поперечной звездной полосой («баром»), из концов которой начинают закручиваться спиральные рукава.

4. **Неправильные галактики (Ir)** выделяются отсутствием четко выраженного ядра, неправильной клочковатой структурой (от 5 до 13 % всех галактик). Галактики подкласса Ir1 характеризуются неравномерным распределением яркости, но более равномерным распределением вещества, чем имеющие определенную форму галактики подкласса Ir2.

В отдельные группы галактик выделяют:

Взаимодействующие галактики, связанные между собой «перемычками» или «хвостами» из звезд.

Мелкие **компактные галактики** размерами до 3000 св. лет.

Активные «новорожденные» галактики на завершающих стадиях своего формирования составляют около 1 % от общего числа наблюдаемых галактик. Они выделяются необычайно яркими ядрами, в которых происходят различные бурные процессы. В ядрах активных галактик могут скрываться звездные скопления с плотностью 10^6 – 10^8 звезд/пк³; колоссальные «сверхзвезды» или сверхмассивные черные дыры массой до 10 млн масс Солнца, в которые падает газ в количестве 10^{30} кг в год. В непосредственной близости от сверхмассивных черных дыр формируются струи – «джеты»: на расстоянии 1 парсека от них поток газа сжимается в десятки раз и ускоряется до скорости свыше 1000 км/с, превращаясь в узкую струю длиной в тысячи и десятки тысяч парсек.

В зависимости от основных свойств из общей совокупности активных галактик вычлениют: галактики Сейферта (выделяются интенсивным свечением в ультрафиолетовом диапазоне); радиогалактики, максимум светимости которых лежит в радиодиапазоне; взрывающиеся галактики, из ядер которых выбрасываются мощные потоки раскаленного газа (джеты) и заряженных частиц.

В особый класс космических объектов выделяют **квазаги** и **квазары** – квазизвездные источники оптического и радиоизлучения небольших размеров (менее 1 светового месяца), но необычайной мощности: в оптическом диапазоне они излучают свыше 10^{39} Дж/с – в сотни раз больше обыкновенных галактик, а радиоизлучение квазаров в 100–1000 раз мощнее оптического.

Квазары, квазаги и активные ядра галактик являются закономерными, сравнительно кратковременными начальными стадиями развития нормальных галактик.

Галактики почти не встречаются «поодиночке». Они образуют группы из нескольких десятков галактик, связанных между собой силами тяготения и пере-

мещающихся в пространстве как единое целое. В «Местной группе» 38 галактик.

Расстояния между галактиками в галактических системах превышают их размеры не более чем в 100 раз. Это является одним из следствий **однородности** Вселенной.

Группы галактик объединяются в гравитационно-связанные скопления из сотен и тысяч галактик размерами от 10 до 50 млн световых лет. Наша Местная группа галактик входит в скопление из 200 галактик, большая часть которых наблюдается с Земли в созвездии Девы. Современные астрономы исследуют 7000 галактических скоплений.

Десятки близких скоплений и групп галактик образуют **Сверхскопления** из десятков тысяч галактик размерами от 150 до 500 млн световых лет. В настоящее время известно 50 Сверхскоплений.

В межгалактическом пространстве обнаружены огромные газовые облака (остатки протогалактических туманностей), отдельные звездные скопления и группы звезд. Повсюду рассеяны частицы ионизированного и нейтрального газа, пылинки; пространство пронизывают космические лучи, магнитные поля и электромагнитное излучение. Возможно существование неизвестных пока объектов.

Галактики – основные структурные единицы нашей части Вселенной, называемой «Метагалактикой».

В хорошо исследованной области Метагалактики размерами 5 млрд световых лет насчитывается несколько миллиардов галактик. Общее число галактик в Метагалактике может составлять более $10^{10} - 10^{12}$ объектов, включающих в свой состав свыше $10^{21} - 10^{24}$ звезд.

• Рождение галактик

Процесс формирования галактик из вещества гигантских водородно-гелиевых протогалактических облаков начался почти одновременно во всей Метагалактике менее чем через миллиард лет после ее рождения. В протогалактических облаках с разными физическими характеристиками он шел с разной скоростью и приводил к образованию разных галактик.

Все протогалактические облака сжимались под действием сил тяготения. Конечный результат космического процесса зависел от того, какие силы возникали при сжатии облака и насколько успешно они противодействовали этому сжатию.

1. Если сумма тепловой, вращательной, магнитной и других энергий вещества облака в начале сжатия меньше его гравитационной энергии, сжатие неостановимо. Протогалактическое облако сжимается до размеров гравитационного радиуса и превращается в **сверхмассивную черную дыру**.

Масса этой черной дыры превышает миллионы масс Солнца при крохотных размерах до 1 светового года. Она втягивает в себя остатки газа протогалактического облака (до 10^{32} кг в год!). Падая в черную дыру, газ разогревается до температуры в сотни тысяч и миллионы Кельвин. Энергия излучения сверхмассивной черной дыры, в которую падает вещество из окружающего пространства равна энергии галактики, в которой светят миллиарды звезд¹. Такие объекты называют **квазизвездными источниками излучения**: квазарами и квазагами.

¹ Светимость квазизвездных источников при массе черной дыры $10^7-10^8 M_{\odot}$ достигает $10^{40}-10^{42}$ Дж/с.

Все квазизвездные источники «светятся» недолго, до 100 млн лет, пока не исчерпают весь газ в округе. Но сверхмассивная черная дыра, став почти невидимой, не умирает: срок ее «жизни» может достигать 10^{92} лет! Чем больше масса черной дыры, тем дольше ее «жизнь».

2. Если распределение плотности вещества внутри облака было однородным, то при сжатии облака оно будет разогреваться, увеличивая давление газа. Сила тяготения уравнивается силой давления раскаленного газа. Сжатие облака замедляется и останавливается.

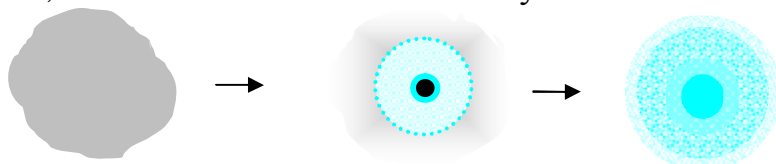
3. Если облако изначально вращалось, то при его сжатии скорость вращения будет возрастать пропорционально уменьшению размеров облака. Сила тяготения уравнивается возрастающей центробежной силой. Сжатие облака замедляется и останавливается.

4. Если плотность вещества увеличивалась с глубиной облака, то при его сжатии вблизи центра облака начинаются мощные процессы образования звезд, уменьшающие концентрацию газа. Гравитационное сжатие уравнивается процессами звездообразования. Сжатие облака замедляется и останавливается.

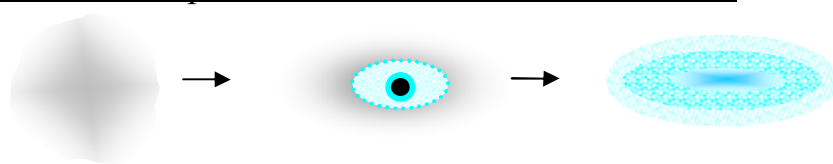
В реальной жизни на эволюцию протогалактических облаков влияли сразу все вышеперечисленные факторы. Будущие характеристики галактики зависели от:

- массы, размеров и формы облака;
- распределения плотности в объеме облака (оно могло быть однородным по плотности, равномерно сгущаться к центру или иметь несколько центров сгущения);
- наличия и скорости вращения;
- температуры и давления вещества и т.д.

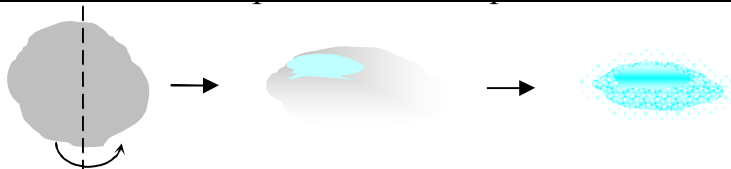
1. Если облако было почти однородно по плотности и не вращалось, то из него образовалась эллиптическая галактика. При полном отсутствии вращения получалась галактика класса E0, при незначительном вращении, по мере его возрастания, возникали все более «сплюснутые» галактики класса E2... E7.



2. Если плотность облака плавно увеличивалась к центру, но не вращалось, то из него образовалась линзовидная галактика.

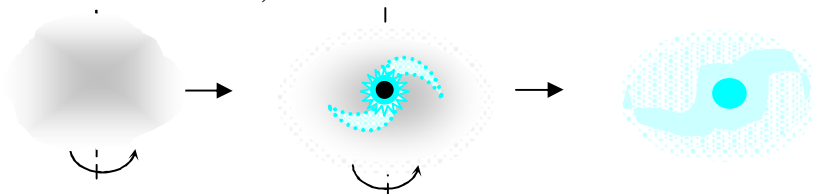


3. Если облако обладало начальным вращением, но было однородным по плотности, то из него образовалась неправильная галактика.



4. Если облако обладало начальным вращением и плотность его увеличивалась по направлению к центру, то из него образовалась спиральная галактика. Об-

лака с наибольшим моментом импульса образовали галактики класса Sc, со средним – галактики класса Sb, с малым – галактики класса Sa.



При формировании эллиптических, линзовидных и спиральных галактик скорость сжатия и плотность вещества протогалактического облака возрастала по направлению к его центру. Процесс звездообразования начинал идти почти одновременно в мелких, более плотных сгустках газа по всему объему облака. Эти туманности сжимались под действием сил тяготения до тех пор, пока в их недрах температура и давление не увеличивались до значений, при которых загораются термоядерные реакции. Рождались звезды, в которых давление раскаленного газа (плазмы) уравнивало силу тяготения. Но в самом большом и самом плотном сгустке вещества в центре облака гравитация была сильнее всех остальных сил. Там возникала сверхмассивная черная дыра, «глотающая» вещество ядра (массы черных дыр в центрах галактик составляют 0,3-0,5 % от их общей массы), часть которого превращалась в излучение. Вспыхивал квази-звездный источник, окруженный охваченным звездообразованием газовым облаком – **протогалактика**.

Вещество протогалактического облака вокруг ядра сжималось давлением сверхмощного излучения квазара и ударной волной, распространившейся в объеме облака при образовании черной дыры. Поскольку плотность вещества в центре облака резко уменьшилась – оно «провалилось» в черную дыру, вокруг которой во всем объеме протогалактического облака разбегалась сжимавшаяся ударная, взрывная волна.

Подобное явление вы можете наблюдать, проткнув надувной шарик. Давление воздуха в нем резко падает и вы слышите громкий хлопок – звуковую «взрывную» волну, распространяющуюся вокруг области с резко изменившейся плотностью среды. Так и в космосе: космическая среда крайне разрежена, но все же не абсолютно пуста. Поэтому при резком сильном изменении ее плотности – сжатии, пульсациях и взрывах космических объектов вокруг них в космическом пространстве распространяются ударные звуковые (акустические) волны. Ученые могут «слышать» (регистрировать) их при помощи специальных приборов.

Сжатие вещества ударной волной и давлением излучения ускоряло процессы звездообразования. Большая часть газа протогалактического облака уходила на образование звезд I поколения и звездных скоплений (из крупных сгустков газа) во всем объеме протогалактики. Одновременно с процессом звездообразования возникала определенная галактическая структура:

В формирующихся эллиптических галактиках число звезд нарастало пропорционально увеличению плотности газа протогалактического облака от далеких окраин к центральной части. В мере сжатия облака оно начинало медленно вращаться. Возникшая центробежная сила «сплющивала» рождающуюся галактику тем сильнее, чем выше была скорость вращения.

В формирующихся линзовидных галактиках сжатие облака и связанное с ним интенсивное звездообразование наиболее быстро происходило в обладавшей наибольшей плотностью центральной части облака. Новорожденная галактика вращалась все быстрее и быстрее, «сплющиваясь» под действием центробежной силы.

В формирующихся неправильных галактиках звездообразование происходило с неодинаковой скоростью в зависимости от плотности вещества и проявления действия сил тяготения, газового давления, центробежной силы, магнитного поля и т.д. в отдельных областях участка облака. Некоторые галактики образовались не в результате гравитационного сжатия отдельных гигантских протогалактических облаков, а в ходе слияния мелких протогалактик.

В быстро вращающихся протогалактических облаках ударная волна из ядра отклонялась центробежной силой: распространялась не радиально, от центра к окраинам, как в эллиптических и линзовидных галактиках, а изгибалась дугой, завивалась спиралью вокруг центра облака. В ядре и на гребне завивавшейся вокруг ядра «спиральной волны сжатия» плотность вещества была наибольшей. Там процессы звездообразования шли наиболее интенсивно. Спиральная структура галактики формировалась менее чем за 1 млрд лет: 2-3 оборота галактики вокруг своей оси. Ветви (рукава) вращаются вокруг центра галактик в ту же сторону, что газ и звезды, но значительно медленнее. Чем массивнее спиральная галактика, тем сильнее сжимает тяготение спиральные рукава, тем они тоньше, тем больше в них звезд и меньше межзвездного газа.

Количество газа, поглощавшегося сверхмассивной черной дырой, быстро уменьшалось с течением времени: ближайший к ней газ она уже «проглотила», а до далекого не могла дотянуться силами тяготения. Мощность излучения черной дыры уменьшалась. Бывший квазизвездный источник становился все более тусклым и превращался в ядро активной галактики, спрятанное за туманностями и новорожденными звездами. «Свободного газа» в галактиках с течением времени становилось все меньше и меньше, процессы звездообразования замедлялись и галактика из активной, яркой, молодой становилась старой, спокойной, «нормальной» галактикой.

Результатом действия сил тяготения в тесных скоплениях галактик является «галактический каннибализм»: крупные массивные галактики притягивают из окружающего пространства менее массивные объекты, делают их своими спутниками и даже поглощают. Так, вероятно, образуются взаимодействующие и некоторые активные галактики.

В начале своей эволюции все галактики имели более высокую светимость за счет большего числа ярких, массивных юных голубых и белых звезд. В процессе эволюции галактик происходит «круговорот» вещества:

- 1) межзвездный газ космической среды сгущается в туманности;
- 2) в туманностях рождаются звезды, в недрах которых в ходе термоядерных реакций возникают тяжелые химические элементы;
- 3) звезды живут и умирают, образуя звездоподобные объекты (белые карлики и нейтронные звезды), черные дыры и небольшие туманности;
- 4) туманности рассеиваются, образуя межзвездный газ космической среды.

В результате этого процесса:

- изменяется, обогащаясь тяжелыми химическими элементами, состав межзвездного газа и каждого последующего поколения звезд;

- общее количество межзвездного газа в галактиках неуклонно уменьшается;

- процессы звездообразования в галактиках замедляются вплоть до полного прекращения;

- количество звезд в галактиках уменьшается, а звездоподобных объектов и черных дыр становится все больше и больше.

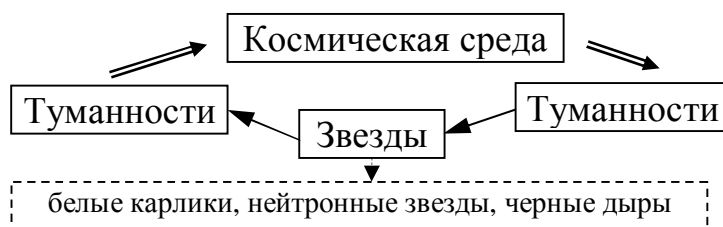
В маленьких эллиптических галактиках процесс звездообразования происходил всего один раз: на образование новых звезд не хватило газа. Весь газ, что не вошел в состав звезд I поколения, был выброшен «звездным ветром» за пределы галактик и рассеялся в окружающем пространстве.

В массивных эллиптических и линзовидных галактиках гравитация втягивает газ из окружающего пространства внутрь галактик, он падает к их центрам и там идут процессы медленного, «скупого» звездообразования...

В спиральных галактиках процессы звездообразования происходят в областях с наибольшей концентрацией космической среды. На цветных фотографиях галактик хорошо заметно, что большинство молодых горячих белых и голубых звезд сосредоточено в плоскости галактических дисков, в спиральных ветвях и вблизи центра галактик. 75 % звезд образуются вблизи плоскости галактического диска в спиральных рукавах, 15% в космических облаках между рукавами и 10 % в ядрах, близ центра галактик.

Вне спиральных рукавов «спусковым механизмом» начала звездообразования могут быть ударные волны при взрывах близких звезд, столкновения облаков между собой, звездный ветер близких голубых сверхгигантов и т.д.

«Эпидемический» характер звездообразования до сих пор характерен для очень богатых межзвездным газом обширных областей неправильных и карликовых галактик; «спусковым механизмом» в них может стать даже возникновение отдельных звезд. В других галактиках такие ситуации возникают гораздо реже...



Лекция 18

Вселенная

Понятие «Вселенная» принадлежит к числу важнейших общенаучных понятий и по-разному определяется в различных областях человеческого познания. С точки зрения обыденного сознания, естественно-математических наук и философии понятие «Вселенная» будет иметь разное содержание, по-разному восприниматься и пониматься. Покажем, как эти разные определения дополняют, уточняют друг друга, помогают нам понять, где, в каком мире, почему и как мы живем.

• Вселенная, движение, пространство и время с точки зрения философии

С точки зрения обыденного сознания обычного челова. «Вселенная – это весь окружающий мир».

Философы определяют понятие «Вселенная» более широко и подробно:

Вселенная – весь объективно существующий материальный мир: все, что мы можем наблюдать и все, что мы можем представить себе на основе современных научных теорий. Вселенная бесконечна в пространстве и вечна во времени: она не имеет ни начала, ни конца, всегда существовала и будет существовать. Вселенная непрерывно изменяется, развивается, эволюционирует.

Философские определения понятий предельно широки и глубоки, они охватывают собой все стороны и свойства определяемого объекта – но в этом не только их сила, но и слабость, поскольку они лишены полезной, осязаемой конкретности, не всегда понятны, требуют дополнительной работы мысли и воображения для понимания и осознания. Так, в философском определении понятия «Вселенная» многим не только школьникам, но и взрослым людям, в том числе ученым, непонятны такие положения, как бесконечность и вечность Вселенной: почему она не имеет границ? Возраста? Как она может быть не возникшей когда-то, где-то, сотворенной кем-то, а просто существующей всегда сама по себе?

Прделаем анализ основных положений понятия «Вселенная».

Вселенная – весь объективно существующий материальный мир:

- *объективно* – значит независимо от нас, от нашего сознания, от нашего представления о ней и от наших действий;

- *материальный* – значит состоящий из материи.

Термин «материя» означает все, что реально существует в окружающем мире. «**Материя** – это объективная реальность, данная нам в ощущении» (В.И. Ленин).

Материальны электромагнитные, гравитационные и другие физические поля, элементарные частицы, атомы, молекулы, любые вещества и макроскопические тела, живые существа и космические объекты.

Материя несотворима и неуничтожима: она всегда была, есть и будет. Видимое исчезновение материи всегда означает лишь ее переход в качественно иное состояние. Материя постоянно изменяется, эволюционирует, переходит в другие, более высокие и сложные формы.

Главными взаимосвязанными характеристиками материальных объектов являются: **энергия** – общая количественная мера различных форм движения материи, описывающая состояние объектов и их способность к взаимодействию между собой; и **масса** – мера гравитационных и инертных свойств и полной энергии объектов. Связь между массой и энергией материальных объектов выражает знаменитая формула Эйнштейна: $E = m \cdot c^2$.

Закон сохранения материи – один из фундаментальных законов Вселенной: *общее количество материи во Вселенной никогда не изменяется: материя не исчезает бесследно и не появляется из «ниоткуда», а лишь переходит из одного состояния в другое.*

Материя находится в непрерывном движении.

Движение – способ (форма) существования материи: любые изменения, происходящие с материей. «Движение, рассматриваемое в самом широком смысле слова... обнимает собой все происходящие во Вселенной изменения и процессы, начиная с простейшего перемещения и заканчивая мышлением» (Ф. Энгельс). Под движением материи следует понимать не только механическое пе-

ремещение материальных объектов в пространстве, но и любые происходящие в них и с ними процессы: физические, химические, биологические, социальные...

Движение неразрывно связано с материей. Нет и не может быть движения без материи, как нет и не может быть материи без движения.

Каждому виду материи присущи специфические формы и виды движения.

Все виды движения взаимосвязаны, взаимообусловлены друг другом. Все виды движения способны взаимно превращаться друг в друга.

Обобщенный закон сохранения движения, обуславливающий существование всех законов сохранения физики: *при всех превращениях одного вида движения в другой в количественном отношении движение остается неизменным. Движение вечно, оно не возникает из ничего и не исчезает бесследно.*

Движение материи происходит в пространстве и во времени. Материя, пространство и время неразрывно связаны между собой и оказывают взаимное влияние друг на друга.

Пространство выражает порядок сосуществования отдельных объектов. Выделяемая часть пространства ограничивает, а иногда и образует отдельные объекты природы. Пространство нашей части Вселенной обладает свойствами:

- непрерывности (на отрезках свыше 10^{-33} м);
- трехмерности (в декартовой системе координат);
- изотропности: любые направления пространства равноправны, а физические законы неизменны относительно выбора направлений осей координат системы отсчета (следствие – закон сохранения момента импульса);
- однородности (симметрии): все места пространства физически одинаковы: при параллельном переносе в пространстве замкнутой системы тел как единого целого все ее физические свойства и законы движения не изменяются (следствие – закон сохранения импульса).

Время выражает последовательную смену явлений и состояний материальных объектов, продолжительность их существования. Обладает свойствами:

- непрерывности (для моментов свыше 10^{-41} с);
- одномерности;
- однородности: неизменности физических законов относительно выбора начала отсчета времени: (следствие – закон сохранения энергии);
- анизотропности (хода времени в единственном направлении – из прошлого в будущее);
- необратимости (следствие – необратимость тепловых процессов, возрастание энтропии).

Смещение во времени и пространстве не влияет на протекание физических процессов.

• **Вселенная с точки зрения физики**

Анализ философского определения понятия «Вселенная» позволил нам связать ее с важнейшими общенаучными понятиями материи, пространства и времени, описать важнейшие свойства Вселенной, но почти ничего не дал для осознания материальной сути Вселенной. Для этого мы обратимся за помощью

к физике как науке, изучающей наиболее простые и наиболее общие свойства движения материи. С точки зрения физики:

Вселенная – это физический вакуум n -мерной размерности, в котором возникают мини-Вселенные с различными наборами физических закономерностей и численными значениями наборов фундаментальных физических постоянных.

Проанализируем определение этого понятия:

- **Вселенная** – это физический вакуум... Что такое физический вакуум?

Термин «вакуум» переводится с латыни как «пустота». В повседневной жизни, в курсе физики и во многих научно-популярных книгах вакуум обозначает пустое, ничем не заполненное пространство (например, космическое – отсюда словосочетание «космический вакуум» как синоним «космической пустоты»). Однако в современной физике термин «физический вакуум» обозначает специфическую форму существования материи, одну из трех взаимосвязанных форм существования материи, с двумя из которых – веществом и полем – вы хорошо знакомы из школьного курса физики и повседневной жизни. Что они из себя представляют, в чем сходства и различия между ними, как они взаимосвязаны?

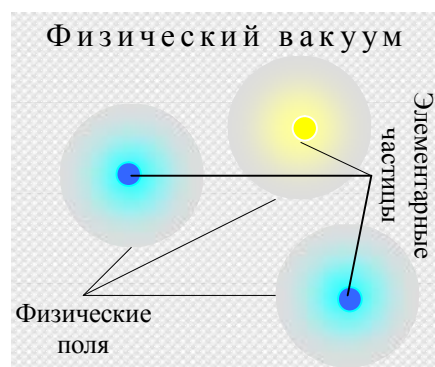
Вещество – форма существования материи, обладающей массой покоя и дискретной структурой, образуемой системами элементарных частиц (протонов, нейтронов и электронов в атомах, ионов в молекулах и кристаллах и т.д.).

Физические поля – форма существования материи, не обладающей массой покоя. Они обеспечивают взаимодействие между элементарными частицами – структурными единицами вещества.

Физический вакуум представляет собой материальную среду в самом низком энергетическом состоянии, состоящую из множества взаимодействующих между собой виртуальных («вероятностных») элементарных частиц.

Время существования отдельных виртуальных частиц намного меньше времени, необходимого для их регистрации (виртуальный электрон «живет» менее 10^{-21} с, виртуальный протон – до 10^{-24} с, а затем они распадаются, превращаясь в столь же короткоживущие частицы) Поэтому физический вакуум как особая среда, несмотря на свою невероятно высокую плотность (10^{14} г/см³!), непосредственно наблюдаться или ощущаться нами никак не может. Однако существование виртуальных частиц подтверждают многочисленные косвенные данные об их взаимодействии с «реальными» частицами и ряд других явлений: так, если в результате взаимодействия между собой множество виртуальных частиц передаст часть своей энергии одной из них, ее энергия и, следовательно, время жизни возрастут и частица станет «реальной»: для внешнего наблюдателя это будет выглядеть как внезапное рождение пары частица-античастица из «ниоткуда», из пустоты!

Почему энергия виртуальных частиц физического вакуума в нашей части Вселенной так мала? Ведь расчеты показывают, что плотность потенциальной энергии физического вакуума достигает 10^{91} Дж/см³!



Большая часть энергии физического вакуума в нашей части Вселенной была «затрачена» на образование в ней физических полей и вещества («реальных» элементарных частиц, атомов, молекул, космических объектов и т.д.).

Таким образом, **подавляющая часть материи Вселенной находится в форме физического вакуума.**

... Вселенная – это физический вакуум n -мерной размерности...

n -мерной размерности – какой угодно размерности. Значит, что только в нашей части Вселенной пространство трехмерно, а время одномерно. За ее пределами, в других частях Вселенной пространство и время могут иметь любое мыслимое число измерений.

... Вселенная – это физический вакуум n -мерной размерности, в котором возникают мини-Вселенные...

Вот мы и подошли к выводу о необходимости как-то обозначить, дать свое название нашей части Вселенной. Пусть она будет называться **Мини-Вселенная!**

Но, по вышеприведенному определению, таких частей – мини-Вселенных – в большой Вселенной множество. Сколько? – ученые спорят до сих пор. Приведем крайние точки зрения:

- мини-Вселенных бесконечно много, но они никак не взаимодействуют между собой, развиваются независимо;

- Мини-Вселенная как особая область Вселенной всего одна. Она развивается циклически, пульсируя: то сжимаясь в точку, то расширяясь, создавая особую область пространства-времени.

Случайно (спонтанно, произвольно) ли возникают мини-Вселенные или это проявление какой-то неизвестной нам закономерности? Ответа пока нет...

... возникают мини-Вселенные с различными наборами физических закономерностей: то есть у каждой мини-Вселенной есть свой индивидуальный набор «физических закономерностей» – законов физики. Следовательно:

Законы физики едины для всей Мини-Вселенной. Мини-Вселенная – единая причинно-связанная область.

... и численными значениями наборов фундаментальных физических постоянных: то есть у каждой мини-Вселенной есть свой индивидуальный набор численных значений фундаментальных физических постоянных: гравитационной постоянной G , постоянной Планка h , скорости света c , постоянной Хаббла H , заряда и массы электрона и т.д. Фундаментальных физических постоянных немного – около 20, но именно от их значений зависит, как будут выполняться законы физики, какими будут характеристики и свойства данного мира, как будут взаимодействовать между собой элементарные частицы и т.д.

Сравним философское определение Вселенной с физико-математическим. Оба они правы по-своему или же только одно? А может быть, оба неверны?

Поскольку за пределами нашей Мини-Вселенной – крохотной части большой Вселенной – пространство становится качественно иным, многомерным, не подлежащим описанию современным физическим теориям, можем ли мы сказать, что вся Вселенная в целом бесконечна в пространстве, что она не имеет ни начала не конца? **Да!**

Если ли смысл в вопросе «Где во Вселенной находится наша Мини-Вселенная?» **Нет!** Говорить о координатах чего-либо – значит определять их относительно какого-то ориентира. Поскольку за пределами нашей Мини-Вселенной пространство утрачивает привычные, известные нам свойства, говорить об ее положении в большой Вселенной не имеет смысла.

Поскольку за пределами нашей Мини-Вселенной время становится качественно иным, многомерным, не подлежащим описанию современными физическими теориями, можем ли мы сказать, что вся Вселенная в целом вечно во времени, никогда не возникала и никогда не исчезнет, а всегда существовала и будет существовать? **Да!**

Есть ли смысл задавать вопрос «Что было до образования Мини-Вселенной?» **Нет!** – ведь известное, привычное нам время обрело известные, привычные нам свойства именно в момент рождения нашей части Вселенной.

Рождение и развитие нашей Мини-Вселенной, эволюция материи в ней от возникновения атомов до появления жизни и разума доказывают, что Вселенную нельзя назвать «неподвижной» с точки зрения философского определения понятия «движение»: **Вселенная изменяется, эволюционирует.**

Так определения понятия «Вселенная» с точки зрения повседневной жизни, физики и философии взаимно углубляют, расширяют, уточняют друг друга.

Задание: *Сможете ли вы сами теперь дать такое определение понятия «Вселенная», которое бы объединяло в себе достоинства всех проанализированных нами определений и было бы при этом полным, кратким, четким и точным?*

• Основы космологии

Известная нам часть Вселенной образовалась в результате изменения энергетической плотности физического вакуума, сопровождавшегося выделением огромного количества энергии – по разным расчетам, от 10^{88} до 10^{108} Дж/см³! Этот процесс получил название «**Большого Взрыва**». По нашим часам это произошло около 15 млрд лет назад¹.

Почему произошел «Большой Взрыв»? Был он случайным явлением или закономерным этапом развития материи Вселенной? Современная наука пока не может ответить на эти вопросы. А спрашивать о том, *что было до «Большого Взрыва» и где он произошел нет никакого смысла.*

Согласно расчетам ученых, в момент начала «Большого Взрыва» материя нашей части Вселенной была сосредоточена в точечном (или почти точечном) объеме и обладала бесконечно большой плотностью. Это состояние материи называется **сингулярностью**.

Мы не имеем никаких материальных свидетельств о происходивших в ту эпоху процессах. Существующие физические теории не могут описать материю в состоянии, близком к сингулярности. Предполагается, что свойства пространства и времени были тогда качественно иными: пространство имело 10-11 измерений, обладало сложной «дышащей», изменяющейся структурой, а время дробилось на мельчайшие неделимые «капли».

¹ Согласно полученным в 2003 г. данным «Большой Взрыв» мог произойти еще раньше, 13,7 млрд лет назад.

Известные нам законы физики начали действовать с момента $t_g = 10^{-43}$ с, когда пространство и время обрели привычные нам свойства и в Мини-Вселенной размерами $R_g = 10^{-31}$ м стали существенными явления, характеризующиеся соотношением гравитационной постоянной G , постоянной Планка \hbar и скоростью света c : $t_g = \frac{R_g}{c}$, $R_g = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}}$. Плотность материи ρ_g в тот момент была около $10^{74}-10^{94}$ г/см³ при температуре $T_g = 1,3 \cdot 10^{32}$ К.

Мини-Вселенная стремительно увеличивалась в размерах по экспоненциальному закону: $R_g(t_g) \sim \frac{1}{H} \exp(H \cdot t_g)$. Привычное нам 3-мерное пространство возникало внутри нее, расширялось, «раздвигало» ее границы.

К моменту времени $t_g = 10^{-36}$ с закончилось выделение энергии физического вакуума. Расширение Мини-Вселенной завершилось. Ее размеры составили от $10^{26^{30}}$ до $10^{26^{1000000}}$ м при массе $10^{75}-10^{100}$ кг!¹ Материя Мини-Вселенной представляла сверхраскаленную «смесь» сверхмассивных элементарных частиц с энергией до 10^{18} Дж.

Из-за внутренней нестабильности (неравномерного распределения частиц с разной массой и энергией и т.д.) Мини-Вселенная распалась на множество областей – «метagalактик». Их общее число, согласно расчетам, может достигать до 10^{50} объектов! И в каждой из них в зависимости от времени обособления, начальной массы, энергии, размеров определился свой уникальный набор значений фундаментальных физических постоянных.

Наша Метагалактика массой около 10^{52} кг выделилась в пространстве Мини-Вселенной через 10^{-33} с после «Большого Взрыва». Она равномерно расширяется в пространстве, изменяя размеры по формуле: $R_M(t) \sim \sqrt{t_M}$. В настоящее время размеры Метагалактики достигли 10^{26} м.

В момент образования плотность материи Метагалактики достигала 10^{77} кг/м³ при температуре 10^{30} К. Расстояние между элементарными частицами было ничтожно малым, а плотность среды была настолько велика, что все процессы взаимодействия частиц происходили быстрее изменения условий протекания реакций. С увеличением размеров Метагалактики первоначально запасенная энергия физического вакуума распределялась в ней по все возраставшему и возраставшему объему. Сверхтяжелые элементарные частицы взаимодействовали между собой, взаимно уничтожались, превращаясь в излучение, образуя новые частицы – их было все больше и больше, но энергия и масса каждого нового поколения частиц становилась все меньше и меньше. Плотность материи уменьшалась, а температура среды падала пропорционально увеличению размеров Метагалактики: $T_M \sim \frac{1}{R_M}$.

Мини-Вселенная: через 10^{-12} с находилась в состоянии кварк-глюонной плазмы при $T \geq 10^{12}$ К. При дальнейшем снижении температуры взаимодействие кварков вело к образованию кварковых систем – элементарных частиц.

¹ Некоторые ученые предполагают, что расширение Мини-Вселенной продолжается до сих пор.

Большая часть протонов, нейтронов и электронов образовались спустя 10^{-4} с при уменьшении температуры Метагалактики ниже 10^{11} К.

К этой эпохе ($t_M = 10^{-4}$ с, при $R_M = 10^{15}$ м, $r_M = 10^{14}$ г/см³) относятся первые материальные свидетельства – данные астрономических наблюдений и физических экспериментов, подтверждающие правоту научных теорий происхождения Метагалактики.

К моменту времени $t_M = 0,3$ с при температуре $1,6 \cdot 10^{10}$ К протоны начали взаимодействовать с нейтронами, присоединяя их к себе и образуя атомные ядра водорода (${}^2_1\text{H}$) и гелия (${}^4_2\text{He}$). Однако при дальнейшем расширении Метагалактики температура упала ниже 10^9 К и синтез атомных ядер прекратился, поскольку энергии фотонов и других частиц стало недостаточно для протекания этих реакций.

Через 100 с после «Большого Взрыва» Метагалактика состояла на 70-75 % из протонов, электронов и других частиц, 25-30 % из ядер гелия, и менее чем на 1 % из ядер более тяжелых элементов. Электрически заряженные частицы раскаленной плазмы взаимодействовали с электромагнитным излучением: свет был нераздельно связан с веществом.

В этой плотной раскаленной плазме возникали и исчезали разные по величине и массе сгустки среды – «**возмущения плотности**». Чем больше была их масса, тем медленнее они рассасывались.

Через 300 000 лет после «Большого Взрыва» температура Метагалактики понизилась до 4000 К. Среднее расстояние между частицами стало больше их размеров. Протоны взаимодействовали с электронами, «захватывая» их: возникли первые атомы водорода и гелия. «Нейтральный» водородно-гелиевый газ стал прозрачен для излучения. Фотоны перестали активно взаимодействовать с веществом и смогли свободно перемещаться в пространстве. Началась эпоха **рекомбинации** – разделения вещества и света. Свидетель той поры – **реликтовое** радиоволновое излучение, исходящее с почти одинаковой интенсивностью от любого участка небесной сферы. За миллиарды лет расширения Метагалактики его температура понизилась с 4000 К до 2,725 К. Микроколебания температуры реликтового излучения выявили его ячеистую структуру, свидетельствующую о существовании «возмущений плотности» и распределении вещества в Метагалактике в эпоху, предшествовавшую «эре рекомбинации». На каждый атом, протон или нейтрон вещества Метагалактики приходится свыше 100 млн фотонов электромагнитного излучения.

Когда фотоны перестали взаимодействовать с веществом, упругость раскаленной среды резко понизилась. Уцелевшие сгустки вещества с массой 10^{35} – 10^{36} кг стали беспрепятственно притягивать вещество из окружающего пространства, увеличивать свою массу и сжиматься под действием сил тяготения.

Спустя 1 млн лет после «Большого Взрыва» из бывших возмущений плотности образовалось множество крупных и мелких «**блинов**» – плоских сгустков раскаленного газа. Распределение вещества в пространстве Метагалактики стало напоминать гигантскую трехмерную паутину, нити которой были образованы цепочками мелких «блинов», постепенно стягивавшихся вплоть до слияния под действием сил тяготения в «узлах паутины».

На протяжении последующего миллиарда лет Метагалактика приобрела наблюдаемую ныне ячеистую структуру распределения вещества. В «узлах» паутины сформировались будущие Сверхскопления из тысяч и десятков тысяч галактик. «Блины» массой до 10^{44} кг распались, дробились на мелкие отдельные плотные облака газа массой $10^{40} - 10^{42}$ кг – зародыши галактик, протогалактики, в которых тут же стали протекать процессы звездообразования. Начались «звездная» эпоха эволюции космического вещества.

Дадим определение Мини-Вселенной и перечислим ее свойства.

Мини-Вселенная – часть Вселенной, обладающая собственной уникальной совокупностью физических законов; система метагалактик массой от 10^{75} до 10^{100} кг, размерами $10^{26^{30}}$ до $10^{26^{1000000}}$ м, образовавшаяся в результате изменения энергетической плотности физического вакуума 15 млрд лет назад.

Свойства Мини-Вселенной:

1. Универсальность законов физики. Законы физики едины для всей Мини-Вселенной. Пространство Мини-Вселенной является единой причинно-связанной областью. Перемещение во времени и пространстве не влияет на протекание физических процессов.

2. Принцип симметрии. Согласно теореме А.-Э. Нетер «*Существование любой симметрии обуславливает существование соответствующих законов сохранения и структуры сохраняющейся величины*». Проявляет себя в законах сохранения массы, энергии, импульса, электрического заряда и т.д., и в неизменности законов физики при переходе из одной инерционной системы в другую. Следствием симметрии пространства-времени является взаимосвязь энергии и массы материальных объектов, выражаемая знаменитой формулой Эйнштейна: $E = m \cdot c^2$.

3. Принцип фундаментальности вероятностных закономерностей заключается в выявлении и сохранении общего в объектах и явлениях, ограничении числа возможных вариантов структур и поведения систем.

Глубина и всеобщность этих принципов позволяет говорить о Мини-Вселенной как «симметричном мире, построенном на вероятности».

3. Однородность и изотропность Мини-Вселенной: в любой момент ее эволюции все направления движения материи равноправны, а плотность материи почти неизменна. Проявляется в свойствах однородности и изотропности пространства и анизотропности времени (направленности из прошлого в будущее).

4. Основными структурными элементами Мини-Вселенной являются метагалактики, каждая из которых обладает своим собственным, уникальным набором значений фундаментальных физических постоянных.

Метагалактика – часть Вселенной, в которой мы живем и которая доступна нашим наблюдениям; система космических объектов массой около 10^{52} кг, размерами около 10^{26} м и возрастом около 15 млрд лет.

Рассмотрим подробнее, почему ученые говорят, что «*Метагалактика – часть Вселенной, которая доступна нашим наблюдениям*»:

Метагалактика возникла почти 15 млрд лет назад. С момента своего рождения она расширялась со скоростью света от точечных размеров и за 15 млрд лет «жизни» увеличилась до 15 млрд световых лет, что в единицах СИ соответствует расстоянию 10^{26} м. Современные телескопы позволяют наблюдать объекты в 11-

13,5 миллиардах световых лет от Земли. Но даже самые мощные телескопы будущего не дадут возможности исследовать мир за пределами Метагалактики, поскольку она имеет границу – «горизонт событий». Он определяется максимальной скоростью движения любых материальных объектов – скоростью света. Мы не сможем ничего наблюдать за пределами Метагалактики потому, что любому, даже движущемуся со скоростью света сигналу из-за границы «горизонта событий» на преодоление расстояния до Земли потребуется больше времени, чем существует Метагалактика.

Поэтому для большинства людей и для многих ученых понятия «Метагалактика» и «Вселенная» стали синонимами, хотя на самом деле Метагалактика является ничтожно малой частью бесконечной Вселенной.

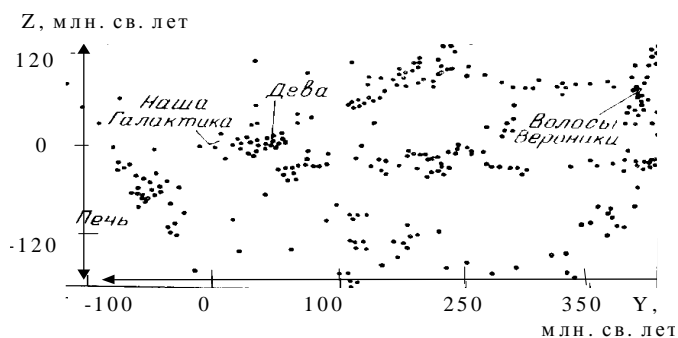


Рис. 100. Ячеистое распределение галактик по созвездиям в пространстве Метагалактики

Конечность скорости света

затрудняет изучение современной Вселенной. Мы не в силах увидеть, какой облик в данный момент времени имеет наша Метагалактика: чем дальше находится космический объект, тем в более раннем возрасте мы его наблюдаем. Ближайшую галактику мы видим такой, какой она была 2,5 млн лет назад; самые далекие галактики «сдвинуты в прошлое» на 8-12 млрд лет. Зато мы можем наблюдать Метагалактику на всем протяжении эволюции: от возникновения протогалактических облаков до рождения и развития современных звезд и галактик.

Галактические группы, скопления и Сверхскопления располагаются в пространстве Метагалактики не беспорядочно. Они образуют «ячеистую» структуру Метагалактики, напоминающую гигантскую трехмерную паутину, или пчелиные соты. Стенки «сот» из скоплений галактик толщиной до $3 \cdot 10^6$ св. лет окаймляют колоссальные пустоты «ячеек» размерами до 10^9 св. лет. Наиболее богатые галактиками Сверхскопления находятся на пересечении «сот»-«паутинок».

Наша эпоха названа учеными «звездным этапом» эволюции Метагалактики, поскольку:

- звезды являются основным, наиболее распространенным типом космических тел;
- около 95 % видимого вещества Метагалактики сосредоточено в звездах.

Однако непосредственно наблюдаемое вещество составляет до 5 % плотности Метагалактики, а невидимое, «темное», не до конца понятной природы, – свыше 95 %! Первые попытки изучения этого «скрытого вещества» показали, что оно неоднородно, обладает сложной структурой и его распределение приблизительно совпадает с расположением Сверхскоплений и скоплений галактик. Вклад в «скрытую массу» Метагалактики могут делать частицы нейтрино (у отдельных нейтрино масса ничтожна, но зато их очень-очень много), скопления сверхмассивных реликтовых элементарных частиц массой до $0,1-1 M_{\odot}$, облака молекулярного водорода, коричневые и белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры и т.д.

Рассмотрим общие свойства Метагалактики:

1. Расширение по закону $R_M(t) \sim \sqrt{t_M}$. Астрономические наблюдения показывают, что все далекие гигантские звездные системы – скопления галактик находятся в движении, «разбегаясь» друг от друга со скоростью $u_d = H \cdot r$, где $H = 72$ км/с·Мпк – постоянная Хаббла, r – расстояние до объекта. На относительное движение близких гравитационно-связанных элементов космических систем (звезд в галактиках, галактик в группах и скоплениях) это явление не распространяется. Наша Галактика не занимает особого, центрального места в Метагалактике: у Метагалактики вообще нет центра. Закон Хаббла выполняется для любого наблюдателя в любой из галактик.

Скорость движения далеких объектов определяется по «красному смещению» спектральных линий, возникающему благодаря эффекту Доплера (если объект удаляется от наблюдателя, линии в его спектре будут равномерно смещаться на величину z в красную, длинноволновую часть спектра):

$$z = \frac{I_{\text{набл}} - I_{\text{эталона}}}{I_{\text{эталона}}}, \quad u_d = \frac{(z^2 + 2z) \cdot c}{z^2 + 2z + 2}.$$

Постоянная Хаббла определяется из соотношения $H = \frac{u_d}{r}$ для ближайших галактик, расстояние до которых мы можем определить несколькими независимыми способами (по данным наблюдения ярких звезд и т.д.), однако точность измерений ухудшается с удалением объектов наблюдения. Различные методы определения расстояний до ближайших галактик дают 20 %-е расхождение в оценке значения постоянной Хаббла. Уточнить межгалактические расстояния, размеры и возраст Метагалактики помогут новые, более мощные средства астрономических наблюдений.

Существование «красного смещения» свидетельствует о расширении Метагалактики; по его величине можно определить расстояние до удаленных космических объектов и их возраст: $r = \frac{v_d}{H}$, $t_M = \frac{1}{H}$.

2. Химический состав современной Метагалактики: водорода – 77,4 %; гелия – 20,8 %; других элементов – 1,8 % (в том числе: кислорода – 0,85 %; углерода – 0,38 %; неона – 0,15 %; железа – 0,14 %; азота – 0,093 % и т.д.).

Преобладание водорода свидетельствует о том, что именно он является исходным элементом для термоядерных реакций синтеза тяжелых элементов. 20-30 % первичного водорода превратилось в гелий еще на начальной стадии образования Метагалактики. Распространенность элементов быстро падает с возрастанием атомной массы, поскольку для их возникновения требуются специфические, очень редко возникающие условия (сверхвысокие температуры и давления, сверхмощные источники нейтронов и т.д.).

Химическая эволюция Метагалактики неразрывно связана с эволюцией космических объектов. Она протекает в направлении уменьшения концентрации легких химических элементов (водорода и гелия) с одновременным увеличением среднего содержания тяжелых химических элементов (звезды I поколения, образовавшиеся 12-11 млрд лет назад содержали менее 0,1 % тяжелых химических элементов; звезды II поколения, образовавшиеся 6 – 5 млрд лет назад

– 2-3 %; формирующиеся сейчас звезды III поколения содержат 3-4 % тяжелых элементов).

3. «Антропный принцип» обуславливает закономерность и неизбежность возникновения и развития жизни на Земле и в других мирах Метагалактики.

Физика Метагалактики максимально способствует возникновению жизни:

Так, в одномерном пространстве все физические системы абсолютно устойчивы и движение материи отсутствует. В четырехмерном и более-мерном пространстве все физические системы абсолютно неустойчивы: атомы и молекулы существовать не могут. Наше 3-мерное, неразрывно связанное со временем пространство оптимально для появления и развития сложных материальных структур.

Структура Метагалактики устойчива лишь при строго определенных значениях фундаментальных физических постоянных. При изменении массы электрона ($m_e = 9,10953 \cdot 10^{-31}$ кг) всего в 2,5 раза все вещество Метагалактики превратилось бы в нейтроны и нейтрино. Изменение массы протона ($m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27}$ кг) или нейтрона на 0,1 % ведет к тем же последствиям. Для того чтобы Метагалактика была именно такой, какой мы ее наблюдаем, значения фундаментальных физических постоянных не должны изменяться даже на 0,001 %.

Эволюция материи Метагалактики идет в направлении, обуславливающим неизбежное возникновение разумных существ:

Если бы средняя плотность материи была ниже наблюдаемой, то время существования Метагалактики было бы слишком мало для развития жизни, а при более высоком значении плотности материи не могли бы образоваться галактики и звезды.

Если гравитационная постоянная G будет чуть меньше, элементарный электрический заряд e^- чуть сильнее, электрон чуть массивнее (в пределах 0,01 % от существующих величин), то все звезды превратятся в тусклые, почти не излучающие тепла и света красные карлики; при таких же отклонениях в другую сторону звезды станут раскаленными, испускающими мощные потоки радиации голубыми гигантами.

Время жизни звезд наиболее оптимально – в десятки раз – превосходит время, необходимое для возникновения и развития жизни.

Устойчивость сложных молекул генетического хода живых организмов зависит от свойств химических связей, определяемых значением фундаментальных физических постоянных (масса и заряд электрона, протона, электрическая и магнитные постоянные и т.д.). Эволюция материи в Метагалактике идет в направлении увеличения сложности структур и свойств объектов, начиная с количества атомов в основных элементах объектов и характера их взаимосвязи, с ускорением этого процесса во времени.

Существование и развитие объектов Метагалактики обусловлено внутренними динамическими процессами. Все возникающие объекты, от космических пылинок и туманностей, бактерий и людей, звезд, галактик и, по видимому, всей Метагалактики в целом являются открытыми неравновесными системами, обменивающимися с окружающей средой веществом и энергией. В ходе эволюции возникает способность к воспроизведению подобных объектов и усвоению ими благоприобретенных признаков и свойств.

С увеличением сложности структур упорядоченных систем возрастает их способность к накоплению, запоминанию и хранению информации. Информационная эволюция ускоряет темпы самоорганизации материи.

Однако с увеличением сложности структур возрастает зависимость их существования и развития от внешних условий, физических и химических свойств среды. И если атомы могут существовать при температурах от 1 К до 10^5 К, то для молекул температурные границы существования уже: от 2-3 К до 10^4 К, для мельчайших пылинок еще уже: от 10 К до 5000 К; для микроорганизмов – от 200 К до 700 К, а для чел. – всего от 308 К до 312 К.

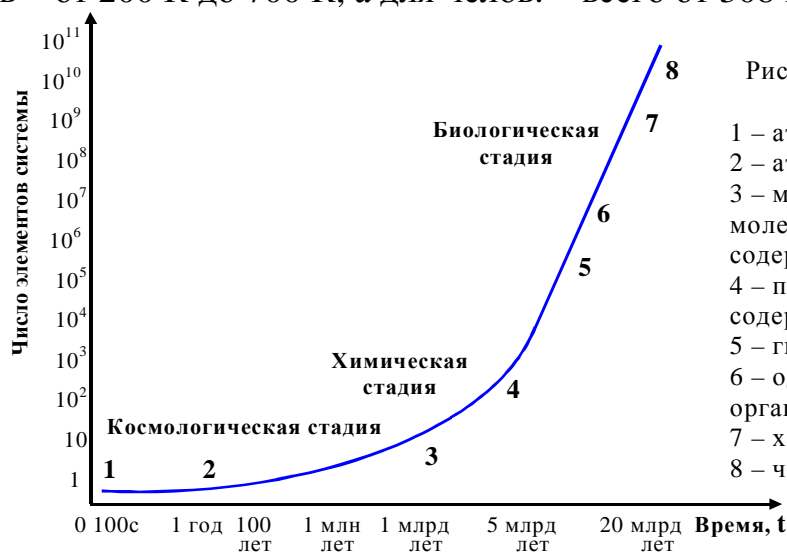


Рис. 101. Эволюция материи в Метагалактике:

- 1 – атомные ядра;
- 2 – атомы;
- 3 – молекулы (наиболее сложные молекулы межзвездной среды содержат до 13 атомов);
- 4 – пылинки, частицы вещества, содержащие до 100 атомов;
- 5 – гигантские молекулы-полимеры;
- 6 – одноклеточные живые организмы;
- 7 – хордовые (позвоночные);
- 8 – человек

Вышесказанное определяет условия, необходимые и достаточные для проявления и развития жизни, возможное время ее возникновения в Метагалактике и на Земле, основные темпы и направления эволюции живых организмов. Белковая жизнь могла возникнуть на землеподобных планетах у солнцеподобных звезд 6 млрд лет назад (на Земле она возникла около 4 млрд лет назад). Первые цивилизации Метагалактики могли возникнуть 2-1,5 млрд лет назад.

Вероятность образования метагалактик, в которых могут существовать стабильные структуры – атомы, молекулы, планеты и звезды – ничтожно мала. Возможно, наша Метагалактика – единственная, в которой может существовать жизнь и разум, среди 10^5 или даже 10^{10} других метагалактик нашей Мини-Вселенной!

Дальнейшая эволюция Метагалактики зависит от ее массы, средней плотности вещества, некоторых других свойств и тесно связана с эволюцией всей Мини-Вселенной. Если средняя плотность Метагалактики r_M выше критической плотности $r_k \approx 10^{-29}$ г/см³, то расширение Метагалактики со временем прекратится и сменится ее сжатием до сингулярного состояния. Если $r_M < r_k$, Метагалактика будет неограниченно расширяться. Согласно последним данным, средняя плотность Метагалактики близка к критической ($\pm 12\%$).

Рассмотрим возможные пути дальнейшей эволюции Метагалактики. Сначала – «грустный»:

По мере исчерпания запасов межзвездного газа процесс звездообразования будет замедляться, пока не прекратится совсем.

«Звездный» этап эволюции нашей Галактики закончится через 10^{13} лет.

«Звездный» этап эволюции Метагалактики закончится через 10^{14} лет.

При случайных сближениях звезд происходят возмущения планетных орбит, в результате которого планеты могут покидать свои светила. Полный распад планетных систем завершится через 10^{17} лет.

Одни звезды из-за взаимных возмущений движения будут покидать пределы своих галактик, уменьшая их массу. Другие звезды под действием сил тяготения будут стягиваться к центрам своих галактик, образуя там растущую сверхмассивную черную дыру. Массы центров галактик будут возрастать, но их размеры уменьшатся и сила притяжения к ним будет слабеть. Внешние области галактик будут постепенно «рассасываться» в окружающем пространстве. Светимость галактик будет уменьшаться, они будут тускнеть и краснеть: их будут населять многочисленные красные, белые и черные карлики, нейтронные звезды, черные дыры и редкие красные гиганты.

Через 10^{19} лет все галактики полностью распадутся: 90 % звезд и других космических тел – продуктов звездной эволюции – рассеются в пространстве, оставшаяся масса вещества сосредоточится в черных дырах.

За 10^{17} лет все белые карлики остынут до температуры 1-3 К; за 10^{19} - 10^{20} лет до температуры 100 К остынут все нейтронные звезды.

Через 10^{30} - 10^{32} лет все вещество Метагалактики полностью распадется, превратившись в излучение и электронно-позитронную плазму, а размеры ее будут в 10^{13} - 10^{20} раз превышать современные. Останутся черные дыры, но и они не вечны: они будут «испаряться» с образованием электромагнитного, нейтринного и гравитонного излучений. Черные дыры с массой $10 M_{\odot}$ «испаряются» за время 10^{69} лет; сверхмассивные черные дыры ($M \sim 10^{10} M_{\odot}$) превратятся в излучение за 10^{96} лет.

Через 10^{100} лет Метагалактика будет состоять из крайне разреженной электронно-позитронной плазмы, с плотностью 1 частица на $10^{26 \cdot 185} \text{ м}^3$ пустого пространства!

Таков сценарий развития Метагалактики и Мини-Вселенной при их неограниченном, неостановимом расширении.

Другие «оптимистические» варианты развития Мини-Вселенной предполагают постепенное замедление ее расширения и обращение процесса вспять: сжатие Мини-Вселенной вплоть до состояния сингулярности с последующим новым расширением.

При уменьшении размеров Метагалактики длина волны некогда испущенных звездами фотонов уменьшается, а их энергия соответственно увеличивается и на определенной стадии сжатия Метагалактики начинает превышать свое начальное значение. Фотоны нагревают, взрывают или испаряют звездные «огарки». Черные дыры интенсивно поглощают излучение и вещество, растут, сближаются и при столкновениях сливаются. Миллиарды лет спустя вся материя Мини-Вселенной сконцентрируется в единой Гипермассивной черной дыре, коллапсирующей вплоть до состояния сингулярности.

Масса и энергия замкнутой Мини-Вселенной не сохраняются. Полная энергия Мини-Вселенной при сжатии больше, чем при ее расширении, поэтому каждый последующий цикл пульсации Мини-Вселенной T_B продолжительнее предыдущего. «Следующая» Мини-Вселенная массивнее, богаче энергией и более разнообразна по свойствам, нежели «предыдущая»!

Теория **пульсирующей Вселенной** описывает многочисленные смены поколений Мини-Вселенных с возрастающей плотностью. Согласно этой теории, «вечно юная» Вселенная находится в основном в состоянии «кипящего» сверхплотного вакуума, постоянно рождающего новые миры.

Несколько лет назад ученые считали, что фаза сжатия сменит фазу расширения не ранее, чем через 10^{29} - 10^{30} лет, когда Метагалактика будет состоять из электронно-позитронной плазмы, сверхмассивных черных дыр и немногочисленных остатков распадающихся белых карликов и нейтронных звезд. Но в 1998 г. получены данные, что скорость расширения Метагалактики постепенно возрастает по определенному закону (так предполагал в свое время А. Эйнштейн. Эти проблемы изучал в последние годы жизни академик А.Д. Сахаров.). Это может означать, что сжатие мини-Вселенной начнется намного раньше: всего через десятки или сотни миллиардов лет. И мы живем в середине Великого Вселенского Цикла.

Если ввести понятие суперпространства, то можно с помощью введения волновой ψ -функции оценить вероятность возникновения (существования) Мини-Вселенной и метагалактик с тем или иным набором значений фундаментальных физических постоянных и разными формами физических законов: $\psi(R_M, j) = r_M e^{iE\Delta t}$, где R_M – радиус метагалактики, r_M – средняя плотность ее материи, $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, j – вероятность существования данной Мини-Вселенной (метагалактики), E – энергия, выделяющаяся при ее возникновении, Δt – время ее существования.

Возможные варианты решения отражены на графике (рис. 102). Каждая точка прямой – Мини-Вселенная с определенным набором фундаментальных физических постоянных.

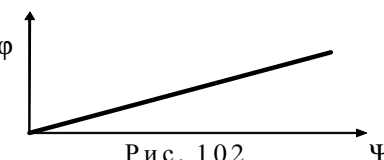


Рис. 102

Практическое занятие 10

Решение задач внегалактической астрономии

На предыдущих занятиях вы ознакомились с основными физическими характеристиками галактик: их формой, массами, размерами, структурой, составом и т.д.

Как ученые смогли их узнать? Как они определяются в наше время? Ведь при наблюдениях с Земли лишь самые близкие галактики разделяются на отдельные звезды, а все остальные видятся крохотными туманными пятнышками. Мы можем исследовать лишь видимые размеры, форму, структуру, блеск и спектры галактик.

Расстояние до близких галактик можно узнать, измерив расстояние до находящихся в них отдельных ярких звезд: голубых и красных гигантов и сверхгигантов, пульсирующих звезд, изменяющих свой блеск по определенному закону, вспышкам Новых и Сверхновых.

Расстояние до очень далеких галактик и квазизвездных источников определяется на основе закона Хаббла.

Задачи комплексного характера по галактической и внегалактической астрономии включают задания, демонстрирующие способы изучения нашей Галактики и других галактик, внегалактических космических объектов, Метагалактики и всей Вселенной: их основных характеристик и структуры, взаимосвязи и взаимообусловленности космологических процессов.

Дополнительные сведения о галактиках для выполнения подобных заданий вы можете почерпнуть из книг:

1. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. – М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.
2. Сучков А.А. Галактики знакомые и загадочные. – М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
3. Физика космоса: Маленькая энциклопедия / Редкол.: Р.А. Сюняев и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1986.
4. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. – М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984.

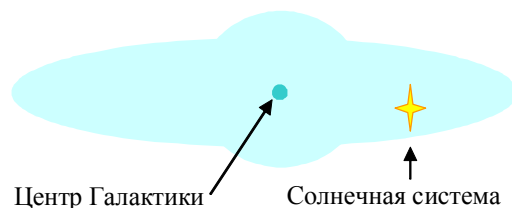
Покажем способы решения подобных задач:

1. Можно ли по виду Млечного Пути сделать предположения о форме нашей Галактики и положении Солнечной системы в Галактике?

Решение и ответ задачи:

Задача носит исторический характер. Вам по сути предлагается воспроизвести рассуждения У. Гершеля (XVIII в.).

Положение Млечного Пути на небесной сфере свидетельствует о том, что Солнечная система находится вблизи плоскости галактического диска, не в центре, но и не на окраинах Галактики. Ширина и яркость Млечного Пути неодинакова на разных участках небесной сферы. В небе северного полушария она минимальна – около 10° – в районе созвездия Ящерицы (вероятно, в направлении галактической периферии), сравнительно постепенно возрастает в направлениях склонений $\alpha \sim 8^h$ и $\alpha \sim 17-18^h$ и резко увеличивается в районе созвездий Скорпиона и Стрельца (свыше 30°) – вероятно, к центру Галактики. Следовательно, можно предположить, что Галактика имеет строение, показанное на рисунке.



2. На основе анализа собственных движений десятков тысяч звезд ученые установили, что Солнечная система движется вокруг центра Галактики со скоростью $u_{\underline{r}} = 250$ км/с. Определите период обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики T_G («галактический год») и массу Галактики M_G , если до центра Галактики нас отделяет расстояние $r = 27\,000$ световых лет.

Решение и ответы задачи:

1) период обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики определяется на основе законов вращательного движения тел: $u = \frac{2\pi \cdot r}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi \cdot r}{u}$.

1 св. г. $\approx 9,5 \cdot 10^{15}$ м. $T_G \approx 2,04 \cdot 10^8$ лет или 204 млн лет;

2) движение Солнечной системы в пространстве Галактики определяется действием 2 сил: силой тяготения F_T , направленной к центру Галактики, и центробежной силой $F_{Ц}$, равной по модулю силе тяготения и противоположной ей по направлению. Масса Галактики вычисляется на основе законов динамики:

$$F_T = G \frac{M_G \cdot m}{r^2}, F_{Ц} = \frac{u^2 m}{r}. \text{ При } \bar{F}_T = \bar{F}_{Ц} \quad M_G = \frac{u^2 r}{G}. \underline{M_G \approx 3 \cdot 10^{41} \text{ кг.}}$$

3. В далекой спиральной галактике вспыхнула Сверхновая звезда, достигшая в максимуме блеска $10,3^m$ звездной величины. Все линии в спектре Сверхновой равномерно смещены вправо на величину $Z = 0,025$. Учитывая, что абсолютная звездная величина этого типа Сверхновых составляет $-19,7^m$, определите:

1) расстояние r до галактики;

2) значение постоянной Хаббла H .

Решение и ответы задачи:

1) расстояние до галактики рассчитывается по формуле: $M = m + 5 - 5 \lg r \Rightarrow$

$$r = 10^{0,2(m-M)+1} \cdot r = 10000000 \text{ пк} = 10 \text{ Мпк};$$

2) учитывая, что расстояние до далеких галактик определяется по закону Хаббла $r = \frac{u_{\lambda}}{H}$ или $r = \frac{c \cdot z}{H}$, где c – скорость света, значение постоянной Хаббла H определяется по формуле: $H = \frac{c \cdot z}{r}$. $H = 75 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$.

4. В спектре далекой спиральной галактики, имеющей видимый блеск $12,9^m$ и угловые размеры $10''$, все линии в спектре равномерно смещены вправо: так, фиолетовая линия водорода серии Бальмера ($\lambda = 365 \text{ нм}$) приобрела значение $\lambda = 401 \text{ нм}$. Определите:

1) величину «красного смещения» Z , лучевую скорость u_{λ} и расстояние r до галактики, считая постоянной Хаббла $H = 75 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$;

2) абсолютную звездную величину M_G и светимость L_G галактики;

3) линейные размеры (диаметр) D_G галактики;

4) проанализируйте соотношения между основными физическими характеристиками спиральных галактик на основе данных, содержащихся в учебнике и научно-популярной литературе, сделайте вывод о соотношениях «масса-светимость» M/L и «масса – число звезд» M/N в спиральных галактиках. Оцените примерную массу M и число звезд N в исследуемой галактике.

Решение и ответы задачи:

1) расстояние до очень далеких галактик и квазизвездных источников определяется на основе закона Хаббла.

Астрономические наблюдения показывают, что все они находятся в движении, удаляясь друг от друга и от нашей Галактики со скоростью $u_{\lambda} = H \cdot r$, где H – постоянная Хаббла, r – расстояние до объекта.

Скорость движения далеких объектов определяется по «красному смещению» спектральных линий, возникающему благодаря эффекту Доплера (если объект удаляется от наблюдателя, линии в его спектре будут равномерно смещаться на величину z в красную, длинноволновую часть спектра):

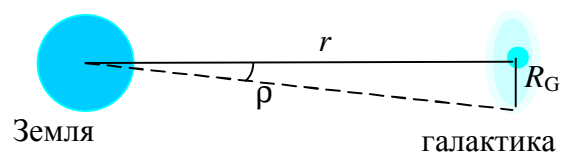
$$z = \frac{I_{\text{набл.}} - I_{\text{эталона}}}{I_{\text{эталона}}}, \quad u_{\lambda} = \frac{(z^2 + 2z) \cdot c}{z^2 + 2z + 2}. \text{ Следовательно, } r = \frac{u_{\lambda}}{H} \text{ или } r = \frac{cz}{H}.$$

Сделав необходимые вычисления, получим ответ:

$$Z = 0,1; u_{\lambda} = 2,85 \cdot 10^4 \text{ км/с}; r = 390 \text{ Мпк} = 3,9 \cdot 10^8 \text{ пк};$$

2) абсолютная звездная величина M_G и светимость L_G галактики определяется формулами: $M_G = m + 5 - 5 \lg r$ $L_G = 2,512^{5-M_G}$, где m – видимый блеск галактики. $M_G = -20^m$; $L_G = 10^{10} L_{\odot}$;

3) размеры галактики определяются из формулы, выведенной на основе соотношения сторон и углов в прямоугольном треугольнике: $D = \frac{r''}{206265} \cdot r$; $D_G \approx 2 \cdot 10^4 \text{ пк}$;



4) соотношения «масса – светимость» и «масса – число звезд» для спиральных галактик можно приблизительно рассчитать, сравнив характеристики галактик, приведенных в книге «Физика космоса» (с. 82-84) или взяв соответствующие данные из книги А.А. Сучкова «Галактики знакомые и загадочные» (с. 33): $M/L \sim 3$; $M/N \sim 1$. Оценим массу галактики и число звезд в галактике: $M \sim 3 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ и $N \sim 3 \cdot 10^{10}$ звезд.

5. «Красное смещение» в спектре ближайшего квазара 3С 273 в созвездии Девы составляет $Z = 0,158$. Определите: расстояние до квазара r , его оптическую светимость L и максимальные размеры X , если даже в 6-метровый телескоп БТА он наблюдается в виде звездообразного объекта. Как далеко в прошлом или «сколько лет назад» мы наблюдаем этот квазар? Постоянную Хаббла считать равной $75 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$.

Решение и ответы задачи:

1) расстояние до квазара определяется по закону Хаббла $r = \frac{c \cdot z}{H}$, где c – скорость света. $r = 632 \text{ Мпк} = 6,32 \cdot 10^8 \text{ пк} = 2,06 \cdot 10^9 \text{ св. лет}$. Свет квазара летит к Земле $2,06 \cdot 10^9$ лет. Следовательно, мы наблюдаем квазар таким, каким он был 2,06 млрд лет назад;

2) светимость квазара определяется формулами: $M = m + 5 - 5 \lg r$; $L = 2,512^{5-M} : M_G = -26,4^m$; $L_G = 1,36 \cdot 10^{12} L_{\odot} = 3,64 \cdot 10^{39} \text{ Дж/с}$;

3) поскольку квазар даже при наибольшем увеличении телескопа сохраняет точечные видимые угловые размеры, его максимальные линейные размеры X не превышают разрешающей способности телескопа, определяемых формулой: $d = \frac{\lambda \cdot 206265}{D}$, где λ – длина волны регистрируемого электромагнитного излучения объекта, D – диаметр объектива телескопа. При $\lambda = 555 \text{ нм}$ (наилучшей спектральной чувствительности глаз) и $D = 6 \text{ м}$ $\delta \approx 0,02''$.

Размеры квазара определяются из формулы: $X \leq \frac{d''}{206265} \cdot r$, $X \leq 60 \text{ пк}$.

6. В середине XX в. ученые на основе наблюдений далеких галактик определили, что значение постоянной Хаббла лежит в пределах $50 \leq H \leq 100 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$. Определите минимальный и максимальный возраст t_M и размеры r_M Метагалактики, соответствующие этим данным. Проанализируйте полученные результаты.

Решение и ответы задачи:

1) возраст Метагалактики можно определить из соотношения: $t_M = \frac{1}{H}$. Учитывая, что $1 \text{ пк} = 3,1 \cdot 10^{16} \text{ м}$, $1 \text{ св. г.} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ м}$, а 1 миллиард лет содержит около $3,18 \cdot 10^{16} \text{ с}$, минимальный возраст Метагалактики (при $H = 100 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$) $t_{M\text{min}} \approx 9,75 \text{ млрд лет}$, а максимальный (при $H = 50 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$) $t_{M\text{max}} \approx 19,5 \text{ млрд лет}$.

2) размеры Метагалактики определяются соотношением: $r_M = t_M \cdot c$, где c – скорость света. Минимальные размеры Метагалактики (при $H = 100 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$) $r_{M\text{min}} \approx 9,75 \cdot 10^9 \text{ св. лет} = 9,2 \cdot 10^{25} \text{ м}$. Максимальные размеры Метагалактики (при $H = 50 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$) $r_{M\text{max}} \approx 19,5 \cdot 10^9 \text{ св. лет} = 1,85 \cdot 10^{27} \text{ м}$.

При приближительных расчетах удобно брать значение постоянной Хаббла около 75 км/с·Мпк.

7. Заполните таблицу «Основные характеристики молодой Метагалактики», определив размеры, плотность и температуру Метагалактики для моментов времени $t_{M1} = 0,001$ с; $t_{M2} = 1$ с; $t_{M3} = 1$ год; $t_{M4} = 1000$ лет; $t_{M5} = 1$ млн лет; $t_{M6} = 1$ млрд лет после Большого Взрыва.

Решение и ответы задачи:

1) размеры Метагалактики определяются формулой $r_M = t_M \cdot c$, где c – скорость света;

2) плотность материи Метагалактики определяется из формул: $\rho = \frac{M}{V}$, где

$V_* = \frac{4}{3}\pi R_M^3$ – объем Метагалактики;

3) температура материи Метагалактики вычисляется по формуле: $T_M = \frac{10^{10}}{\sqrt{t_M}}$.

Основные характеристики молодой Метагалактики:

| t_M | R_M | ρ_M | T_M |
|------------|------------------------|--|------------------------|
| 0,001 с | $3 \cdot 10^{-12}$ м | $8,8 \cdot 10^{85}$ кг/м ³ | $3,16 \cdot 10^{11}$ К |
| 1 с | $3 \cdot 10^{-9}$ м | $8,8 \cdot 10^{76}$ кг/м ³ | 10^{10} К |
| 1 год | $9,47 \cdot 10^{15}$ м | $2,8 \cdot 10^3$ кг/м ³ | $1,78 \cdot 10^6$ К |
| 1 000 лет | $9,47 \cdot 10^{18}$ м | $2,8 \cdot 10^{-6}$ кг/м ³ | $5,63 \cdot 10^4$ К |
| 1 млн лет | $9,47 \cdot 10^{21}$ м | $2,8 \cdot 10^{-15}$ кг/м ³ | $1,78 \cdot 10^3$ К |
| 1 млрд лет | $9,47 \cdot 10^{25}$ м | $2,8 \cdot 10^{-27}$ кг/м ³ | 56 К |

Задания для самостоятельного решения:

1. Если все квазары и квазаги «живут» не больше 100 млн лет, а возникли они в первые 2-3 млрд лет после «Большого Взрыва», как ученые могли узнать об их существовании? Наблюдаются ли квазизвездные источники современными учеными? Если «да», то на каком расстоянии от Земли находятся квазары и квазаги?

2. Сделайте необходимые краткие подписи в схеме на рисунке «Основные этапы эволюции нашей части Вселенной» (с. 275):

3. Запишите адрес нашей Земли во Вселенной так, как записывают адрес на почте:

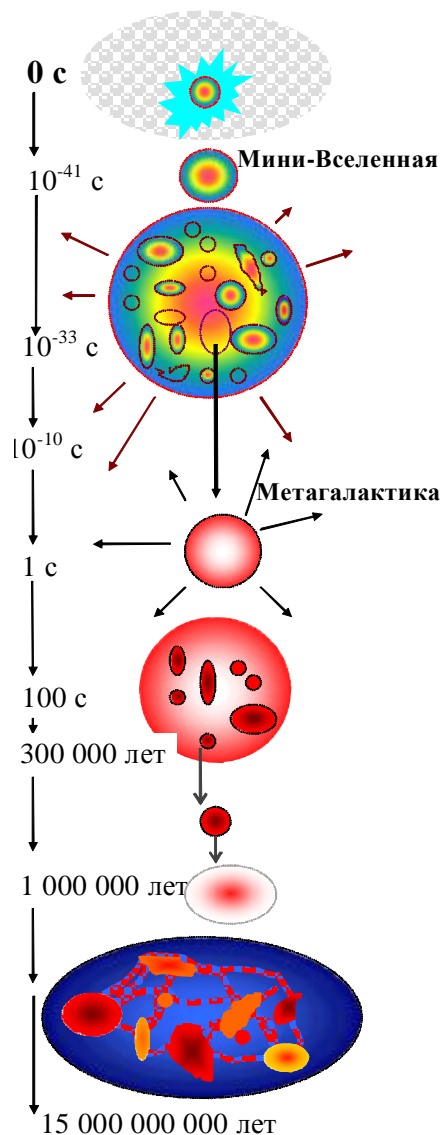
...улица, дом, квартира ... город (село, деревня) ...
 ...район ... область (край) ... республика...
 ...государство (страна)...

Ответ: планета Земля, Солнечная система, Галактика, Метагалактика, Мини-Вселенная, Вселенная.

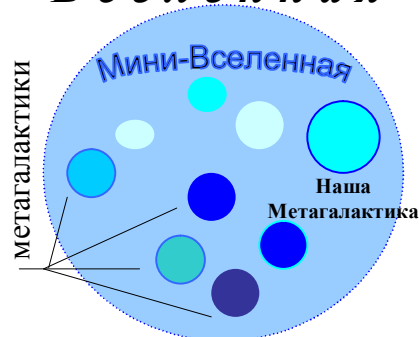
4. Обратите внимание на то, что в различных научно-популярных книгах, газетах, журналах, фильмах, телепередачах и т.д. не только плохо образованные люди, журналисты, но даже серьезные ученые часто вместо термина «Метагалактика» используют термин «Вселенная», отождествляют Метагалактику и Вселенную: говорят о возрасте и размерах Вселенной, ее возникновении и расширении и т.д. Правильно ли они поступают? Если это ошибка, то почему она возникла? Как ее исправить? Нужно ли прилагать большие усилия для ее исправления?

Ответ: отождествление Вселенной, Мини-Вселенной и Метагалактики является методологической ошибкой: Вселенная бесконечна в пространстве и вечна во времени (хотя бы потому, что за пределами Мини-Вселенной наши понятия пространства и времени попросту утрачивают смысл). Можно говорить о происхождении, размерах и расширении Метагалактики и Мини-Вселенной (их возраст практически совпадает), но нельзя говорить о происхождении, возрасте, размерах и расширении Вселенной. Правильному усвоению смысла понятий способствует понимание иерархии этих космических сверхсистем: Метагалактика является составной частью (одним из элементов, одной из множества метагалактик) Мини-Вселенной, которая в свою очередь является частью Вселенной (одной из множества мини-вселенных). Под «расширением Вселенной» следует понимать не увеличение линейных размеров всех материальных объектов, а взаимное удаление друг от друга галактических систем в пределах нашей Метагалактики и возможное «разбегание» метагалактик в пределах Мини-Вселенной. Термин «Большой Взрыв» также обозначает космический процесс, не имеющий ничего общего с понятием взрыва в физике. По тем же причинам нужно быть осторожным и с использованием понятия «эволюция (развитие) Вселенной», поскольку и в этом случае, как правило, подразумеваются космические процессы эволюции Метагалактики и Мини-Вселенной. Терминологическая путаница ведет к ошибкам научного и философского характера.

5. В спектре галактики, имеющей видимый блеск $14,2^m$ и угловые размеры $8''$, все линии в спектре равномерно смещены вправо: так, фиоле-



Вселенная



товая линия водорода серии Бальмера ($\lambda = 365$ нм) приобрела значение $\lambda = 422$ нм. Определите:

1) величину «красного смещения» Z , лучевую скорость v_r и расстояние r до галактики, считая постоянной Хаббла $H = 75$ км/с·Мпк;

2) абсолютную звездную величину M_G и светимость L_G галактики;

3) линейные размеры (диаметр) D_G галактики.

Ответы: 1) $Z = 0,156$; $v_r = 4,32 \cdot 10^4$ км/с; $r = 576$ Мпк = $5,76 \cdot 10^8$ пк.

2) $M_G = -24,6^m$; $L_G = 6,9 \cdot 10^{11} L_{\odot}$; 3) $D_G \approx 2,2 \cdot 10^4$ пк.

Семинар 8

Ноокосмология

Цель проведения занятия: формирование понятий об условиях существования и путях развития земной цивилизации.

Современный образованный человек должен знать о проблемах, стоящих перед человечеством и о способах решения этих проблем, о дальнейших перспективах развития общественных отношений, науки и техники, всей цивилизации в целом.

Согласно мнению большинства ученых, одним из наиболее перспективных средств и способов сохранения и развития цивилизации Земли является совершенствование астрономических знаний и космонавтики для привлечения ресурсов и возможностей космического пространства для выхода человечества из энергетического и экологического кризисов.

Рассмотрение основных способов практического применения астрономических знаний и средств космонавтики для нужд людей в настоящее время и в ближайшем будущем является одной из основных задач проведения данного занятия.

Другой задачей становится рассмотрение перспектив развития человечества как космической цивилизации.

Методика проведения мероприятия аналогична проведению предыдущих семинаров. В ходе занятия реализуются межпредметные связи естественно-математических и гуманитарных предметов с целью формирования знаний о современном состоянии и перспективах развития земной цивилизации с учетом прогресса соответствующих наук и техники.

В подготовке к занятию следует опираться на приведенный ниже справочный материал, сведения из курсов физики, химии, биологии, экологии, истории и обществоведения, ранее изученные темы («Планетные тела и планетные системы», «Земля», «История Земли», «Солнечная система. Планеты Солнечной системы», «Солнечная активность», «Вселенная», «Основы космологии»), многочисленные статьи в научно-популярных журналах («Земля и Вселенная», «Наука и жизнь», Техника – молодежи» и т.д.) и соответствующую научно-популярную литературу.

Рекомендуемые темы докладов и сообщений:

1. «Что такое цивилизация?», «Можем ли мы называть земную цивилизацию космической?» – доклады с последующей краткой дискуссией.

2. «Как мы живем и как будем жить: модели цивилизации», «Экологический кризис», «Энергетический кризис», Проблемы демографии» – доклад, сообщения.

3. «Основы концепции Устойчивого развития» – доклад.

4. «Астрономия для людей», «Космос – Земле» – доклады, сообщения.

5. «Какими мы станем: перспективы развития человечества» – доклад, 2-3 сообщения. Поскольку данный материал достаточно сложен и неоднозначен, следует поручить его разработку наиболее способным и заинтересованным учащимся.

За неделю-две до занятия следует провести повторное анкетирование с заполнением таблиц «Для чего нужна / не нужна астрономия» в школе и в жизни. Результаты проанализировать (они выявляют эффективность работы преподавателя с учащимися в течение года), сравнить с полученными в первом полугодии и выступить с обобщающим докладом.

В начале занятия при постановке проблемы педагог акцентирует внимание учащихся на важности правильной оценки состояния цивилизации и поиска выходов из экологического, энергетического, сырьевого и иных кризисов.

В ходе обсуждения первых докладов обучаемые формулируют определения понятий «цивилизация» и «космическая цивилизация».

Далее они знакомятся с современным состоянием и основными «бедами» нашей цивилизации. Обсуждаются модели ее развития. Ученики должны увидеть в реализации концепции УР единственный выход из критического положения нашей цивилизации, надежду на ее дальнейшее развитие.

Завершает занятие беседа о перспективах эволюции нашей цивилизации.

Итогом всего занятия должны стать выводы:

1. Цивилизация Земли приобрела в XX в. статус космической.

2. Модель УР является наиболее перспективной для выживания и развития человечества.

3. Широкое использование ресурсов космического пространства – единственный реальный способ выхода из существующих кризисов.

Существует довольно много определений понятия «цивилизация». Наиболее полные определения были даны учеными, специализирующимися в области новой науки ноокоsmологии.

«**Цивилизация** – это общность разумных существ, использующих обмен информации, энергии, массы для выработки действий и средств, поддерживающих свою жизнь и прогрессивное развитие» (В.С. Троицкий).

«**Цивилизация** – высокоустойчивое состояние вещества, способного собирать, абстрактно анализировать и использовать информацию для получения качественно новой информации об окружающем и самой себе, для самосовершенствования возможностей получения новой информации и выработки сохраняющих реакций. Степень развития цивилизации определяется объемом накопленной информации, программой функционирования и производством для реализации этих функций» (Н.С. Кардашов)

Ноокоsmология – комплексная наука, возникшая на стыке основных естественных, общественных и технических групп наук и использующая их знания, познавательные методы и средства для исследования эволюции космических цивилизаций, в число которых входит земное человечество. Основными проблемами ноокоsmологии являются: 1) возникновение и развитие жизни, разума и космических цивилизаций на Земле и во Вселенной; 2) обнаружение и установление контакта с внеземными цивилизациями; 3) следствия контакта, влияние его на развитие цивилизаций и вопросы взаимосвязи и совместного развития космических цивилизаций (КЦ). Исследования моделей возможной эволюции КЦ ведет к получению ценной информации о проблемах, встающих перед человечеством в ходе его дальнейшего развития.

Рост научно-технических, экономических, культурных и политических связей между отдельными народами и государствами, объединение человечества в единую земную цивили-

зацию, возникновение глобальных проблем, эффективное решение которых невозможно без объединенных усилий всех людей земного шара, возрастание необходимости и значимости краткосрочных и долгосрочных прогнозов обусловили необходимость создания ноокоsmологии как науки о ноосфере, основные положения которой были разработаны В. И. Вернадским; в их число входят: 1) глобализм подхода, рассмотрение цивилизации как целостной, органически единой системы; 2) социальный принцип поведения; 3) экологический фактор. Научными и научно-техническими предпосылками ее создания являлись успехи в развитии комплекса социологических наук – истории, экономики, социологии и т. д., естественно-математических наук – астрономии, физики, химии, биологии, математики (разработка системного анализа, синергетики, теории катастроф, термодинамики необратимых процессов и т.д.), создание космонавтики и ее растущая роль в решении глобальных проблем, появление реальных возможностей для вступления в контакт с внеземными цивилизациями.

Основные свойства Метагалактики – однородность и изотропность пространства, однородность и необратимость времени, симметричность физических законов, фундаментальность вероятностных закономерностей, «антропный принцип», наличие единых, общих законов эволюции материи на всех структурных уровнях; неопределенности, стохастичности, вероятностного характера развития, бифуркации, минимума диссипации (существования положительных обратных связей, предоставляющих в процессе эволюции преимущества более высокоорганизованным системам) обусловили направление хода эволюции – «от простого к сложному» с последовательным переходом от космологической стадии развития материи к химической и, далее, биологической стадиям. Возникновение отрицательных обратных связей привело к появлению нового важнейшего свойства материи – гомеостатичности, устойчивого поддержания параметров внутренней среды объекта при изменении внешних условий за счет обмена энергией, веществом и информацией с окружающей средой. «Информационная» эволюция обусловила не только необходимые и достаточные условия для возникновения и развития жизни на Земле, но и основные направления и темпы эволюции живых организмов. Данные современных астрономических наблюдений подтверждают возможность возникновения и широкого распространения биосфер в планетных системах звезд классов А0–К5 не только в нашей Галактике, но и, вероятно, у всех подобных звезд в других галактиках, а большое разнообразие физических условий на планетах земной группы различных звезд может привести к появлению разнообразных, в том числе непохожих на земные, форм высокоорганизованной материи.

Главной функцией биосферы является ее адаптивно-адаптирующая деятельность: органический мир не только приспосабливается к среде обитания, но и изменяет внешние условия, приспособляя их к себе.

Закономерным этапом эволюции живых организмов становится появление разумных существ и преобразование биосферы в ноосферу – глобальную сферу разума как высшую стадию развития биосферы. Ноосфера как органическая часть и порождение биосферы обладает не только адаптивно-адаптирующей функцией, но и приобретает новую, креативную функцию, направленную на расширение границ гомеостаза и поиск новых экологических ниш ноосферы.

Адаптирующая деятельность сообществ разумных существ опирается на совокупность освоенных технологий; каждому уровню развития технологий соответствует социальная структура общества, обеспечивающая максимально возможную эффективность производственной деятельности (оптимальная социальная адаптация). Креативная деятельность ведет к возникновению новых эффективных технологий. Противоречия между новыми прогрессивными уровнями технологий и старыми социальными структурами общества снимаются путем глубоких социальных преобразований и становятся своеобразным внутренним двигателем эволюции ноосферы. Существование противоречий между адаптивной и креативной функциями ноосферы и необходимость их периодического разрешения путем последовательных бифуркаций превращает ноосферу в динамическую, неравновесную развивающуюся систему. Оптимальным способом разрешения проблемы бифуркаций является коэволюция (совместная эволюция) природы и социума.

Научная и производственная деятельность цивилизаций превращается в крупнейшую силу вначале планетарного, а затем и космического масштаба, оказывающую радикальное

воздействие на биологические и геологические процессы родной планеты, а в перспективе – космические процессы в планетарной системе и, возможно, Галактике.

В середине XX в. земное человечество стало космической цивилизацией.

Космические цивилизации (КЦ) – общества разумных существ, деятельность которых достигла космических масштабов.

Целью разумной деятельности КЦ является изучение, освоение и преобразование окружающего мира, или самоперестройка, соответствующая своей структуре, характеристикам и свойств для сохранения и повышения устойчивости своего существования и дальнейшего развития; приоритетные задачи развития могут неоднократно и значительно изменяться за время жизни КЦ. Большинство современных ученых считает, что в начале своего развития любая КЦ обязательно проходит технологическую стадию.

Эволюция КЦ носит антиэнтропийный характер и проявляет себя в усложнении и дифференциации внутренней, социальной, технологической и культурной структуры цивилизации. Способом и инструментом познания окружающего мира является наука, а практическим средством его и собственного преобразования – технология при общественном разделении труда, как одного из обязательных условий успешного освоения и использования высоких технологий.

Разработкой моделей возможного развития технологических космических цивилизаций занимались, начиная с 60-х годов XX в., многие ведущие ученые мира и научно-исследовательские организации (Дж. Бернал, А.Д. Урсул, В.В. Казютинский, С. Лем, Л.В. Лесков, И.С. Шкловский, Н.С. Кардашев, С.Ф. Лихачев и другие). Для построения моделей используются: экстраполяционный метод, основанный на изучении и прогнозировании наиболее общих тенденций развития земной цивилизации и системный подход, состоящий в изучении генеральных принципов строения, функционирования и эволюции сложных самоорганизующихся систем.

Уровни технологической цивилизации

| № № | Основные черты уровня развития цивилизации | Основные направления развития энергетики | Основные направления развития систем обработки информации и управления | Основные направления развития биологии |
|--------|--|--|---|---|
| 1 | Начальный уровень эволюции, соответствующий современному состоянию цивилизации | Химические источники энергии: нефть, уголь, газ и т. д. | Широкое использование ЭВМ, отраслевые автоматические системы управления (АСУ) | Исследования по генетике, молекулярной биологии, биохимии, биофизике, медицине, экологии |
| 2 | Создание соответствующих социальных условий, предполагающих ликвидацию антагонистических противоречий в обществе | Ядерная и термоядерная энергетика, широкое применение космических солнечных электростанций, индустриализация космоса, вынос в космос высокотехнологических и экологически вредных производств | Глобальная система обработки информации и управления, эвристическое программирование, искусственный интеллект | Резкое улучшение условий жизни, широкое применение генной инженерии, ликвидация болезней, решение проблемы пищевых ресурсов, методы мобилизации ресурсов мозга, создание теории мозга |
| 3 | Оптимальное взаимодействие среды и цивилизации, переход основной части промышленности на безотходное производство, полное использование вторичных ресурсов, экологически сбалансированное производство | Химиобиоэнергетика, энергопроизводственные и агропромышленные комплексы, когерентная технология | Создание единой теории самоорганизации систем, машинное конструирование экологического оптимума биосферы и ноосферы | Направленное управление генетическим кодом, симбиоз «человек-машина» с сохранением интеллекта личности |
| 4 | Переход к возникновению единого планетарного разума | Источники энергии – аннигиляция вещества и антивещества, кварковый катализ, получение сверхплотных состояний материи и сверхтяжелых ядер (параэнергетика), репликация – полностью автоматизированное и малоэнергоёмкое воспроизведение любых материальных объектов, геотехнология – искусственное восстановление природных ресурсов, экоэнергетика | Когерентные методы научных исследований, машинные методы получения качественно новой информации | Постсоциальная стадия развития космической цивилизации – нообионт |

В основе построения моделей лежат идеи:

- универсальности физических, химических, биологических и социальных законов, действующих во Вселенной;

- правомерности распространения выводов, полученных на основе обобщения опыта и знаний земной цивилизации, на цивилизации внеземные;

- практическим выражением основной творческой функции КЦ служит процесс их технологической эволюции, состоящий в последовательном переходе между все более высокими уровнями ее развития;

- процесс технологической эволюции цивилизаций сопровождается усложнением их внутренней структуры, увеличением потоков информации, используемой для оптимального управления их деятельностью, возникновением большего числа новых каналов связей между структурными элементами цивилизаций, дальнейшим углублением и расширением дифференциальных и, одновременно, интегративных процессов.

Вследствие этого предполагается:

1. Процесс технологической эволюции КЦ носит в основном интенсивный характер.

2. Эволюция КЦ подчиняется универсальным законам и, как динамический процесс, подчиняется экспоненциальным законам роста.

Согласно расчетам, земная цивилизация достигнет II-го уровня технологического развития через 30000 лет, III-го уровня – через 80000 лет, IV-го уровня – 150000 лет спустя. Посттехнологический этап эволюции нашей цивилизации наступит через 272000 лет.

Процесс перестройки биосферы, гидросферы, атмосферы, литосферы и околоземного космического пространства – техногенез – представляет собой совокупность геохимических и минералогических процессов, обусловленных технической деятельностью человечества. Эволюция техносферы протекала в направлении: ручное орудие → машина → автоматическая линия. Размеры современных технических объектов лежат в пределах от 50 нм до 400 м; число видов технических средств – свыше 500000. Общая масса техносферы превышает $8 \cdot 10^{12}$ тонн – втрое больше, чем масса живого вещества на Земле. В сельском хозяйстве используется свыше 50 % почвенного покрова суши: из них 24000 км² под пашню и 30000 км² под пастбища скота и сенокосы.

Современные модели развития земной цивилизации – замкнутого постиндустриального общества (Форрестера) и открытого типа (Мартина) однозначно предсказывают неуклонное истощение запасов природных ресурсов при сохранении существующих тенденций развития цивилизаций.

В настоящее время лишь развитые страны производят (или могут производить) пищевые продукты, достаточные для поддержки здоровья собственного населения; в избытке продукты регулярно производят США, Австралия, Канада, ЮАР. Однако рост производства зерна жестко зависит от темпов освоения ресурсов и расходов энергии.

За счет добычи полезных ископаемых, вырубки лесов, уничтожения и снижения численности сотен видов живых существ, работы промышленных предприятий, транспорта и других видов хозяйственной деятельности людей изменяется химический состав и, отчасти, структура атмосферы, гидросферы и коры планеты, причем активность вмешательства людей в природные процессы окружающего их мира растет с каждым годом.

Обнаружено антропогенное воздействие на состояние космической погоды: работа магистральных линий электропередачи и крупных предприятий промышленности оказывает влияние на распределение радиации в околоземном космическом пространстве. Передатчики систем телекоммуникации и радионавигации, промышленные взрывы большой мощности, техногенные катастрофы и военные конфликты воздействуют на состояние не только атмосферы Земли, но и околоземного космического пространства.

...В настоящее время на Земле 88 % всей энергии человечество получает за счет сжигания природного углеродного топлива (ежегодно сжигается 4 млрд тонн угля, 3,5 млрд тонн нефти, десятки триллионов кубометров газа, древесина, торф и т.д.), загрязняющего окружающую среду на 60 %. Запасы угля, нефти и природного газа на планете огромны (из них

на территории бывшего Советского Союза 32,5 % газа, 24 % нефти и 43 % мировых запасов угля), но не беспредельны: так, потребление нефти возрастает в среднем на 8,5 % в год, причем из скважин выкачивается по техническим причинам лишь до 40% нефти. Альтернативой является широкое применения ядерной энергии: уже в 1980 г. на Земле работало 186 атомных электростанций в 20 странах общей мощностью $1,1 \cdot 10^{11}$ Вт вырабатывали 7,6 % мировой электроэнергии. (45,5 % электроэнергии США, 28 % – Европы и 11,8 % – Японии); однако абсолютно безопасных АЭС не существует. К.П.Д. использования энергии воды наиболее высок в Северной Америке – до 75,2 %, Европе и Азии – до 44,6 %. К 2000 г. в США использование воды достигло 81 % всего речного стока, свыше 8 % всех дождевых осадков, выпадающих на территории страны. Однако срок действия существующих гидроэлектростанций ограничен и определяется скоростью отложения речных осадков: так, водохранилища гигантской Асуанской ГЭС к 2025 г. на 50 % затянет илом.

Предполагается, что в начале XXI в. скорость нарастания углекислого газа в атмосфере превзойдет его естественную убыль, среднегодовые температуры повысятся на $1,5^{\circ}\text{C}$, усиливая глобальное потепление «нового климатического оптимума» и повышая уровень Мирового океана на 68 м, что вызовет затопление огромных территорий, на которых расположены десятки столиц и крупнейших городов планеты. Увеличивается абсолютная и относительная влажность воздуха, изменяется распределение осадков по районам Земли и временам года. Эти и многие другие формы воздействия цивилизации на все природные оболочки Земли не могут не вызвать тревоги за будущее человечества.

2000-й г. обещал для всего земного человечества максимальный уровень жизненного развития, в дальнейшем ситуация станет ухудшаться.

Общая несбалансированная растущая перенаселенность земного шара с ростом производства и потреблением энергии, в отсутствие безотходных технологий при замкнутом характере развития цивилизации уже к 2020 г. приведет к серии усиливающихся ресурсных и экологических катастроф с необратимыми последствиями.

2050-й г. станет переломным. Загрязнение окружающей среды будет максимально возможным и, по модели Форрестера, станет в дальнейшем уменьшаться по причине прогрессирующего снижения уровня производства и к 2200 г. с самым низким уровнем жизни человечества ситуация стабилизируется – деградировавшая цивилизация будет неспособна использовать оставшиеся природные ресурсы, выживших людей ждет примитивное существование при очень низком уровне жизни.

По модели Мартина, загрязнение окружающего мира можно приостановить еще до 2050 г. включением в оборот внутри земной среды ресурсов околоземного космического пространства и к 2070 г. прекратить совсем при вынесении основного объема промышленного производства за пределы Земли: жизненный уровень населения стабилизируется к 2100–2150 гг., а затем снова начнет повышаться.

В 1992 г. конференция ООН по окружающей среде и развитию, в которой приняли участие ведущие ученые 179 стран мира, исходя из необходимости решительного перехода от современного индустриально-потребительского общества к постиндустриальной ноосферной цивилизации с гармонически сбалансированным развитием общества и окружающей природной среды рекомендовала мировому сообществу **модель устойчивого развития (УР)** земной цивилизации на XXI столетие.

Или все страны мира сообща перейдут на модель УР, или человечество деградирует и, возможно, погибнет. Устойчивое развитие предполагает выживание и неопределенно-долгое развитие цивилизации в сочетании сохранения и устойчивости окружающей среды (биосферы).

В настоящее время уже поздно, невозможно перейти на наиболее эффективные пути УР: нереально перевести весь мир на китайскую систему планирования семьи, требовать от жителей США и Западной Европы добровольного отказа от высоких доходов и материально-общественных стандартов жизни и т.д.; включение чел. в биосферные циклы требует уменьшения населения и энергопотребления в 10 раз. Развитые страны могут попытаться идти оптимальным путем управляемого процесса УР, недалеким будут подгонять различные

бедствия и негативные реакции стран, затронутых глобальным характером катастроф.

В России правительственный проект перехода на УР был подготовлен в 1994-95 гг., но о конкретных шагах в печати не сообщалось.

Программу ООН о переходе к устойчивому развитию к началу XXI в. подписали 192 государства. Переход мирового сообщества на УР планируется начать в 2005 г. (до 2015 г.).

В число задач экологической безопасности входят:

- переориентация системы воспитания, образования, мировоззрения, культуры, морали, искусства, науки и техники на цели обеспечения планетарной экологической безопасности;
- международное сотрудничество для обеспечения экологической безопасности планеты;
- уменьшение антропогенного давления на биосферу с целью ее сохранения и развития;
- устойчивое освоение природных ресурсов при эффективной взаимосвязи экономики и экологии с полным и достоверным экологическим контролем.

Одним из средств выживания человечества является совершенствование астрономических знаний и космонавтики для привлечения ресурсов и возможностей космического пространства для выхода человечества из энергетического и экологического кризисов. Поэтому в июне 1999 г. в Вене состоялась конференция ООН «Космос на службе человечества в XXI веке».

Задачи земной экологии требуют астрономических наблюдений и наблюдений из космоса не только за Землей, но и за Солнцем и ближним космосом. По мере своего развития современная технологическая цивилизация становится более уязвимой к действию космических факторов.

Разработан ряд способов применения космических технологий для нужд земной энергетики:

1. Орбитальные отражатели-рефлекторы для освещения отдельных полярных районов.
2. Орбитальные солнечные электростанции.
3. Создание термоядерных электростанций, использующих энергию реакции изотопов водорода ^2H (дейтерия) и гелия ^3He : $^2\text{H} + ^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + p$, основными продуктами которой являются α -частицы ^4He и протоны p , обладающих преимуществами высокого (до 70 %) К.П.Д. при отсутствии радиоактивных отходов, остаточной радиоактивности и невозможности ядерной катастрофы, требует разработки внеземных месторождений топлива, поскольку на всей Земле запасы изотопа ^3He оцениваются в 500 кг. Для полного обеспечения современных потребностей в энергии России и США нужно ежегодно «сжигать» 50-60 тонн ^3He , которые можно было бы собрать с участка Луны площадью около 3000 км².

В покрывающем всю лунную поверхность 3-метровом слое лунного реголита скопилось около 1 млрд тонн ^3He . Для одной термоядерной электростанции мощностью 500 МВт требуется 50 кг изотопа в год. Из 100 тонн грунта при его дегазации при нагревании до 700°C выделяется до 1,5 г ^3He . Практически добыча ценного изотопа может осуществляться автоматическими самоходными «луноходами» с роторными ковшами и камерами для нагревания и сепарации газов; источником энергии могут быть солнечные установки. Стоимость 1 тонны изотопа с добычей и доставкой на Землю составит около 1 млрд долларов. В настоящее время на развитие энергетики в США ежегодно тратится 40 млрд долларов, тогда как работа всех термоядерных электростанций США будет стоить 25 млрд долларов в год.

4. Удаление с Земли в космос высокоактивных отходов, составляющих около 0,1% всех радиоактивных отходов (изотопов Am, Cm, Zr, I и других, с периодом полураспада свыше 1000 лет), а также высокотоксичных отходов химической промышленности. Рассматривалось в проектах П. Л. Капицы (1959 г., СССР), Шлессинджера (1972 г., США) и разрабатывалось в СССР и США в 1987-1988 гг. Авторы проектов исходили из положений: 1) биосфера не может ассимилировать все РАО, произведенные человечеством; 2) наша планета ограничена, а космос безграничен – и предлагали сбрасывать РАО на Юпитер, Солнце или за пределы Солнечной системы. В настоящее время наиболее реально распыление отходов в космосе вдоль гелиоцентрических орбит между Землей и Марсом ($a \sim 1,2 \text{ а. е.}$). Наиболее важным вопросом остается проблема безопасности ракетоносителя-«могильника»: в 1964 г. американский спутник «Транзит» с радиоизотопной энергетической установкой взорвался в атмосфере, втрое увеличив содержание плутония-238 в воздушной среде всей Земли; в 1978 г. на Канаду упал советский ИСЗ «Космос-954» с ядерной энергетической установкой (реактором) на борту.

...Анализ различных моделей эволюции ноосферы приводит к выводам:

1. Вероятность разных вариантов эволюции цивилизации различна.
2. Продолжительность технологической фазы эволюции КЦ не превышает (в разных моделях) 10^3 – 10^5 лет.
3. Практически отсутствуют цивилизации с экстенсивным характером развития, определяемым неограниченным ростом потребления энергии и материальных ресурсов.

Н.С. Кардашев предложил классифицировать КЦ по уровням энергопотребления:

1. Космические цивилизации I типа обладают технологическим уровнем, близким к современному земному с энергопотреблением на уровне планетарного, до 10^{11} кВт.
2. Космические цивилизации II типа целиком овладевшие энергией своей звезды, до $4 \cdot 10^{23}$ кВт.
4. Космические цивилизации III типа, овладевшие энергией Галактики, свыше 10^{33} кВт.

Хотя уровни энергопотребления теоретически не ограничены, КЦ III типа в нашей Галактике и ее ближайших окрестностях, по-видимому, отсутствуют, поскольку их существование неизбежно должно обуславливать «космические чудеса». Различные ученые объясняют отсутствие III типа тем, что они еще не успели возникнуть в Галактике; или что деятельность КЦ III типа носит качественно иной, принципиально невообразимый нами характер, не наблюдаемый современными научными приборами или лишенный критерия искусственности. Ряд ученых предполагают, что КЦ III и даже II типа не могут возникнуть в силу многочисленных причин, некоторые из которых перечислены выше, а другие неизвестны. Наконец, некоторые ученые считают человечество единственной космической цивилизацией Галактики.

Классификация сценариев развития космических цивилизаций была предложена С. Лемом в конце 60-х годов:

1. КЦ развиваются неограниченно, без каких либо внутренних ограничений на масштабы деятельности и уровень энергопотребления, становятся суперцивилизациями III типа. Возникают очень редко, но являются долговечными, практически все развиваются по технологическому пути, приводящему к астроинженерной деятельности.

Сторонниками данного сценария являлись Н. С. Кардашев, И. С. Шкловский (в молодости) и другие ученые. Противники – сам С. Лем и большинство современных ученых – полагают, что существование таких КЦ невозможно ввиду «необходимости обмена массой и информацией при ограниченности скорости обмена»; сдерживание роста энергопотребления определяется требованиями «охраны среды обитания от энергетического загрязнения и нарушения экологических требований»; экспоненциальное развитие технологических КЦ возможно лишь ограниченное время – до 10^4 лет – и заканчивается на стадии освоения своей планетной системы.

2. «Цивилизации возникают в космосе часто, но время их жизни весьма ограничено» – такова точка зрения С. фон Хорнера, Ф. Уоршевски, И. С. Шкловского (к старости) и немногочисленной группы ученых; другие считают невозможным допустить неспособность КЦ решить свои глобальные проблемы как нарушение закона развития любой цивилизации.

3. «Цивилизации возникают в космосе часто и являются долговечными, но развиваются неортоэволюционно» – максимальный уровень энергопотребления соответствует КЦ II типа; фаза развития, характеризующаяся экстенсивным ростом параметров цивилизаций по экспоненциальному закону, кратковременна и сменяется фазой (этапом) посттехнологического развития (В. С. Троицкий и большинство ученых). С течением времени цивилизация периодически переходит к все новым и новым, более эффективным технологическим процессам, обеспечивающим поддержание равновесия с окружающей средой и соответственно перестраивает свою внутреннюю структуру: космическая деятельность ноосферы носит когерентный, экологически сбалансированный характер. Рост количественных показателей (энергопотребления и т. д.) происходит в степени, не нарушающей основных условий эволюции. По расчетам Л.В. Лескова и других ученых, КЦ обладают высокой устойчивостью по отношению к возмущающим факторам как внешним, так и внутренним: фатальная неизбежность гибели ноосферы отсутствует, вероятность гибели КЦ в результате космических катастроф пренебрежимо мала.



Рис. 104. Возможные пути развития космических цивилизаций

Предполагается, что дальнейшая управляемая эволюция (автоэволюция) вида *Homo Sapiens* будет протекать по основным направлениям:

1. «Реабилитация» – ликвидация болезней, исправление дефектов генетического кода, биохимическая стимуляция («повышение КПД» мозга) и т. д.

2. «Компьютеризация» – создание искусственных органов (в том числе органов чувств, расширяющих восприятие внешнего мира – например, органов зрения, позволяющих человеку видеть мир во всем диапазоне длин электромагнитных волн, от радио- до γ -излучения), человеко-машинных систем, взаимосвязи человек-компьютер, обогащающей индивидуальную память непосредственно из банка информации, включая алгоритмы решения новых задач творческого характера, сомышление с машиной, новые формы обучения и др.

3. «Модернизация» – приспособление челов. к жизни в другой среде, вплоть до создания автотрофных существ.

По мнению автора, вышеперечисленные этапы-направления эволюции вида являются не столько одновременными, сколько последовательно необходимыми. Этап полномасштабных исследований Солнечной системы затянется на сотни лет, а за ним неизбежно последует этап освоения Солнечной системы, невозможный без проведения крупномасштабных астроинженерных работ или (и) коренной модернизации вида *Homo Sapiens*. Космическая экспансия человечества наталкивается на проблему расселения (колонизации) планет: пригодными для этого в Солнечной системе являются Венера, Марс и, возможно, Луна и другие крупнейшие планетоиды. Вышеперечисленные пути «переделки» планет займут десятки или даже сотни тысяч лет (при этом родившиеся на Луне и Марсе жить и даже посещать Землю все равно не смогут, поскольку их костно-мышечный аппарат сформируется в условиях пониженной гравитации). Что легче: полностью или хотя бы частично менять основные физико-химические характеристики космических тел или искусственно создать новый вид разумных существ, способных обитать на поверхности данного космического тела без его существенной переделки?

...Помимо вышеназванных, следствиями автоэволюции могут стать:

– периодическая перестройка индивидуальных качеств личности и ее внешнего вида; программируемое переформирование в соответствии с интересами и запросами личности и требованиями общества;

– конструирование синтетической личности;

– объединение 2-х и более личностей в одном теле; распространение личностного потенциала на 2 и более тела; телетаксия – подключение к мозгу индивида соматического дублера.

Предпосылки и пути к осуществлению этих задач уже разрабатываются.

Фантастической, но многообещающей представляется идея-мечта Н.Ф. Федорова: восстановление личностей, оставивших богатое творческое наследие, вплоть до «воскрешения умерших» – всех, кто жил когда-либо на Земле.

Выход на качественно более высокие, новые уровни развития ноосферы предполагает:

1. Решение проблемы сохранения личности, понимаемой в динамике, на неопределенно долгое время (личное бессмертие).

2. Максимальное раскрытие творческих способностей индивидуумов при одновременном диффузном размывании межличностных границ в социуме и высокой степени интеграции коллективного интеллекта – выход на неоунитарную стадию эволюции ноосферы.

В 1996 г. В.А. Лефевр разработал математическую модель произвольной разумной высокоразвитой системы, обладающей субъективным внутренним миром и способностью его многократного отражения, самосознания.

Психологическая деятельность разумного существа может быть описана при помощи аналогии с определенным образом организованной системой взаимосвязанных тепловых машин, каждой из которых соответствует один из «образов себя» рефлектирующего сознания. Интенсивность переживаний, связанных с данным «образом себя», соответствует производимой машинами работе, мощность которых определяется количеством циклов за единицу времени. Частотные свойства психологической деятельности сопоставимы с частотными характеристиками

системы машин: они соответствуют частотам натуральных интервалов музыкального ряда. По мнению В.А. Лефевра «Набор натуральных интервалов может играть роль отличительного признака, позволяющего выделять системы разумной жизни, анализируя радиоволны, оптические спектры и другие источники информации из космического пространства».

Некоторые математические закономерности, свойственные высокоорганизованной системе, проявляются, по мнению Ю.Н. Ефремова и В.А. Лефевра, в излучении отдельных космических объектов (рентгеновский источник МХВ 1730-335, SS 433 и т.д., переменность излучения которых может быть управляемой, связанной с деятельностью ВЦ). В рамках своей гипотезы ученые допускают даже теоретическую возможность существования небелковых разумных объектов («космических магнитных плазмидов, обладающих психикой и способностью испытывать внутренние переживания и проецировать их вовне в виде систем пропорций») и преобразования (самопреобразования) космической Сверхцивилизацией черной дыры типа Керра в Сверхразумное существо, Сверхличность, аналогом тела которой является черная дыра, аналогом мозга необъятной информационной емкости – горизонт черной дыры. Субъективный мир Сверхличности сосредоточен, замкнут во внутреннем пространстве черной дыры и не имеет статуса реальности для внешнего наблюдателя, однако имеет связь с черными дырами других Мини-Вселенных. Срок «жизни» этой способной не только к саморазвитию, но и саморепродукции («рождению» других черных дыр) Сверхличности равен продолжительности существования черной дыры: до 10^{10} лет!

По мнению С. Лема областями существования Гиперцивилизации становятся отдельные метагалактики или даже Мини-Вселенные. Способные изменять законы физики Гиперцивилизации взаимодействуют фактом своего существования, при отсутствии коммуникаций (поскольку любой материальный сигнал из области обитания любой Гиперцивилизации не может проникнуть в соседние области). Результатом «бесконтактного» взаимодействия Гиперцивилизаций становится Мини-Вселенная (Вселенная), иерархическая по уровням физических законов и структуре, расширяющаяся с некоторой постоянной скоростью.

Методика проведения завершающего занятия

Цель проведения занятия: творческое осмысление опыта подготовки к преподаванию астрономии в средних учебных заведениях.

В ходе беседы (дискуссии) обучаемые должны решить:

6. Нужно ли преподавать астрономию в средних учебных заведениях?
7. Зачем ее нужно преподавать (каковы должны быть цели и задачи курса астрономии в средней школе)?
8. Как нужно преподавать астрономию в школе (в каких классах, в какой форме, в каком объеме и какими методами)?
9. Какими знаниями и умениями по астрономии должны обладать выпускники средней школы?
10. Какими знаниями и умениями по астрономии и педагогике (методике) должны обладать выпускники педвуза – учителя физики и астрономии?
11. Какие меры следует предпринять для улучшения преподавания астрономии: а) в школе; б) в вузе?

Проведению занятия предшествует письменный опрос обучаемых:

1. В классе отвечают на вопросы «Универсальной астрономической анкеты».
2. Дома заполняются таблицы:

Изучение астрономии в школе

| | |
|---|---|
| Почему надо изучать астрономию в школе (10 пунктов) | Почему не надо изучать астрономию в школе 1. (10 пунктов) |
|---|---|

Использование астрономических знаний

| | |
|--|--|
| Важнейшие области применения астрономических знаний (где, как, для чего и почему) (10 пунктов) | Где, как, для чего и почему астрономические знания применять нельзя ни в коем случае 1. (10 пунктов) |
|--|--|

3. Обучаемые дают рекомендации по преподаванию курса астрономии в школе и педвузе: а) общие (о целях, задачах, содержании и методах преподавания); б) частные, по проведению отдельных уроков, сообщению материала отдельных тем и разделов курса, средствах и способах улучшения учебного процесса и т.д.

Допускаются анонимные ответы, но работу должны выполнить все обучаемые. Желательно, чтобы в обработке полученных данных приняли участие наиболее активные и способные обучаемые.

Эта работа учащихся имеет для педагога огромное значение, он узнает:

- как изменился уровень астрономических знаний учащихся и их отношение к предмету, какой материал был усвоен наиболее (наименее) успешно и почему;
- что думают о нем как педагоге его ученики, о сильных и слабых сторонах процесса обучения, наиболее эффективных, понравившихся, запомнившихся методах преподавания и отдельных моментах уроков с точки зрения учащихся.

Многие советы учащихся имеют высокую практическую ценность, т.к. они судят о предмете и процессе обучения «изнутри», мыслят более гибко, непредвзято (недогматично) и способны видеть то, что старшие педагоги часто не замечают.

Данные анкетирования должны быть проанализированы и обобщены до проведения занятия, на котором обучаемых знакомят с результатом их работ. Выводы делаются в ходе совместного обсуждения.

Приложение

УНИВЕРСАЛЬНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ АНКЕТА

предназначается для проверки качества астрономических знаний выпускников средней общеобразовательной школы и определения коэффициентов полноты усвоения содержания астрономических понятий. Соответствует уровню требований Стандарта образования

При заполнении указываются номера выполняемых заданий и номера верных ответов в каждом варианте вопроса:

Номер задания (1;2;3...)/Вариант вопроса (А; Б; В...)/Номер верного ответа (1;2;3...).

Например: 2 Б3; 3 В1; 6 Г4 ... и т.д.

Номера верных ответов на вопросы:

- 1 (2)
- 2 (А5; Б 9; В 7; Г 2; Д 10; Е 3; Ж 6; З 1; И 4; К 8)
- 3 (А 3; Б 3; В 3; Г 2)
- 4 (А 3; Б 2; В 1; Г 1)
- 5 (А 1; Б 2; В 1; Г 1)
- 6 (А 1; Б 1; В 2; Г 2; Д 3)
- 7 (А 2; Б 1; В 1; Г 3; Д 1)
- 8 (А 3; Б 2; В 1)
- 9 (А 1; Б 2; В 3)
- 10 (А 1; Б 3; В 2; Г 4; Д 4)

- 11 (А 1; Б 3; В 1; Г 1; Д 2)
- 12 (А 3; Б 2; В 5; Г 9; Д 1; Е 3)
- 13 (А 2; Б 3; В 1; Г 5; Д 4; Е 6)
- 14 (А 3; Б 4; В 2; Г 1)
- 15 (А 1; Б 2; В 3; Г 4; Д 5; Е 6)
- 16 (А 4; Б 2; В 5; Г 1; Д 4; Е 3; Ж 6; З 7)
- 17 (А 1; Б 2; В 3; Г 4; Д 5; Е 6)
- 18 (А 1; Б 3; В 1; Г 2; Д 1; Е 1; Ж 2; З 3; И 2)

Для обработки полученных данных может быть использован поэлементный метод анализа качества усвоения понятий, разработанный А.В. Усовой. Для изучения динамики формирования астрономических знаний с учетом степени важности отдельных признаков понятий и общей корректности результатов опроса мы выделили в анкете отдельные группы вопросов, проверяющих уровень сформированности основных, главных, и дополнительных, второстепенных признаков фундаментальных астрономических понятий.

Для понятия «Вселенная» это ответы на вопросы анкеты: 2Г; 2Е; 2Ж; 2К; 3А; 3Б; 3В; 3Г; 4А; 4Б; 4В; 4Г; 5А; 16З.

Для понятия «туманность» это ответы на вопросы анкеты: 6А; 6Б; 6В; 6Г; 6Д.

Для понятия «звезда» это ответы на вопросы анкеты: 2И; 7А; 7Б; 7В; 7Г; 7Д; 8А; 8Б; 8В; 9А; 9Б; 9В; 10А; 10Б; 10В; 10Г; 10Д; 13А; 13Б; 13Е; 14В; 15Д; 15Е; 16Б; 16В; 16Е; 16Ж.

Для понятия «планетное тело» («планета») это ответы на вопросы анкеты: 2А; 2Б; 2В; 2Г; 2З; 11А; 11Б; 11В; 11Г; 11Д; 12А; 12Б; 12В; 12Г; 12Д; 12Е; 13В; 13Г; 13Д; 14А; 14Б; 14Г; 15А; 15Б; 15В; 15Г; 16А; 16Г; 16Д.

Для понятия «небесные явления» это ответы на вопросы анкеты: 17А; 17Б; 17В; 17Г; 17Д; 17Е; 18А; 18Б; 18В; 18Г; 18Д; 18Е; 18Ж; 18З; 18И.

Коэффициент полноты усвоения понятий определяется из формулы: $h = \frac{\sum n(i)}{n \cdot N}$, где $n(i)$

– количество существенных признаков понятия, выделенных i -м учеником; n – количество подлежащих усвоению признаков; N – количество опрошенных учеников.

Вопросы анкеты:

1. Астрономия – это наука, изучающая:

- 1) самые простые и самые общие свойства и законы движения материи;
- 2) космические явления; происхождение, строение, состав, движение и развитие (эволюцию) космических объектов и их систем и природу космических процессов;
- 3) проблемы происхождения и эволюции космических тел и их систем и закономерности строения и эволюции Вселенной.

2. История астрономии: свяжите имена великих ученых с выдающимися открытиями и изобретениями – результатами их исследований:

- | | |
|---|---|
| А. Автор геоцентрической теории; | Б. Автор гелиоцентрической теории; |
| В. Автор законов движения планет; | Г. Автор закона Всемирного тяготения; |
| Д. Изобретатель телескопа; | Е. Автор общей теории относительности; |
| Ж. Ученый, первым разработавший модели эволюции Метагалактики; | |

З. Авторы первых гипотез образования Солнечной системы из вещества протопланетной туманности;

И. Ученые, установившие зависимость между спектром звезд и их светимостью;

К. Ученый, установивший зависимость между скоростями и расстоянием до галактик.

- 1) И. Кант, П. Лаплас; 2) И. Ньютон; 3) А. Эйнштейн; 4) Г. Герцшпрунг, Э. Рессел; 5) Птолемей;
- 6) А.А. Фридман; 7) И. Кеплер; 8) Э. Хаббл; 9) Н. Коперник; 10) Г. Галилей.

3. Вселенная – это:

- | |
|---|
| А. 1) Земля и околоземное космическое пространство; |
| 2) космическое пространство за пределами Земли; |
| 3) весь мир вокруг нас. |
| Б. 1) Вселенная ограничена пределами Земли и околоземного космического пространства; |

- 2) Вселенная ограничена пределами Солнечной системы;
- 3) Вселенная не имеет границ.

- В.** 1) Вселенная образовалась не более 1 млн лет назад;
2) Вселенная образовалась 15 млрд лет назад;
3) Вселенная существует вечно.

- Г.** 1) Вселенная неподвижна, она не меняется со временем;
2) Вселенная непрерывно изменяется, развивается, эволюционирует.

4. Метагалактика – это:

- А.** 1) скопление звезд на Млечном Пути;
2) другое название Солнечной системы;
3) часть Вселенной, в которой мы живем и которая доступна нашим наблюдениям.

- Б.** 1) Метагалактика обладает размерами около 40 000 световых лет;
2) Метагалактика обладает размерами около 15 млрд световых лет;
3) Метагалактика бесконечна в пространстве.

- В.** 1) Метагалактика имеет возраст около 15 млрд лет;
2) Метагалактика существует вечно;
3) Метагалактика образовалась около 4,5 млрд лет назад.

- Г.** 1) Метагалактика обладает ячеистой структурой;
2) Метагалактика обладает спиральной структурой;
3) Метагалактика не имеет правильной структуры.

5. Галактика – это:

- А.** 1) система из 200 млрд звезд, туманностей, планет и других космических тел;
2) скопление звезд на Млечном Пути;
3) другое название Солнечной системы;
4) другое название Вселенной.

- Б.** 1) Солнечная система находится в центре Галактики;
2) Солнечная система находится в 34 000 световых лет от центра Галактики;
3) Галактика – не физическая, а лишь кажущаяся совокупность звезд на небе.

- В.** 1) объекты Галактики связаны между собой силами тяготения, общим происхождением и движением;
2) объекты Галактики физически не связаны между собой;
3) объекты Галактики образовались в той же туманности, что Земля и планеты Солнечной системы.

- Г.** 1) наша Галактика обладает спиральной структурой;
2) Галактика имеет округлую (эллиптическую) форму;
3) Галактика имеет неправильную форму.

6. Туманность – это:

- А.** 1) огромное облако космического газа и пыли;
2) шарообразное тело, которое светит отраженным светом;
3) глыба замерзших газов, в которую вмерзли твердые частицы и камни.

- Б.** 1) туманности состоят в основном из водорода;
2) туманности состоят в основном из соединений углерода, азота, неона и других тяжелых газов;
3) туманности состоят в основном из кремния, железа и других тяжелых элементов.

- В.** В результате сверхмощных взрывов звезд образуются: 1) диффузные газопылевые туманности;
2) планетарные и волокнистые туманности.

- Г.** Образование звезд происходит: 1) в волокнистых туманностях;
2) в диффузных газопылевых туманностях;
3) в планетарных туманностях.

Д. Образование звезд происходит в результате явления:

- 1) слипания вещества под действием силы тяжести с последующим гравитационным сжатием;
- 2) гравитационного коллапса;
- 3) гравитационного сжатия с последующим коллапсом.

7. Звезда – это:

- А.** 1) огромный раскаленный газовый шар;
2) шарообразное тело, состоящее из раскаленной плазмы;
3) шарообразное тело, которое светит отраженным светом;

- Б.** 1) Звезды обладают массами от 10^{29} до 10^{32} кг, или от 0,08 до 100 масс Солнца;
 2) Звезды обладают массами менее 10^{29} кг, или менее 0,08 масс Солнца;
 3) Массы звезд свыше 10^{32} кг, или более 100 масс Солнца.
- В.** 1) Звезды состоят в основном из водорода и гелия;
 2) звезды состоят в основном из углерода, кремния, железа и других тяжелых элементов;
 3) состав звезд не известен.
- Г.** Выделение энергии в недрах звезд происходит в результате:
 1) атомных реакций распада урана и плутония;
 2) химических реакций сгорания вещества;
 3) термоядерных реакций превращения водорода в гелий;
 4) неизвестных науке процессов.
- Д.** Классы звезд связаны с их цветом и температурой:

| | | | | | |
|----------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| 1) Класс | О, В | А | Г | К | М |
| Цвет | голубой | белый | желтый | оранжевый | красный |
| Температура, К | 15 000 | 10 000 | 6 000 | 4 500 | 3 000 |
| 2) Класс | О, В | А | Г | К | М |
| Цвет | красный | оранжевый | желтый | белый | голубой |
| Температура, К | 15 000 | 10 000 | 6 000 | 4 500 | 3 000 |
| 3) Класс | А | В | Г | К | М |
| Цвет | синий | белый | красный | зеленый | желтый |
| Температура, К | 1 000 | 2 000 | 3 000 | 4 000 | 5 000 |

8. Связь между спектральным классом звезды и временем пребывания на главной последовательности:

- А.** Звезды классов О (В) существуют: 1) десятки млрд лет; 2) миллиарды лет; 3) млн лет.
Б. Звезды классов G (К) существуют: 1) десятки млрд лет; 2) миллиарды лет; 3) млн лет.
В. Звезды класса М существуют: 1) десятки млрд лет; 2) миллиарды лет; 3) млн лет.

9. Зависимость конечных этапов эволюции звезд от массы звезд:

- А.** Звезды с ядрами массой до 1,5 масс Солнца становятся:
 1) белыми карликами; 2) нейтронными звездами; 3) черными дырами;
Б. Звезды с ядрами массой от 1,5 до 3 (10) масс Солнца становятся:
 1) белыми карликами; 2) нейтронными звездами; 3) черными дырами;
В. Звезды с ядрами массой свыше 3 (10) масс Солнца становятся:
 1) белыми карликами; 2) нейтронными звездами; 3) черными дырами;

10. Солнце – это:

- А.** 1) звезда; 2) планета; 3) комета; 4) галактика.
Б. Масса Солнца: 1) 10^{22} кг, или равна массе Луны;
 2) $6 \cdot 10^{27}$ кг, или почти равна массе Земли;
 3) $2 \cdot 10^{30}$ кг, или в 333 000 раз больше массы Земли;
 4) 10^{32} кг, или в 30 млн раз больше массы Земли.
В. Солнце: 1) красная звезда класса М;
 2) желтая звезда класса G;
 3) оранжевая звезда класса К;
 4) белая звезда класса А.
Г. 1) Солнце – самая большая из известных звезд;
 2) Солнце – самая маленькая из известных звезд;
 3) Солнце совпадает по размерам с Землей;
 4) Солнце больше Земли по размерам в 109 раз.
Д. Температура на поверхности Солнца: 1) 3 000 К; 2) 4 500 К; 3) 10 000 К; 4) 6 000 К.

11. Планета – это:

- А.** 1) шарообразное тело, которое светит отраженным светом;
 2) огромный раскаленный газовый шар;
 3) глыба замерзших газов, в которую вмерзли твердые частицы и камни.
Б. 1) планеты обладают массами от 10^{29} до 10^{32} кг;
 2) планеты обладают массами свыше 10^{32} кг;

3) планеты обладают массами от 10^{22} до 10^{27} кг.

В. Энергетика планет основана:

- 1) на энергии гравитационного сжатия и распада радиоактивных элементов;
- 2) химических реакциях сгорания вещества;
- 3) термоядерных реакциях превращения водорода в гелий.

Г. Основные физические характеристики планет определяются:

- 1) массой планеты и расстоянием от Солнца;
- 2) размерами планеты;
- 3) количеством спутников.

Д. Планеты движутся:

- 1) по параболическим орбитам с переменной скоростью;
- 2) по эллиптическим орбитам с переменной скоростью;
- 3) по гиперболическим орбитам с постоянным ускорением;
- 4) по круговым орбитам с постоянной скоростью.

12. Солнечная система:

А. В состав Солнечной системы входят:

- 1) Солнце, звезды, планеты, спутники, астероиды, кометы, метеорные частицы, космическая пыль и газ;
- 2) Солнце и 9 больших планет;
- 3) Солнце, 9 больших планет и их спутники, астероиды, кометы, метеорные частицы, космическая пыль и газ;
- 4) Земля и другие планеты, Луна и другие спутники, астероиды и кометы.

Б. Девять больших планет Солнечной системы в порядке удаления от Солнца:

- 1) Солнце, Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун;
- 2) Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон;
- 3) Венера, Меркурий, Земля, Марс, Сатурн, Юпитер, Нептун, Уран, Плутон.

В. Укажите порядковый номер самой большой планеты.

Г. Укажите порядковый номер самой маленькой планеты.

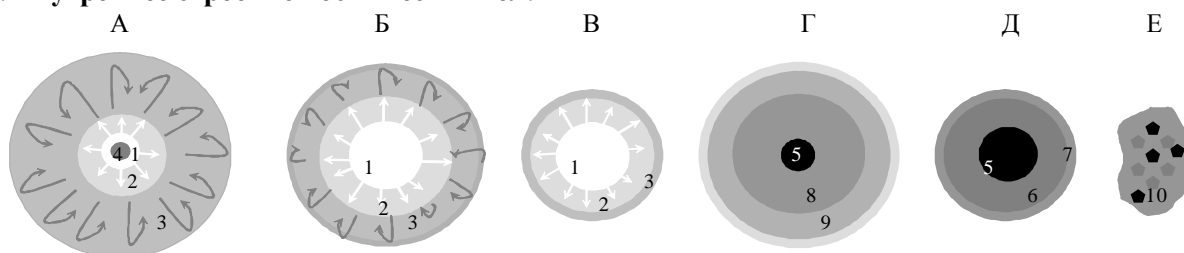
Д. Заметной атмосферой обладают планеты:

- 1) Венера, Земля, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун;
- 2) Венера, Земля, Юпитер;
- 3) Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун;
- 4) Меркурий, Марс, Плутон.

Е. Не имеют спутников планеты:

- 1) Меркурий, Венера, Марс, Плутон;
- 2) Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун;
- 3) Меркурий, Венера.

13. Внутреннее строение космических тел:



- 1 – зона термоядерных реакций; 2 – зона лучистого переноса; 3 – зона конвекции; 4 – изотермическое гелиевое ядро;
5 – железное (железосиликатное) ядро; 6 – мантия; 7 – кора (литосфера); 8 – зона жидкого водорода;
9 – зона твердого (металлического) водорода; 10 – лед и замерзшие газы с вкраплениями пыли и силикатных пород
1) звезда класса А; 2) звезда – красный гигант; 3) звезда класса G; 4) планета земной группы;
5) планета-гигант; 6) комета.

14. Как называются эти космические тела?

А. Объекты, обладающие отдельным внутренним строением и приобретающие под действием сил тяготения при своем образовании шарообразную форму: 1) кометы; 2) звезды; 3) планеты; 4) спутники.

Б. Объекты, которые под действием сил тяготения вращаются вокруг более массивных космических тел: 1) кометы; 2) звезды; 3) планеты; 4) спутники.

В. Объекты, в недрах которых протекают термоядерные реакции превращения водорода в гелий:

- 1) кометы; 2) звезды; 3) планеты; 4) спутники.

Г. Объекты, представляющие собой глыбы замерзших газов, в которые вмержли твердые частицы и камни: 1) кометы; 2) звезды; 3) планеты; 4) спутники.

15. Скорости движения космических тел и космических аппаратов:

А. Первая космическая скорость для поверхности Земли:

- 1) 7,8 км/с; 2) 11,2 км/с; 3) 42 км/с; 4) 30 км/с; 5) 20 км/с; 6) 250 км/с.

Б. Вторая космическая скорость для поверхности Земли:

- 1) 7,8 км/с; 2) 11,2 км/с; 3) 42 км/с; 4) 30 км/с; 5) 20 км/с; 6) 250 км/с.

В. Третья космическая скорость для Земли:

- 1) 7,8 км/с; 2) 11,2 км/с; 3) 42 км/с; 4) 30 км/с; 5) 20 км/с; 6) 250 км/с.

Г. Скорость вращения Земли вокруг Солнца:

- 1) 7,8 км/с; 2) 11,2 км/с; 3) 42 км/с; 4) 30 км/с; 5) 20 км/с; 6) 250 км/с.

Д. Скорость движения Солнечной системы относительно ближайших звезд;

- 1) 7,8 км/с; 2) 11,2 км/с; 3) 42 км/с; 4) 30 км/с; 5) 20 км/с; 6) 250 км/с.

Е. Скорость движения Солнечной системы относительно центра Галактики:

- 1) 7,8 км/с; 2) 11,2 км/с; 3) 42 км/с; 4) 30 км/с; 5) 20 км/с; 6) 250 км/с.

16. Космические расстояния и единицы их измерения:

А. *Астрономическая единица:*

- 1) 384 000 км; 2) путь, который луч света пролетит за 1 год; 3) 4,2 св. г., или 270000 а.е.; 4) 149 000 000 км; 5) расстояние, соответствующее 1" годичного параллакса; 6) 34 000 св. лет; 7) 15-20 млрд св. лет.

Б. *Световой год:*

- 1) 384 000 км; 2) путь, который луч света пролетит за 1 год; 3) 4,2 св. г., или 270000 а.е.; 4) 149 000 000 км; 5) расстояние, соответствующее 1" годичного параллакса; 6) 34 000 св. лет; 7) 15 – 20 млрд св. лет.

В. *Парсек:*

- 1) 384 000 км; 2) путь, который луч света пролетит за 1 год; 3) 4,2 св. г., или 270000 а.е.; 4) 149 000 000 км; 5) расстояние, соответствующее 1" годичного параллакса; 6) 34 000 св. лет; 7) 15 – 20 млрд св. лет.

Г. *Среднее расстояние от Земли до Луны:*

- 1) 384 000 км; 2) путь, который луч света пролетит за 1 год; 3) 4,2 св. г., или 270000 а.е.; 4) 149 000 000 км; 5) расстояние, соответствующее 1" годичного параллакса; 6) 34 000 св. лет; 7) 15 – 20 млрд св. лет.

Д. *Среднее расстояние от Земли до Солнца:*

- 1) 384 000 км; 2) путь, который луч света пролетит за 1 год; 3) 4,2 св. г., или 270000 а.е.; 4) 149 000 000 км; 5) расстояние, соответствующее 1" годичного параллакса; 6) 34 000 св. лет; 7) 15 – 20 млрд св. лет.

Е. *Расстояние до ближайшей звезды Проксима Центавра:*

- 1) 384 000 км; 2) путь, который луч света пролетит за 1 год; 3) 4,2 св. г., или 270000 а.е.; 4) 149 000 000 км; 5) расстояние, соответствующее 1" годичного параллакса; 6) 34 000 св. лет; 7) 15 – 20 млрд св. лет.

Ж. *Расстояние до центра Галактики:*

- 1) 384 000 км; 2) путь, который луч света пролетит за 1 год; 3) 4,2 св. г., или 270000 а.е.; 4) 149 000 000 км; 5) расстояние, соответствующее 1" годичного параллакса; 6) 34 000 св. лет; 7) 15 – 20 млрд св. лет.

З. *Расстояние до границ Метагалактики:*

- 1) 384 000 км; 2) путь, который луч света пролетит за 1 год; 3) 4,2 св. г., или 270000 а.е.; 4) 149 000 000 км; 5) расстояние, соответствующее 1" годичного параллакса; 6) 34 000 св. лет; 7) 15 – 20 млрд св. лет.

17. Какие небесные явления происходят при данных конфигурациях небесных тел:

А. Если А – Земля; В – Луна; С – Солнце, произойдет:

- 1) солнечное затмение; 2) лунное затмение; 3) противостояние;
4) верхнее соединение; 5) нижнее соединение; 6) покрытие.

Б. Если А – Луна; В – Земля; С – Солнце, произойдет:

- 1) солнечное затмение; 2) лунное затмение; 3) противостояние;
4) верхнее соединение; 5) нижнее соединение; 6) покрытие.

В. Если А – планета Марс; В – Земля; С – Солнце, произойдет:

- 1) солнечное затмение; 2) лунное затмение; 3) противостояние;
4) верхнее соединение; 5) нижнее соединение; 6) покрытие.

Г. Если А – Земля; В – Солнце; С – планета Венера, произойдет:

- 1) солнечное затмение; 2) лунное затмение; 3) противостояние;
4) верхнее соединение; 5) нижнее соединение; 6) покрытие.

Д. Если А – Земля; В – планета Меркурий; С – Солнце, произойдет:

- 1) солнечное затмение; 2) лунное затмение; 3) противостояние;
4) верхнее соединение; 5) нижнее соединение; 6) покрытие.

Е. Если А – Земля; В – Луна; С – планета Венера, произойдет:

⎧ А
⎪ В
⎩ С

- 1) солнечное затмение; 2) лунное затмение; 3) противостояние;
- 4) верхнее соединение; 5) нижнее соединение; 6) покрытие.

18. Небесные явления:

- А.** Видимое вращение звездного неба происходит по причине:
- 1) вращения Земли вокруг своей оси;
 - 2) вращения Луны вокруг Земли;
 - 3) вращения Земли вокруг Солнца.
- Б.** Смена времен года происходит по причине:
- 1) вращения Земли вокруг своей оси;
 - 2) вращения Луны вокруг Земли;
 - 3) вращения Земли вокруг Солнца.
- В.** Смена дня и ночи происходит по причине:
- 1) вращения Земли вокруг своей оси;
 - 2) вращения Луны вокруг Земли;
 - 3) вращения Земли вокруг Солнца.
- Г.** Смена фаз Луны происходит по причине:
- 1) вращения Земли вокруг своей оси;
 - 2) вращения Луны вокруг Земли;
 - 3) вращения Земли вокруг Солнца.
- Д.** Восход и заход небесных светил происходит по причине:
- 1) вращения Земли вокруг своей оси;
 - 2) вращения Луны вокруг Земли;
 - 3) вращения Земли вокруг Солнца.
- Е.** Видимое движение Солнца по небу в течение дня происходит по причине:
- 1) вращения Земли вокруг своей оси;
 - 2) вращения Луны вокруг Земли;
 - 3) вращения Земли вокруг Солнца.
- Ж.** Солнечные затмения происходят по причине:
- 1) вращения Земли вокруг своей оси;
 - 2) вращения Луны вокруг Земли;
 - 3) вращения Земли вокруг Солнца.
- З.** Изменение полуденной высоты Солнца над горизонтом в течение года происходит по причине:
- 1) вращения Земли вокруг своей оси;
 - 2) вращения Луны вокруг Земли;
 - 3) вращения Земли вокруг Солнца.
- И.** Лунные затмения происходят по причине:
- 1) вращения Земли вокруг своей оси;
 - 2) вращения Луны вокруг Земли;
 - 3) вращения Земли вокруг Солнца.

Список рекомендуемой литературы:

I. Учебники астрономии для вузов:

1. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии: Учебник для пед.вузов. – М.: Наука, 1986.
2. Дагаев М.М., Демин В.Г., Климишин И.А., Чаругин В.М. Астрономия: Учеб. пособие для физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1983.- 385 с.
3. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие / Под ред. В.В. Иванова. – М.: Едиториал УРСС, 2001. – 544 с.
4. Румянцев А.Ю. Астрономия: Курс лекций по общей астрономии для учащихся физ.-мат. школ и студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – Магнитогорск: МаГУ, 1997. – 356 с.

II. Учебники и учебные пособия для средних учебных заведений:

1. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия: Учеб. для 11 кл. сред. шк.- М.: Просвещение, 1990. – 159 с.
2. Воронцов-Вельяминов Б.А., Страут Е.К. Астрономия, 11 кл.: Учеб. для общеобразоват. учеб. заведений. – М.: Дрофа, 2002. – 224 с.
3. Дагаев М.М., Демин В.Г. Астрономия. – М.: Просвещение, 1980.- 159 с.
4. Засов А.В., Кононович Э.В. Астрономия: Учеб. для 11 кл. шк. и классов с углубл. изуч. физики и астрономии. – М.: Просвещение 1993.- 160 с.
5. Зигель Ф.Ю. Астрономия в ее развитии. Кн. для учащихся 8-10 кл. сред. шк. – М.: Просвещение, 1988.- 160 с.
6. Левитан Е.П. Астрономия: Учеб. для 11 кл. общеобразоват. учреждений. – М.: Просвещение, 1994.- 207 с.
7. Моше Д. Астрономия: Книга для учащихся: Пер. с англ. / Под ред. А.А. Гурштейна. – М.: Просвещение, 1985. – 255 с.
8. Набоков М.Е., Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия: Учеб. для 10 кл. сред. школы. – М.: Учпедгиз, 1938.- 125 с.
9. Порфирьев В.В. Астрономия: Учеб. для 11 кл. сред. шк. – М.: Просвещение, 1999.

III. Методика преподавания астрономии в средней школе:

1. Астрономия в школе: Сборник статей в помощь учителю астрономии. Под ред. Б.А. Волинского. – Ярославль: изд-во ЯПИ, 1976. – 164 с.
2. Вологодская З.А., Капустин Л.А., Попова А.П. Кружковая работа по астрономии и космонавтике. – Челябинск: изд-во ЧГПИ, 1989. – 39 с.
3. Воронцов-Вельяминов Б.А. Методика преподавания астрономии. – М.: Просвещение, 1985.
4. Диркова Е.Ю. К изучению темы «Солнце и звезды» // Физика в школе. – 1994.- № 6.- С. 50-51.
5. Долгий М.А. Десять уроков по астрономии // Физика в школе. – 1958.- № 5. – С. 24-28.
6. Дроздов В.Б. Задачи с астрономическим и геофизическим содержанием // Физика в школе. – 1994.- № 2.- С.69-70.
7. Ерохина Р.Я., Страут Е.К. Использование астрофизического материала для развития понятия о плазме // Физика в школе.-1982.- № 1.- С. 38-44.
8. Ерохина Р.Я. Методика реализации взаимосвязи курсов астрономии и физики в средней школе: Дис...канд. пед. наук. – М., 1982.
9. Зинковский В.И. Примерное тематическое и поурочное планирование занятий по астрономии на 1988/89 учебный год // Физика в школе. – 1988.- № 5, 6. – С.73-78; 68-71.
10. Ильевский И.Д. Методика преподавания сферической и практической астрономии в средней школе: Дис... канд. пед. наук. – М., 1965.
11. Ильевский И.Д. Задачи в школьном курсе астрономии // Физика в школе. – 1972.- № 6.- С. 86-87.
12. Ильевский И.Д. Из опыта программированной проверки знаний по астрономии // Физика в школе. – 1971.- № 3.- С. 78-80.
13. Клевенский Ю.Н. Астрономия в классах с углубленным изучением физики и математики // Физика в школе. – 1979.- № 4.-С. 69-70.

14. Клевенский Ю.Н. Знакомство учащихся с диаграммой Герцшпрунга-Рессела // Физика в школе. – 1980.- № 6.- С. 63-64.
15. Клевенский Ю.Н. Использование развивающих вопросов на уроках астрономии // Физика в школе. – 1979.- № 5.- С. 74-76.
16. Клевенский Ю.Н. Контрольные работы на уроках астрономии // Физика в школе.- 1975.- № 1.- С. 61-64.
17. Клевенский Ю.Н. Решение задач из учебника астрономии // Физика в школе. – 1979.- № 5.- С. 68-70.
18. Кикин Д.Г. Изучение основ астрофизики в курсе физики средних специальных учебных заведений / Дис... канд. пед. наук. – М., 1986.- 165 с.
19. Комаров Б.Н. Астрономия и мировоззрение. – М.: Просвещение, 1987.- 160 с.
20. Корякина Е.А., Сырнева Е.Д. Изучение темы «Происхождение и развитие небесных тел» // Физика в школе. – 1972.- № 3.- С. 81-86.
21. Левитан Е.П. Методика преподавания астрономии. – М.: Просвещение, 1965.- 227 с.
22. Левитан Е.П. Основы обучения астрономии (современные проблемы теории и практики). – М.: Высшая школа, 1987. – 150 с.
23. Левитан Е.П. Основы обучения астрономии: Метод. пособие для СПТУ. – М.: Высшая школа, 1987.- 136 с.
24. Левитан Е.П. Преподавание астрономии в средних профессионально-технических училищах. – М.: Высшая школа, 1974.- 128 с.
25. Левитан Е.П. Мировоззренческие аспекты изучения астрономии. – М.: Высшая школа, 1983.
26. Левитан Е.П. Изучение звезд и звездных систем в курсе астрономии // Физика в школе. – 1966.- № 2.- С. 41.
27. Левитан Е.П. Изучение темы «Физическая природа тел Солнечной системы» // Физика в школе. – 1971.- № 6.
28. Левитан Е.П. Ознакомление учащихся с идеями, лежащими в основе объяснения фундаментальных свойств Вселенной // Физика в школе. – 1987.- № 1.- С. 63-67.
29. Левитан Е.П. Преподавание астрономии по новому учебнику // Физика в школе. – 1996.- № 3.- С. 62-64.
30. Левитан Е.П. Систематизация знаний и умений, приобретаемых учащимися в курсе астрономии // Физика в школе. – 1976.- № 5.- С. 73-75; № 6. – С. 73-76.
31. Левитан Е.П. Современный урок астрономии // Физика в школе. 1979.- № 5.- С. 65-68.
32. Левитан Е.П. Этапы формирования и развития астрономических и космических понятий у школьников // Новые исследования в педагогических науках. – 1981.- № 1.
33. Максимова В.Н. Межпредметные связи и совершенствование процесса обучения: Книга для учителя. – М.: Просвещение, 1984.- 143 с.
34. Марленский А.Д. Изучение темы «Звезды» // Физика в школе. – 1971.- № 1.- С.76-87.
35. Межпредметные связи курса физики в средней школе / Под ред. Ю.И.Дика, И.К. Турышева. – М.: Просвещение, 1987.
36. Методика преподавания астрономии в средней школе: Пособие для учителя / Б.А. Воронцов-Вельяминов, М.М. Дагаев, А.В. Засов и др. – М.: Просвещение, 1973.- 254 с.
37. Методика преподавания астрономии в средней школе: Пособие для учителя / Б.А. Воронцов-Вельяминов, М.М. Дагаев, А.В. Засов и др. – М.: Просвещение, 1985.- 240 с.
38. Морозова Е.А. Примерное тематическое и поурочное планирование занятий по астрономии (33 урока) // Физика в школе. – 1981. – № 5.- С. 61-62.
39. Набоков М.Е. Методика преподавания астрономии. – М.: Учпедгиз, 1955.
40. Оптимизация обучения физике и астрономии. Книга для учителя / Под ред. проф. Пеннера Д.И.- М.: Просвещение, 1989.- 128 с.
41. Преподавание астрономии в школе. – М.: Просвещение, 1959. – 183 с.
42. Преподавание астрономии в школе. М.: Просвещение, 1965.- 283 с.
43. Примерное тематическое и поурочное планирование занятий по астрономии на ... учебный год // Физика в школе.

44. Программа одиннадцатилетней школы. *Астрономия // Физика в школе.*
45. Прянишников В.И. *Занимательная астрономия в школе.* – М.: Просвещение, 1980.- 127 с.
46. Румянцев А.Ю. *Методика преподавания астрономии в средней школе: Курс лекций по методике преподавания астрономии для учителей физики и астрономии и студентов физ.-мат. фак. пед. вузов. Часть I: Методика изложения основ классической астрономии; Часть II: Методика изложения основ современной астрономии.* – Магнитогорск: МаГУ, 2001. – 604 с.; www.astronet.ru
47. Румянцев А.Ю. *Подготовка к уроку астрономии: Метод. рекомендации.* – Магнитогорск: МаГУ, 2002. – 37 с.
48. Румянцев А.Ю. *История дидактики астрономии: Краткие очерки истории преподавания астрономии в средних учеб. заведениях России: Монография.* – Магнитогорск: МГПИ, 1999. – 266 с.
49. Румянцев А.Ю. *Формирования системы астрономических знаний в курсе физики средней школы: Монография.* – Магнитогорск: МГПИ, 1999. – 234 с.
50. *Сб. программ общеобразоват. учреждений М-ва образ. Рос. Федерации «Физика. Астрономия».* – М.: Просвещение, 1996.
51. Селиванова Л.И. *К уроку на тему «Развитие представлений о строении Солнечной системы» // Физика в школе.* – 1994.- № 4.- С. 57-58.
52. Симония И.А. *Вариант новой программы по астрономии в общеобразовательной школе // Совершенствование форм и методов преподавания астрономии в педвузе и школе.* – Свердловск: СГПИ, 1990.- С. 90-94.
53. *Современная астрономия и методика ее преподавания / Сб. тез. III Всерос. науч.-практ. конф.* – СПб, 2002. – 216 с.
54. *Совершенствование форм и методов преподавания астрономии в педвузе и школе.* – Свердловск: СГПИ, 1990. – 129 с.
55. Соколовский Ю.И. *Вывод законов Кеплера // Физика в школе.*- 1978. – № 1.- С. 67-70
56. Стамейкина И.А. *Об опыте повышения мастерства учителей астрономии // Физика в школе.* – 1979. – № 3. – С. 80-82.
57. Степанова Е.Ю., Купряков Ю.А. *Изучение вопросов о Галактике в теме «Строение Вселенной» // Физика в школе.* – 1972.- № 1. – С. 74-79.
58. Стефанова Т.Ж. *Урок на тему «Солнце» // Физика в школе.* – 1983. – № 5.- С. 69-72.
59. Страут Е.К. *Изучение элементов космонавтики на уроках астрономии // Физика в школе.* – 1987.- № 2.- С. 61-69.
60. Страут Е.К. *Методика вводных занятий по курсу астрономии средней школы // Физика в школе.* – 1974.- № 5.- С. 61-69.
61. Страут Е.К. *О преподавании астрономии по новой программе // Физика в школе.* – 1986.- № 2.- С. 61-63.
62. Страут Е.К., Сергиенко Ю.П. *Новое издание учебника астрономии и особенности его использования в учебном процессе // Физика в школе.* – 1987.- № 4.- С. 65-71.
63. Страут Е.К., Широков С.В. *Примерное поурочное планирование учебного материала по астрономии // Физика в школе.* – 1972. – № 5.- С. 85-87.
64. Шаталов В.Ф. *Опыт работы по астрономии // Физика в школе.*- 1975. – № 4.- С. 65-67.
65. Шаталов В.Ф. *Планы-конспекты по астрономии.* – Киев: Радянська школа, 1974.
66. Шишаков В.А. *В помощь учителю астрономии: Метод. пособие.* – М.: Учпедгиз, 1952.

IV. Сборники задач по астрономии для школы и вуза:

1. Волынский Б.А., Малахова Г.И., Скамейкина И.А. *Задачи и упражнения по астрономии для средней школы: Пособие для учителя.* – М.: Просвещение, 1965.- 106 с.
2. Воронцов-Вельяминов Б.А. *Сб. задач по астрономии: Пособие для учащихся.- М.: Просвещение, 1980.- 56 с.*
3. Карташов В.Ф. *Практические работы по астрономии: Метод. рекомендации и задания.* – Челябинск: ЧГПУ, 1999. – 196 с.

4. Малахова Г.И., Страут Е.К. Дидактический материал по астрономии: пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1989.- 94 с.
5. Разбитная Е.П. Программированные задания по астрономии. – М.: Наука, 1977.- 80 с.
6. Румянцев А.Ю. Комплексные задания по астрономии: Сб. упражнений по общей астрономии для уч-ся средних шк. и студентов физ.-мат. фак. пед. вузов. – Магнитогорск: МаГУ, 2002. – 71 с.
7. Страут Е.К. Астрономия: Дидактические материалы для средней общеобразоват. шк. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. – 80 с.
8. Субботин Г.П. Сб. задач по астрономии: задания, упражнения, тесты. – М.: Аквариум, 1997. – 224 с.
9. Сурдин В.Г. Астрономические олимпиады. Задачи с решениями. М., 1995. – 320 с.

V. Рекомендации по проведению астрономических наблюдений:

1. Андрианов Н.К., Марленский А.Д. Астрономические наблюдения в школе. – М.: Просвещение, 1987.- 112 с.
2. Андрианов Н.К., Марленский А.Д. Школьная астрономическая обсерватория. – М.: Просвещение, 1977.- 176 с.
3. Бронштен В.А. Планеты и их наблюдения. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 240 с.
4. Дагаев М.М. Наблюдения звездного неба. – М.: Наука, 1983.-176 с.
5. Жуков Л.В., Соколова И.И. Организация и проведение школьных астрономических наблюдений. – Л.: ЛГПИ им. Герцена, 1980.- 88 с.
6. Зигель Ф.Ю. Сокровища звездного неба. – М.: Наука, 1987. – 296 с.
7. Румянцев А.Ю. Организация астрономических наблюдений в средней школе: Метод. рекомендации. – Челябинск: Факел, 1996. – 42 с.
8. Саркисян Е.А. Небесные светила – надежные ориентиры: Пособие для уч-ся. – М.: Просвещение, 1981.- 63 с.
9. Сикорук Л.Л. Телескопы для любителей астрономии. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 368 с.
10. Степанян Н.Н. Наблюдаем Солнце. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. – 128 с.
11. Цесевич В.П. Переменные звезды и их наблюдение.- М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980.– 176 с
12. Шевченко В.В. Луна и ее наблюдения. – М.: Наука; Гл. ред; физ.-мат. лит., 1983. – 192 с.
13. Яхно Г.С. Наблюдения и практические работы по астрономии. – М.: Просвещение, 1965.

VI. Словари и справочники:

1. Астрономический календарь. Постоянная часть / Под ред. В.К. Абалакина. – М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 704 с.
2. Астрономический календарь (ежегодник) / Под ред. О.С. Угольникова. – М.: А.Д. Сельянов.
3. Астрономический календарь (ежегодник) / Под ред. К.В. Куимова. – М.: Космоинформ.
4. Болсун А.И., Рапанович Е.Н. Словарь физических и астрономических терминов: Для учащихся сред. и ст. шк. возраста. – Минск: Нар. асвета, 1986. – 223 с.
5. Брейтот Дж. 101 ключевая идея: Астрономия / Пер. с англ. К. Савельева. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 272 с.
6. Космонавтика: Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1968. – 528 с.
7. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии / Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.
8. Миттон С., Миттон Ж. Астрономия: Оксфордская библиотека: Пер. с англ. – М.: Росмэн, 1998. – 160 с.
9. Оксфордская иллюстрированная энциклопедия: В 9 т. Т. 8. Вселенная / Пер. с англ. – М.: Издательский Дом ИНФРА-М; Весь Мир, 2000. – 204 с.
10. Ридпат И., Тирион У. Космос / Пер. с англ. И.К. Бельченко. – М.: ООО Изд-во Астрель, ООО Изд-во АСТ, 2001. – 256 с.
11. Физика космоса: Маленькая энциклопедия / Редкол.: Р.А. Сюняев и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1986. – 783 с.

12. Школьный астрономический календарь (ежегодник).- М.: Просвещение.
13. Энциклопедия для детей. Т.8. Астрономия / Глав. ред. М.Д. Аксенова.– М.: Аванта+, 1997.– 688 с.

VII. Научно-популярная литература по астрономии:

1. Агекян Т.А. Звезды, галактики, Метагалактика. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 416 с.
2. Амнуэль П.Р. Загадки для знатоков: История открытия и исследования пульсаров. – М.: Знание, 1988. – 192 с.
3. Буткевич А.В., Зеликсон М.С. Вечные календари. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984.- 208 с.
4. Бялко А.В. Наша планета – Земля. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 208 с.
5. Вайнберг С. Первые три минуты: современный взгляд на происхождение Вселенной. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2000. – 272 с.
6. Витинский Ю.И. Солнечная активность. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 192 с.
7. Волье М., Мейнел А., Кинг И. и др. Оптические телескопы будущего: Пер. с англ. / Под ред. В.П. Щеглова. – М.: Мир, 1981. – 432 с.
8. Воронцов-Вельяминов Б.А. Очерки истории астрономии в России. – М.: Гос. Изд-во технико-теорет. лит., 1956.- 372 с.
9. Вуд Дж. Солнце, Луна и древние камни: Пер. с англ. / Под ред. А.А. Гурштейна. – М.: Мир, 1981. – 269 с.
10. Геологи изучают планеты / Я.Г. Кац, В.В. Козлов, Н.В. Макаров, Е.Д. Сулиди-Кондратьев. – М.: Недра, 1984. – 144 с.
11. Гетман В.С. Внуки Солнца. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 176 с.
12. Гребенников Е.А., Рябов Ю.А. Поиски и открытия планет. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 224 с.
13. Глушко В.П. Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР. – М.: Машиностроение, 1987. – 304 с.
14. Гуревич Л.Э., Чернин А.Д., Происхождение галактик и звезд. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 192 с.
15. Гурштейн А.А. Человек и Вселенная. – М.: Комитет по геодезии и картографии М-ва Экологии и природных ресурсов РФ, 1992. – 142 с.
16. Гурштейн А.А. Извечные тайны неба. М.: Просвещение, 1990. – 272 с.
17. Дагаев М.М. Солнечные и лунные затмения. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. – 208 с.
18. Евсюков В.В. Мифы о Вселенной. – Новосибирск: Наука; Сибирское отделение, 1988. – 176 с.
19. Еремеева А.И. Астрономическая картина мира и ее творцы. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 224 с.
20. Жарко В.Н. Внутреннее строение Земли и планет.– М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 416 с.
21. Зигель Ф.Ю. Путешествие по недрам планет. – М.: Недра, 1988. – 220 с.
22. Карпенко Ю.А. Названия звездного неба. – М.: Наука, 1981. – 184 с.
23. Кац Я.Г., Рябухин А.Г. Космическая геология: Кн. для уч-ся. – М.: Просвещение, 1984. – 80 с
24. Киппенхан Р. 100 миллиардов солнц: Рождение, жизнь и смерть звезд: Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 293 с.
25. Климишин И.А. Элементарная астрономия. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 464 с.
26. Климишин И.А. Релятивистская астрономия: Пер. с укр. / Под ред. В.С. Имшенника. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 288 с.
27. Кононович Э.В. Солнце – дневная звезда: Пособие для уч-ся.- М.: Просвещение, 1982.– 112 с
28. Ксанфомалити Л.В. Парад планет. – М.: Наука, 1998. – 256 с.
29. Космос – Земле. М.: Наука, 1981. – 152 с.
30. Куликов К.А., Сидоренков Н.С. Планета Земля. – М.: Наука, 1977. – 190 с.
31. Куликов К.А. Астрономия в народном хозяйстве. – М.: Наука, 1981. –168 с.
32. Левантовский В.И. Механика космического полета в элементарном изложении. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 512 с.

33. Липунов В.М. Все нейтронные звезды: Книга для внеклассного чтения уч-ся 8-10 кл. сред. шк. – М.: Просвещение, 1988. – 63 с.
34. Макдугал Дж. Д. Краткая история планеты Земля: горы, животные, огонь и лед / Пер. с англ. В. Псарева. – СПб.: Амфора, 2001. – 383 с.
35. Маров М.Я. Планеты Солнечной системы. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 320 с.
36. Мизун Ю.В., Мизун Ю.Г. Разумная жизнь во Вселенной. – М.: Вече, 2001. – 432 с.
37. Мирошниченко Л.И. Солнечная активность и Земля. – М.: Наука, 1981. – 144 с.
38. Нарликар Дж. От черных облаков к черным дырам: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 141 с.
39. Николов Н., Харламповцев В. Звездочеты древности: Пер. с болгар. – М.: Мир, 1991. – 294 с.
40. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 192 с.
41. Новиков И.Д. Как взорвалась Вселенная. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 176 с.
42. Пономарев Д.Н. Астрономические обсерватории Советского Союза. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 208 с.
43. Розенталь И.Л. Геометрия, динамика, Вселенная. – М.: Наука, 1987. – 144 с.
44. Силкин Б.И. В мире множества лун / Под ред. Е.Л. Рускол. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. – 208 с.
45. Симоненко А.Н. Астероиды или тернистые пути исследований. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 208 с.
46. Сурдин В.Г. Динамика звездных систем. – М.: МЦНМО, 2001. – 32 с.
47. Сучков А.А. Галактики знакомые и загадочные. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 192 с.
48. Тейлер Р. Дж. Галактики. Строение и эволюция: Пер с англ. / Под ред. А.Г. Дорошкевича. – М.: Мир, 1981. – 224 с.
49. Томита Коитиро. Беседы о кометах: Пер. с япон. – М.: Знание, 1982. – 320 с.
50. Хренов Л.В., Голуб И.Я. Время и календарь. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 128 с.
51. Ходж П. Галактики: Пер. с англ. / Под ред. Ю.Н. Ефремова. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. – 192 с.
52. Хокинг С. Краткая история времени: От большого взрыва до черных дыр / Пер. с англ. – СПб.: Амфора, 2000. – 268 с.
53. Цибульский В.В. Календари и хронология стран мира. – М.: Просвещение, 1982. – 128 с.
54. Шкловский И.С. Звезды их рождение, жизнь и смерть. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 384 с.
55. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 384 с.

VIII. Педагогика. Методика обучения и воспитания:

1. Бабанский Ю.К. Оптимизация учебно-воспитательного процесса. – М.: Просвещение, 1982. – 192 с.
2. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. – М.: Педагогика, 1989. – 126 с.
3. Педагогика: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов / Под ред. Ю.К. Бабанского. – М.: Просвещение, 1983. – 608 с.
4. Педагогика: Учеб. пособие для студентов пед. вузов и пед. колледжей / Под ред. П.И. Пидкасистого. – М.: Рос. пед. агенство, 1996. – 602 с.
5. Подласый И.П. Педагогика. Новый курс: Учеб. для студ. пед. вузов: В 2 кн. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1999.
6. Серветник Т.А. Работа с информацией: Методическое пособие. – Магнитогорск: МаГУ, 2003. – 96 с.
7. Усова А.В. Теория и практика развивающего обучения: Учеб. пособие. – Челябинск: Факел, 1996. – 38 с.
8. Усова А.В. Систематизация и обобщение знаний учащихся в процессе обучения: Учеб. пособие. – Челябинск: ЧГПУ, 1998. – 43 с.
9. Усова А.В. Формирование у учащихся общих учебно-познавательных умений в процессе изучения предметов естественного цикла: Учеб. пособие. – Челябинск: ЧГПУ, 1997. – 34 с.
11. Усова А.В., Бобров А.А. Формирование учебных умений и навыков учащихся на уроках физики. – М.: Просвещение, 1988. – 112 с.

АСТРОНОМИЯ

Александр Юрьевич Румянцев
Татьяна Александровна Серветник

Темплан ун-та 2003 г.

Редактор Л. С. Новикова

Регистрационный № 0363 от 02.04.2001 г. Подписано в печать 09.04.2004 г.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага тип № 1. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 17,5. Уч.-изд. л. 16,7. Тираж 500 экз. Заказ № 5.

Цена свободная.

Издательство Магнитогорского государственного университета
455038, Магнитогорск, пр. Ленина, 114
Типография МаГУ