

57  
А 91 Учебник

# АСТРОНОМИЯ

Под редакцией Т.С. Фещенко

Общеобразовательные дисциплины



Профессиональное  
образование

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

58  
751

# АСТРОНОМИЯ

УЧЕБНИК

Под редакцией Т. С. Фещенко

Рекомендовано  
Федеральным государственным бюджетным учреждением  
«Федеральный институт развития образования» (ФГИРО-  
ФГОУ ВПО «ИРО») в качестве учебника для использования в учебном процессе  
образовательными организациями, реализующими программы СПО  
на базе основного общего образования  
с получением среднего общего образования

8484

Регистрационный номер рецензии 120  
от 5 мая 2016 г. ФГИРО-ФГОУ ВПО

3-е издание, стереотипное

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ  
БИБЛИОТЕКА



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2019

УДК 52(075.32)  
ББК 22.63я723я722  
А914

Рецензент –

зам. директора ГБПОУ ДЭМ «Медицинский колледж № 2»,  
преподаватель физики высшей квалификационной категории  
А. В. Малцова;

академик Российской академии естественных наук, профессор кафедры  
высшей математики и физики Государственного университета  
по амплестроитству, д-р физ.-мат. наук  
И. А. Соловьев

А914 **Астрономия** : учеб. для студ. учреждений сред. проф. образова-  
ния / [Е. В. Алексеева, П. М. Скворцов, Т. С. Фещенко, Л. А. Шестако-  
ва] ; под ред. Т. С. Фещенко. — 3-е изд., стер. — М. : Издательский  
центр «Академия», 2019. — 256 с.  
ISBN 978-5-4468-7912-0

Учебник разработан с учетом требований Федерального государственного об-  
разовательного стандарта среднего общего образования и федеральных государ-  
ственных образовательных стандартов среднего профессионального образова-  
ния, а также Примерной программы общеобразовательной учебной дисциплины  
«Астрономия» для профессиональных образовательных организаций.

Способствует формированию представлений о строении Солнечной системы,  
явлениях звезд и Вселенной, пространственно-временных масштабах Вселенной,  
а также пониманию сущности наблюдаемых во Вселенной явлений. Раскрывает  
основополагающие астрономические понятия, теории, законы и закономерности.  
Дает представление о значении астрономии в практической деятельности челове-  
ка и дальнейшем научно-техническом развитии.

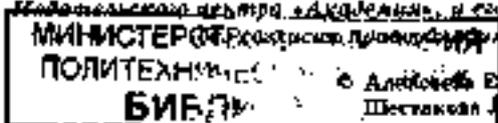
Для студентов профессиональных образовательных организаций, обучаю-  
щихся профессии и специальности среднего профессионального образования.

УДК 52(075.32)  
ББК 22.63я723я722

Условные обозначения:

-  — термины, определения
-  — это интересно
-  — исторический факт

Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия» и его воспроизведение любым способом  
без разрешения издателя



© Алексеева Е. В., Скворцов П. М., Фещенко Т. С.,  
Шестакова Л. А., 2018

© Образовательный издательский центр «Академия», 2019  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2019

ISBN 978-5-4468-7912-0

# ПРЕДИСЛОВИЕ



Астрономия — это наука, которую может понять каждый. На ее примере как нельзя лучше удастся знакомить детей с основами и методами научных исследований.

*Роберт Вильсон,  
Нобелевский лауреат в области физики*

В настоящее время важнейшей целью и задачей астрономии является формирование представлений о единстве физических законов, действующих на Земле и в безграничной Вселенной, и непрерывно происходящей эволюции нашей планеты, всех космических тел и их систем, а также самой Вселенной, поскольку человек должен понимать природу тех объектов и явлений, которые его окружают.

Астрономия сыграла колоссальную роль в развитии цивилизации, так как за ее методами основаны навигация по звездам и создание систем счета времени, календарных систем. За последние десятилетия астрономия достигла огромных успехов. В настоящее время она принадлежит к числу наиболее быстро развивающихся областей естествознания. Появляются все более веские основания утверждать, что в современной астрономии началась новая грандиозная революция. По своим масштабам и последствиям она не уступает первой революции в науке о Вселенной, связанной с великими именами Н. Коперника, И. Кеплера, Г. Галилея, И. Ньютона. Как известно, «коперниканская революция» в астрономии сопровождалась постановкой коренных философских проблем, без решения которых победа новых взглядов на Вселенную была бы заведомо невозможной.

Современная астрономия и ее методы имеют большое значение для жизни общества. Развитие технических средств измерения времени и обеспечение человека знаниями о точном времени, решаются теперь специально

ЦЕНТРАЛЬНОЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ  
И ТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ  
БИБЛИОТЕКА

## ПРЕДИСЛОВИЕ

лабораториями — службами времени, организованными, как правило, при астрономических учреждениях.

Сегодня астрономические методы также задействованы в работе систем навигации, для чего широко используются навигационные спутники. Астрономические методы ориентации и позиционирования наряду с другими применяются в мореплавании и авиации, а в последние годы и в космонавтике. Составление календаря, который широко используется в экономике, также основано на астрономических знаниях.

Составление географических и топографических карт, предвычисление наступлений морских приливов и отливов, определение силы тяжести в различных точках земной поверхности с целью обнаружения залежей полезных ископаемых — все это в своей основе имеет астрономические методы.

Астрономические данные используются для предупреждения астероидной опасности. Предотвратить столкновение астероидов с Землей пока вряд ли представляется возможным, но отследить потенциально опасные объекты, предвидеть развитие событий и предпринять какие-либо меры человечество уже способно на данном уровне развития технологий.

Вполне вероятно, что через десятилетия человечество научится отводить такие опасные объекты от Земли, что также является еще одной прикладной задачей, решаемой с использованием астрономии.

Важнейшей задачей астрономии остаются поиски жизни на планетах, обращающихся вокруг других звезд. К настоящему моменту найдено около 4 тыс. планет, расположенных вне Солнечной системы. Относительно недавно на одной из них обнаружили условия, подходящие для жизни земного типа. Речь идет о планете возле звезды Проксима Центавра, которая является ближайшей к Солнечной системе. Однако никаких признаков жизни на ней пока не обнаружено.

Исследования процессов, происходящих на различных небесных телах, позволяют астрономам изучать материю в таких ее состояниях, какие еще не достигнуты в земных лабораторных условиях. Поэтому астрономия и, в частности астрофизика, тесно связанная с физикой, химией, математикой, способствует развитию последних, а они, как известно, являются основой всей современной техники и технологий.

Учебный предмет «Астрономия» вводится в качестве обязательного учебного предмета в соответствии с приказом Минобрнауки от 29 июня 2017 г. № 613 «О внесении изменений в Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 мая 2012 г. № 413».

Требования к результатам освоения учебного предмета должны отражать:

1) сформированность представлений о возникновении, развитии и строении Солнечной системы, эволюции звезд и Вселенной, пространственно-временных масштабах Вселенной;

2) понимание сущности наблюдаемых во Вселенной явлений;

3) владение основополагающими астрономическими понятиями, теориями, законами и закономерностями; уверенное пользование астрономической терминологией и символикой;

4) сформированность представлений о значении астрономии в практической деятельности человека и дальнейшем научно-техническом развитии;

5) осознание роли астрономической науки в освоении и использовании космического пространства и развитии международного сотрудничества.

В профессиональных образовательных организациях учебная дисциплина «Астрономия» изучается в общеобразовательном цикле учебного плана основной профессиональной образовательной программы.

Материал, содержащийся в учебнике, изложен на основе современных взглядов на астрономическую науку и ее роль в формировании целостной естественно-научной картины мира, а также понимания роли астрономии как научной дисциплины.

Учебник содержит:

- Введение;
- Главу 1. История развития астрономии;
- Главу 2. Солнечная система;
- Главу 3. Строение и эволюция Вселенной.

Последовательно изучая содержание каждой из глав, учащиеся познакомятся с этапами развития астрономии, ее достижениями, овладеют умениями применять астрономические знания в жизненных ситуациях, в том числе в ситуациях, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе обучения предмету «Астрономия» должны быть достигнуты следующие результаты:

### **личностные:**

- т** устойчивый интерес к истории и достижениям в области астрономии;
- готовность к продолжению образования, повышению квалификации в избранной профессиональной деятельности, использование полученных астрономических знаний и навыков;
- объективное осознание значимости компетенций в области астрономии для человека и общества, умение применять полученные знания на практике;
- умение анализировать последствия освоения космического пространства для окружающей среды, жизни и деятельности человека;
- готовность самостоятельно искать новые для себя сведения астрономической направленности, используя для этого доступные источники информации;
- умение управлять своей познавательной деятельностью, проводить самооценку уровня собственного интеллектуального развития;
- умение выстраивать конструктивные взаимоотношения в команде по решению общих задач в области астрономии;
- сформированность мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки и общественной практики;

### **метапредметные:**

- умение самостоятельно определять цели и составлять планы, выделяя приоритетные и второстепенные задачи;
- умение использовать основные мыслительные операции: постановка задачи, формулирование гипотез, анализ и синтез, сравнение, обобщение, систематизация, выявление причинно-следственных связей, поиск аналогов, формулирование выводов для изучения различных сторон астрономических явлений, процессов, с которыми возникает необходимость сталкиваться в профессиональной сфере;
- умение продуктивно общаться и взаимодействовать с коллегами по совместной деятельности, выстраивать конструктивное сотрудничество;
- владение навыками познавательной деятельности, навыками разрешения проблем;

- способность и готовность к самостоятельному поиску методов решения практических задач, применению различных методов познания для изучения различных сторон окружающей действительности;
- готовность и способность к самостоятельной и ответственной информационной деятельности, включая умение ориентироваться в различных источниках информации, критически оценивать и интерпретировать информацию, получаемую из различных источников;
- умение генерировать идеи и определять средства, необходимые для их реализации;
- умение использовать различные источники для получения достоверной научной информации, умение оценить ее достоверность;
- умение анализировать и представлять информацию в различных видах;
- умение публично представлять результаты собственного исследования, вести дискуссии, доступно и гармонично сочетая содержание и формы представляемой информации;
- владение языковыми средствами: умение ясно, логично и точно излагать свою точку зрения, использовать языковые средства, адекватные обсуждаемой проблеме, включая составление текста и презентации материалов с использованием информационных и коммуникационных технологий;
- владение навыками познавательной рефлексии как осознания совершаемых действий и мыслительных операций, их результатов и оснований, границ своего знания и незнания, новых познавательных задач и средств их достижения;

**предметные:**

- сформированность представлений о целостной современной естественно-научной картине мира, природе как единой, целостной системе, взаимосвязи человека, природы и общества, пространственно-временных масштабах Вселенной;
- владение основополагающими астрономическими понятиями, закономерностями, законами и теориями; уверенное использование терминологии и символики;
- владение знаниями о наиболее важных открытиях и достижениях в области естествознания, повлиявших на эволюцию представлений о природе, на развитие техники и технологий;

## ПРЕДИСЛОВИЕ

- сформированность умения применять естественно-научные знания для объяснения окружающих явлений, сохранения здоровья, обеспечения безопасности жизнедеятельности, бережного отношения к природе, рационального природопользования, а также выполнения роли грамотного потребителя;
- сформированность представлений о научном методе познания природы и средствах изучения мегамира, макромира и микромира; владение приемами естественно-научных наблюдений, опытов, исследований и оценки достоверности полученных результатов;
- владение понятийным аппаратом естественных наук, позволяющим познавать мир, участвовать в дискуссиях по естественно-научным вопросам, использовать различные источники информации для подготовки собственных работ, критически относиться к сообщениям СМИ, содержащим научную информацию;
- сформированность умений понимать значимость естественно-научного знания для каждого человека, независимо от его профессиональной деятельности, различать факты и оценки, сравнивать оценочные выводы, видеть их связь с критериями оценок и связь критериев с определенной системой ценностей.

Изучение предмета «Астрономия» предполагает включение в учебную деятельность обучающихся различные виды практических работ, а также самостоятельную работу над проектами, рефератами, сообщениями, презентациями.

При изучении материала учебная нагрузка обучающихся составляет 54 учебных часа, из которых  $\frac{2}{3}$  (36 учебных часов) приходится на изучение в рамках учебно-аудиторного процесса, а  $\frac{1}{3}$  (18 учебных часов) отводится на самостоятельную работу обучающихся.

# ВВЕДЕНИЕ



**Астрономия как наука.** Приступая к изучению астрономии, необходимо знать, чем занимается эта наука, а также целесообразно составить предварительное представление о месте астрономии в системе других наук и ее роли в цивилизационном развитии общества.



Астрономия (от греч. «астрон» — звезда, светило и «номос» — закон) — наука о Вселенной, изучающая движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем.

Астрономия изучает Солнце и звезды, планеты и их спутники, кометы и метеорные тела, туманности, звездные системы и материю, заполняющую пространство между звездами и планетами, в каком бы состоянии эта материя ни находилась. Исследуя строение и развитие небесных тел, их положение и движение в пространстве, астрономия в конечном итоге дает нам представление о строении и развитии Вселенной в целом. Другими словами, астрономия изучает космические объекты, космические явления и космические процессы.

**Вселенная** — это весь окружающий мир, изучением которого занимаются помимо астрономии различные естественные науки: физика, химия, биология и др. Все они тесно связаны с астрономией и между собой. У каждой науки — своя цель, задачи, объекты познания, область использования, методы и инструменты исследований.

**Космические объекты** — это космические тела и космические системы. Под *космическими телами* мы будем понимать все физические тела, которые являются структурными элементами Вселенной. Основные типы космических тел — планетные тела, звезды, туманности и косми-

## ВВЕДЕНИЕ

ческая 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 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.



**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.



**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.

**Особенности астрономических методов исследования.** При изучении небесных тел астрономия ставит перед собой три основные задачи, требующие последовательного решения:

1) изучение видимых, а затем и действительных положений и движений небесных тел в пространстве, определение их размеров и формы;

2) изучение физического строения небесных тел, т.е. исследование химического состава и физических условий (плотности, температуры и т.д.) на поверхности и в недрах небесных тел;

3) решение проблем происхождения и развития, т.е. возможного дальнейшего существования отдельных небесных тел и их систем.

Первая задача решается путем длительных наблюдений, начатых еще в глубокой древности, а также на основе законов механики, известных уже около 300 лет. Поэтому в этой области астрономии мы располагаем наиболее богатой информацией, особенно о небесных телах, сравнительно близких к Земле.

О физическом строении небесных тел мы знаем гораздо меньше. Решение некоторых вопросов, относящихся ко второй задаче, впервые стало возможным немногим более 100 лет назад, а основных проблем — лишь в последние годы.

Третья задача сложнее двух предыдущих. Для решения ее проблем накопленного наблюдательного материала пока еще недостаточно, и наши знания в этой области астрономии ограничиваются только общими соображениями и рядом более или менее правдоподобных гипотез.

Примерно до XIX в. перед астрономией стояли ограниченные задачи, касающиеся исследования небесных тел, относящихся к Солнечной системе. Объекты, находящиеся вне нашей Галактики, были недоступны для наблюдения, представления об устройстве Вселенной были чисто умозрительными. В современную эпоху, к началу XXI в., астрономия стала наукой, изучающей небесные тела и их системы во всем многообразии для выявления закономерностей пространственного распределения, кинематических и динамических свойств, строения и эволюции этих объектов.

Астрономия относится к естественным наукам, поэтому ее прогресс в значительной степени обусловлен достигнутым в тот или иной период уровнем других областей естествознания. Цель естественных наук — установление законов природы и познание мира, управляемого этими законами.

**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.

**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** собирает и исследует важнейшие физические характеристики и свойства космических объектов, процессов и явлений. Она подразделяется на многочисленные разделы: теоретическая и практическая астрофизика, физика планет (планетология и планетография), 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.

**Структура и масштабы Вселенной.** Известная нам часть Вселенной образовалась в результате изменения энергетической плотности физического вакуума, сопровождавшегося выделением огромного количества энергии — по разным расчетам от 1,0108 до 1,088 кДж/см<sup>3</sup>. Этот процесс получил название «Большой взрыв». По мнению современных ученых, он произошел примерно 15 млрд лет назад. Что послужило причинами Большого взрыва? Был ли он случайным явлением или закономерным этапом развития материи Вселенной? Современная наука пока не может ответить на эти вопросы. Тем более остаются неизвестными состояние Вселенной до Большого взрыва и место, где он произошел.

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 матери-

альных 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».

Через 100 с после Большого взрыва Метагалактика состояла на 70... 75 % из протонов, электронов и других частиц, на 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.

**Роль астрономии в формировании современной картины мира.** 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 человека около 100 тыс. лет назад. У первобытных людей астрономия еще не выделялась в особую область познания, они воспринимали весь окружающий мир как единое одушевленное целое. Мифологический характер осмысления мира объединял «земное» с «небесным». Астрономия — единственная наука, которая получила свою музу-покровительницу Уранию.

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 6 тыс. лет назад.

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

*Первая революция в астрономии* произошла в различных регионах мира в разное время — в период между 1,5 тыс. лет до н.э. и II в. н.э. Ее обусловил прогресс математических знаний. Главными достижениями стали создание сферической астрономии и астрометрии, разработка универсальных точных календарей и геоцентрической теории. К началу XVI в. прогресс научно-технических знаний сократил разрыв в развитии астрономии и других естественных наук, а затем по своему уровню знания об окружающем мире превзошел астрономию, почти не развивавшуюся с начала нашей эры. 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 накоплением знаний о природе, в первую очередь физических, и сама астрономия стимулировала первую революцию естественных наук в XVII—XVIII вв. 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 исследовались 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 уничтожили противопоставление между «земным» и «небесным» и сделали 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.

Разработка новых методов астрономических наблюдений на основе физических открытий и увеличение мощности астрономических инструментов привели 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; открыты межзвездная среда, новые классы космических тел; установлены закономерности в физических характеристиках звезд; исследована структура Галактики. Однако астрономия оставалась в целом статичной — наблюдательной и оптической — наукой, которая изучала неизменную во времени Вселенную и регистрировала 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 электронных вычислительных машин — ЭВМ).

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

Астрономия стала новой наукой:

- всеволновой — космические объекты наблюдаются во всем диапазоне их излучения;
- экспериментальной — средства космонавтики позволяют проводить непосредственное изучение космических тел, явлений и процессов;
- эволюционной — космические объекты исследуются на протяжении всей эволюции и во взаимосвязи между собой.

Для современного ученого «земное» и «космическое» тесно взаимосвязаны. Законы классических наук — физики, химии, географии — являются следствиями действия

законов более высокого порядка, действующих 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, а физика — данные астрономических наблюдений для проверки известных физических теорий, открытия новых физических явлений и закономерностей.

Космос стал естественной лабораторией, где 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 объясняющую перспективы развития материального мира в целом. Взаимодействие астрономии и физики оказывает влияние на развитие не только других наук, но и техники, энергетики, различных отраслей экономики. Известными примерами стали появление и развитие космонавтики, разработка 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 эталонов времени. Они стали использоваться астрономами для исследования явлений, лежавших в основе прежних способов измерения времени.

До середины XX в. главными способами определения географических координат местности, морской и сухопутной навигации были астрономические наблюдения. С появ-

лением радиофизики и космонавтики, широким применением радиосвязи и навигационных спутников отпала нужда в астрономических методах. Сейчас эти отрасли физики и технологии позволяют астрономам и географам уточнять форму 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 (состояние вещества в недрах планет, синтез сложных химических соединений в туманностях и т.д.).

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

- определение основных физических характеристик Земли (формы, параметров вращения, размера, 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);
- использование астрономических методов ориентации и определения координат местности.

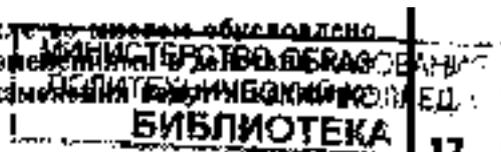
Одним из новых направлений науки стало космическое землеведение — совокупность исследований Земли из космоса в целях научной и практической деятельности.

Взаимосвязь астрономии и биологии обусловлена взаимным влиянием следующих процессов, протекающих на Земле и в космосе:

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 в основном обусловлено плавными, незначительными изменениями космических факторов, сильные изменения имеют лишь космические последствия;



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 наукой;

6) разумная деятельность сверхцивилизаций может оказывать влияние на эволюцию неживой и живой материи в масштабах Галактики и даже Метагалактики.

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) космонавтики (космическая биология и медицина);

4) возникновения и существования, путей развития внеземных цивилизаций (ВЦ), связи и контакта с ними;

5) роли человека и человечества во Вселенной (возможность зависимости космической эволюции от биологической и социальной).

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.

Астрономия имеет связь не только с естественными и математическими, но и с общественными и гуманитарными науками. Связь астрономии с наукой наук —• филосо-

фией — определяется тем, что астрономия как наука имеет не только специальное, но и общечеловеческое значение, поскольку вносит наибольший вклад в выяснение места человечества во Вселенной, в изучение отношений «Человек — Земля — Вселенная».

**Резюме.** Астрономия занимает особое место в системе естественно-научных знаний, так как она затрагивает глубинные вопросы существования человека в окружающем мире. Астрономия — это наука, которая расширяет границы познания человека и позволяет развивать новые отрасли науки.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что изучает астрономия?
2. Какие этапы в развитии астрономии можно выделить?
3. Почему именно астрономия вносит наибольший вклад в определение и изучение отношений в системе «Человек — Земля — Вселенная»?

#### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Представить графически (в виде схемы) взаимосвязь астрономии с другими науками, подчеркивая самостоятельность астрономии как науки и уникальность предмета ее изучения.

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Первые государственные обсерватории в Европе.
2. Современные космические обсерватории.
3. Современные наземные обсерватории.
4. История развития отечественной космонавтики. Составьте календарь событий развития космонавтики в нашей стране, соблюдая хронологический порядок.
5. Первый искусственный спутник Земли и полет в космос Ю.А.Гагарина. Составьте фотогалерею (не менее 10 фотографий) о полете первого искусственного спутника и полете Ю.А.Гагарина в космос, используя Интернет, сделайте краткое пояснение к каждой фотографии, указав значимость событий для науки и человечества.
6. Достижения современной космонавтики. Сделайте презентацию о главных достижениях современной космонавтики.

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИИ

### Прочитав эту главу, вы узнаете:

- об этапах развития астрономии;
- основных компонентах звездного неба;
- роли астрономии в летосчислении и создании календарей;
- способах астрономических наблюдений в древности и в настоящее время.

### 1.1. Астрономия в древности

**Астрономия Аристотеля.** С незапамятных времен люди замечали не только чередование дня и ночи, но и смену фаз Луны, изменения продолжительности дня и ночи в зависимости от времени года. Жрецы были способны ответить только на вопросы, как и когда происходят те или иные явления, причинами этих явлений они объявляли волю богов. Первыми, кто отважился отказаться от ничего не объясняющей «божественной концепции» и дать строгое математическое описание Вселенной, были древнегреческие философы.

Одним из основателей науки, которая сейчас называется космологией, по праву считают великого греческого фило-

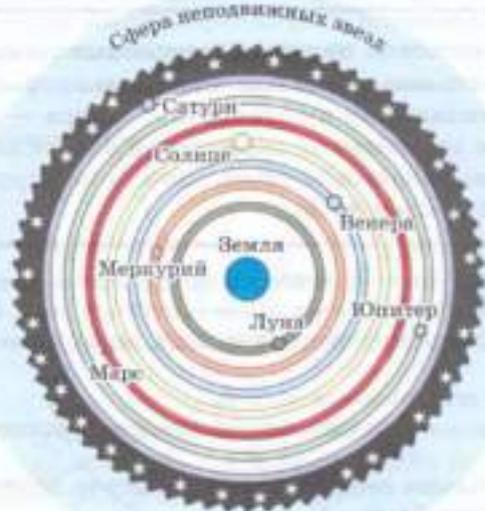
софа Аристотеля — ученика и продолжателя школ Сократа и Платона.



**Сократ** (470—399 гг. до н.э.) — древнегреческий философ, родоначальник философской диалектики, великий педагог, проповедующий честность и открытость в политике. Был приговорен к казни «за введение новых божеств и за развращение молодежи в новом духе». Когда в назначенный час раб принес чашу с ядом цикуты, Сократ, попрощавшись с друзьями, спокойно выпил ее до дна.

**Аристотель** (384—322 гг. до н.э.) — великий древнегреческий философ. Двадцать лет он учился и работал в Академии Платона, а после смерти своего учителя стал воспитателем великого полководца древности Александра Македонского. В 335 г. до н.э. Аристотель вернулся в Афины и создал там свою школу — Ликей (Лицей).

Согласно представлениям Аристотеля наша Вселенная имеет форму сферы (рис. 1.1). Вне Вселенной есть только «перводвигатель» — Бог. Он вращает эту сферу из совершенного вещества — эфира. На этой сфере зафиксированы звезды. Сфера звезд вовлекает во вращение другую эфирную сферу с прикрепленным к ней Сатурном, которая зацепляет сферу Юпитера и т. д. В центре Вселенной в волнах эфира покоится неподвижная Земля.



**Рис. 1.1**

Система мира  
Аристотеля

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИИ

Действительно, на основе непосредственного наблюдения можно сделать неправильный вывод о том, что Земля неподвижна в пространстве, а восходит и заходит Солнце, ночью над головой медленно вращается небесный купол со звездами. Стоит отметить, что появление первых моделей сферической Вселенной, пусть чисто описательных, неточных и примитивных, в корне изменило подход к изучению небесных явлений. Сразу возникли новые задачи: как вычислять положение светил и прогнозировать их движение, каковы механизмы их взаимодействия.

Согласно Аристотелю каждому виду материи соответствует свое естественное место в пределах Вселенной: место элемента земли — в самом центре мира, далее занимают свои естественные места элементы воды, воздуха, огня, эфира. Из теории естественных мест следовало несколько важнейших следствий: конечность Вселенной, невозможность существования пустоты, неподвижность Земли, единственность мира.



Платон Афинский (427–347 гг. до н.э.) — ученик Сократа. После казни учителя, которого он называл «справедливейшим человеком», и двадцатилетних путешествий по научным центрам Греции и Египта Платон основал в Афинах Академию, в которой преподавал до конца своих дней. Платонова Академия оставалась одной из главных философских школ Греции и Рима еще тысячу лет. Сочинения Платона, написанные в виде диалогов, где одним из собеседников является Сократ, оказали заметное влияние на развитие философии, сейчас их можно прочесть на многих языках мира.

Хотя Аристотель не называл небесные светила богами, он полагал, что они имеют божественную природу, поскольку для составляющего их элемента — эфира — характерно равномерное движение по окружности вокруг центра мира. Это движение является вечным, так как на окружности нет никаких граничных точек.



Особый интерес представляет учение Аристотеля о четырех причинах всего сущего.

1. Материя — «то, из чего». Материя вечна, из нее состоят все вещи. Первичными (неизменными) материями являются воздух, вода, земля, огонь и эфир (небесная субстанция).
2. Форма — «то, что»; вид существования объекта.
3. Производящая причина — «то, откуда»; момент времени, с которого начинает существовать вещь.
4. Цель — «то, для чего». Каждая вещь существует для чего-то. Конечной (общей) целью всех вещей является Благо.

**Система мира Гиппарха.** *Гиппарх Никейский* (около 190 г. до н. э. — около 120 г. до н. э.) — древнегреческий астроном, механик, географ и математик, один из самых крупных античных астрономов. Список его научных достижений очень обширен. Он построил обсерваторию на острове Родос и около сорока лет вел в ней систематические наблюдения за небом. Гиппарха считают изобретателем многих навигационных приборов, в частности астролябии, и основателем сферической геометрии и тригонометрии. Он предложил сетку координат из меридианов и параллелей, которая позволила определять географические координаты местности, и составил первый географический справочник. Этот древнегреческий ученый ввел понятие звездного каталога и измерил координаты более 800 звезд, которые распределил по 48 созвездиям. Он открыл прецессию, изучал движение Луны и планет, повторно измерил расстояние до Луны и Солнца и разработал одну из геоцентрических систем мира (рис. 1.2). С точностью до минут Гиппарх установил длительность года и очень точно измерил расстояние до Луны.

По словам Плиния Старшего, Гиппарх «более, чем кто-либо доказал родство человека 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».



Прецессия в астрономии — медленное движение оси вращения Земли по круговому конусу, ось симметрии которого перпендикулярна к плоскости эклиптики, с периодом полного оборота 26 тыс. лет.



**Рис. 1.2**

Схема движения Солнца в соответствии с геоцентрической системой мира Гиппарха

Исследуя звезды, Гиппарх, как и предшественники, считал, что сфера неподвижных звезд реально существует, т. е. расположенные на ней объекты находятся на одинаковом расстоянии от Земли. Неодинаковую степень яркости объектов ученый объяснил различием в размерах: чем больше звезда, тем она ярче. Он разделил диапазон блеска звезд на шесть величин: от первой — для самых ярких звезд и до шестой — для самых слабых, еще видимых невооруженным глазом, поскольку телескопов тогда не было. В современной шкале звездных величин различие на одну величину соответствует различию в интенсивности излучения в 2,5 раза.

Гиппарх решил проверить и предположение о том, что звезды неподвижны. Он составил список звезд, расположенных на одной прямой линии, в надежде, что следующие поколения астрономов проверят, останется ли эта линия прямой с течением времени.

Известный французский ученый, исследователь древней астрономии и геодезист Жан Батист Жозеф Деламбр так охарактеризовал значение работ Гиппарха: «Когда окинешь взглядом все открытия и усовершенствования Гиппарха, поразмыслишь над числом его трудов и множеством приведенных там вычислений, волей-неволей отнесешь его к самым выдающимся людям древности и, более того, назовешь самым великим среди них. Все достигнутое им относится к области науки, где требуются геометрические познания в сочетании с пониманием сущности явлений, которые поддаются наблюдениям лишь при условии тщательного изготовления инструментов...».



Выражение «седьмое небо» связано как раз с представлениями древних астрономов, использующих геоцентрическую систему мира.

**Система мира Птолемея — первая универсальная математическая модель мира на основе принципа геоцентризма.** Клавдий Птолемей (100—165) — древнегреческий астроном, астролог, математик, механик, оптик, теоретик музыки и географ. Он попытался создать теорию видимого движения Солнца, Луны и планет. На основе каталога Гиппарха, собственных наблюдений и физики Аристотеля Птолемей разработал самую подробную и популярную геоцентрическую систему мира, определявшую космологические представления ученых на протяжении 1500 лет. Труд Птолемея «Великое математическое построение астрономии» («Альма-

гест») в 13 книгах стал научной энциклопедией древности и Средних веков.

Опираясь на достижения Гиппарха, Птолемей изучал подвижные небесные светила. Он существенно дополнил и уточнил теорию движения Луны, усовершенствовал теорию затмений. Но подлинно научным подвигом ученого стало создание им математической теории видимого движения планет.

Эта теория опиралась на следующие постулаты:

- шарообразность Земли;
- колоссальная удаленность от сферы звезд;
- равномерность и круговой характер движений небесных тел;
- неподвижность Земли;
- центральное положение Земли во Вселенной.

Система мира Птолемея (рис. 1.3) называется *геоцентрической* и основана на системе деферентов, эпициклов и эксцентриков. Ученый предполагал, что вокруг неподвижной Земли находится окружность (деферент) с центром, несколько смещенным относительно центра Земли (эксцентрик). По деференту движется центр меньшей окружности — эпицикл — с угловой скоростью, постоянной по отношению к собственному центру деферента и не к самой Земле, а к точке, расположенной симметрично центру деферента относительно Земли (эквант). Сама планета в системе Птолемея равномерно движется по эпициклу. Для описания вновь открываемых неравномерностей в движениях планет



Рис. 1.3

Система мира  
Птолемея

и Луны вводились новые дополнительные эпициклы — вторые, третьи и т.д. Планета помещалась на последнем. Так, Солнце и Луна движутся вокруг Земли по деферентам (без эпициклов). Деференты Солнца и Луны, деференты и эпициклы планет лежат внутри сферы, на поверхности которой расположены «неподвижные» звезды.

Теория Птолемея позволяла предвычислять сложные петлеобразные движения планет (их ускорения и замедления, стояния и попятные движения). На основе созданных Птолемеем астрономических таблиц положения планет вычислялись с весьма высокой по тем временам точностью (погрешность — менее 10')-

Из основных свойств планетных движений, определенных Птолемеем, вытекал ряд важных закономерностей. Во-первых, условия движения верхних от Солнца (ближних к Земле) планет и нижних (дальних от Земли) планет существенно различны. Во-вторых, определяющую роль в движении и тех и других планет играет Солнце. Периоды обращения планет либо по деферентам (у нижних планет), либо по эпициклам (у верхних) равны периоду обращения Солнца, т. е. году. Ориентация деферентов нижних планет и эпициклов верхних планет связана с плоскостью эклиптики.



**О жизни Птолемея практически ничего неизвестно. Не найдено никаких источников, в которых бы он упоминался. Известно только, что он был римским гражданином, долго проживал в Александрии (в период со 127 до 151 г.), где занимался астрономическими наблюдениями.**

Тщательный анализ этих свойств планетных движений привел бы Птолемея к простому выводу: Солнце, а не Земля, — центр планетной системы. Такой вывод задолго до Птолемея сделал Аристарх Самосский, который доказал, что Солнце в несколько раз больше Земли. Вполне естественно, что меньшее тело движется вокруг большего, а не наоборот. Хотя размеры других планет прямым путем Птолемей определить не мог, тем не менее было ясно, что и они гораздо меньше Солнца. Но переход к гелиоцентризму для Птолемея был невозможен, поскольку он считал Землю центром мира и приводил множество доводов в пользу этого взгляда.

Только спустя 14 столетий, в совершенно другую эпоху, когда старое мировоззрение уже себя исчерпало, Н.Коперник сумел сделать этот решительный шаг.

Птолемей (а до него Гиппарх), введя эксцентрики для более точного отображения неравномерностей видимого движения небесных светил, по сути, уже лишил Землю ее строго центрального положения в мире, какое она занимала в аристотелевской модели Вселенной. Введением экванта Птолемей еще более нарушил аристотелевские физические основания геоцентризма. В этом отношении он превзошел даже Коперника.

В астрономической системе Птолемея максимально использовались те возможности, которые представляла античная наука для реализации принципа «спасения явлений», для объяснения движения небесных тел с позиций геоцентрического видения мира. Построение геоцентрической системы Птолемеем завершило становление первой естественно-научной картины мира. В течение длительного времени эта система была не только высшим достижением теоретической астрономии, но и ядром античной картины мира, и астрономической основой антропоцентрического мировоззрения.

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 теории мира.

Благодаря трудам последователей к началу XVI в. система Птолемея настолько усложнилась, что не могла уже удовлетворить тем требованиям, которые предъявлялись к астрономии практической деятельностью человека, в первую очередь это относилось к мореплаванию. Нужны были более простые методы вычисления положений планет, и такие методы были созданы благодаря великому творению



Сведения из книг Птолемея стали основным источником астрономических знаний вплоть до Коперника. К сожалению, многие его труды были утеряны. В области астрометрии он написал минимум два сочинения, следов которых найти не удалось. Согласно Византийской энциклопедии X в. Птолемей является автором трех книг по механике, но ни одна из них до нашего времени не сохранилась.

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИИ

гениального польского ученого Николая Коперника, заложившего основы новой астрономии, без которых не могла бы возникнуть и развиваться современная астрономия.

**Резюме.** Астрономические изыскания древних ученых внесли большой вклад в развитие астрономической науки и совершенствование модели мира.

Учение Аристотеля подвело итог достижениям предыдущих эпох во многих областях знания. Однако канонизированное церковью, оно стало тормозом дальнейшего развития науки на протяжении целого тысячелетия. Аристотелевская картина мира и его метафизический способ рассуждений в основных своих чертах господствовали в науке вплоть до эпохи Н.Коперника.

Два знаменитых астронома древности Гиппарх и Птолемей являют собой два типа астрономов — величайшего наблюдателя древности и блестящего теоретика, создавшего весьма общую теоретическую схему, которой пользовалась наука на протяжении почти пятнадцати веков.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова суть космологии Аристотеля?
2. Почему Гиппарха называют создателем первых математических теорий в астрономии? Перечислите основные труды Гиппарха.
3. Каковы особенности астрономической системы Птолемея?

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Прочитайте стихотворение М.В.Ломоносова, приведенное ниже:

Случились вместе два Астронома в пиру  
И спорили весьма между собой в жару.  
Один твердил: земля, вертясь, вокруг Солнца ходит;  
Другой, что Солнце все с собой планеты водит:  
Один Коперник был, другой слыл Птолемей.  
Тут повар спор решил усмешкою своей.  
Хозяин спрашивал: «Ты звезд течение знаешь?  
Скажи, как ты о сем сомненье рассуждаешь?»  
Он дал такой ответ: «Что в том Коперник прав,  
Я правду докажу, на Солнце не бывав.  
Кто видел простака из поваров такого,  
Который бы вертел очаг кругом жаркого?»

Используя формулу ПОПС, выполните задания.

1. Обоснуйте свое мнение о решении спора поваром. Можно ли считать обоснование правоты Коперника поваром правильным?

2. Приведите свои аргументы в пользу учения Н.Коперника.
3. Докажите, что учение Птолемея не было бесполезным.

**Примечание.** Формула ПОПС является методикой, помогающей в написании текстов, она состоит из следующих компонентов:  
П — позиция (в чем заключается ваша точка зрения). Для нее следует использовать формулировки: «Я считаю, что...», «Я согласен с тем, что...».

О — обоснование (аргументы в защиту вашего мнения). Здесь начало предложения может быть таким: «Потому что...», «Так как...»

П — пример (факты, иллюстрирующие ваши аргументы). Применяйте формулировки: «Например,...», «Я могу доказать это примером...».

С — следствие (вывод, призыв к принятию вашей позиции). Используемые речевые обороты: «Поэтому...», «Исходя из сказанного, можно сделать вывод о том, что...».

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Гиппарх — величайший наблюдатель древности.
2. Птолемей — величайший теоретик астрономии в древности.
3. Астрономическая картина мира Аристотеля.

## 12. Звездное небо

**Основные элементы небесной сферы.** Небесные тела проецируются на небесную сферу.



**Небесная сфера** — это воображаемая сферическая поверхность произвольного радиуса, в центре которой находится наблюдатель.

В средних широтах наблюдению доступно около 80 % небесной сферы.

Наблюдателей, расположенных в разных местах земной поверхности, из-за малых размеров Земли в сравнении с расстояниями до звезд можно считать находящимися в центре небесной сферы. В действительности никакой материальной сферы, окружающей Землю, в природе не существует. Небесные тела движутся в беспредельном мировом пространстве на самых различных расстояниях от Земли. Эти расстояния невообразимо велики, наше зрение не в состоянии их оценить, поэтому человеку все небесные тела представляются одинаково удаленными. За год Солн-

Рис. 1.4



це описывает большой круг на фоне звездного неба. Годичный путь Солнца по небесной сфере называется **эклиптикой**. Перемещаясь по эклиптике, Солнце дважды пересекает небесный экватор в точках равноденствий 21 марта и 23 сентября.

Точка небесной сферы, которая остается неподвижной при суточном движении звезд, условно называется Северным полюсом мира. Она располагается рядом с Полярной звездой. Противоположная точка небесной сферы называется Южным полюсом мира. Жители Северного полушария его не видит, так как он находится под горизонтом. Отвесная линия, проходящая через наблюдателя, пересекает небо над головой в точке **зенита** и в диаметрально противоположной точке, называемой **надиром**. Элементы небесной сферы показаны на рис. 1.4.



Утверждение, что Полярная звезда является очень яркой звездой, представляет собой одно из самых распространенных астрономических заблуждений. Это не так! В списке самых ярких звезд неба Полярная находится только на 46-м месте, намного уступая в блеске таким звездам, как Сириус, Вега или Арктур.

**Суточное вращение звездного неба.** Вращение звезд происходит с востока на запад. Если после захода Солнца отметить положение какой-либо яркой звезды вблизи горизонта на востоке, а затем посмотреть на ту же звезду через 1 ч, будет хорошо заметно, что она поднялась над горизонтом и несколько сместилась вправо относительно наземных ориентиров (рис. 1.5).

Для наблюдения следует выбрать такое место, откуда хорошо видно небо. Заметьте, над какими наземными ориен-



ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ  
АСТРОНОМИИ

Перемещение звезд  
в восточной части  
неба

Рис. 1.5

78486

тирами (домами или деревьями) Солнце восходит утром на востоке, достигает зенита в полдень и заходит вечером на западе. Ту часть неба, где Солнце можно наблюдать в полдень, называют южной, противоположную — северной. Возвратитесь на то же место вечером, отметьте наиболее яркие звезды в тех же сторонах неба и зафиксируйте время наблюдения по часам. Если вернуться к наблюдениям через час или два, можно увидеть смещение звезд. Так, звезда, которая находилась на востоке (в месте восхода Солнца), поднялась выше, а та, которая была на западе (на места захода Солнца), опустилась ниже. Таким образом звезды, подобно Солнцу и Луне, поднимаются в восточной части горизонта, достигают наивысшего положения в южной части неба и затем заходят в западной части горизонта (рис. 1.6).

Проведите наблюдения в северной части неба сначала за звездами, находящимися низко к горизонту, а потом за поднявшимися более высоко. Тогда увидите: чем выше над горизонтом находятся звезды, тем менее заметным будет их перемещение. И наконец, можно найти на небе звезду, передвижение которой в течение всей ночи почти незаметно, а все небо вращается вокруг нее как одно целое. Эту звезду назвали Полярной звездой. Другие звезды в те-

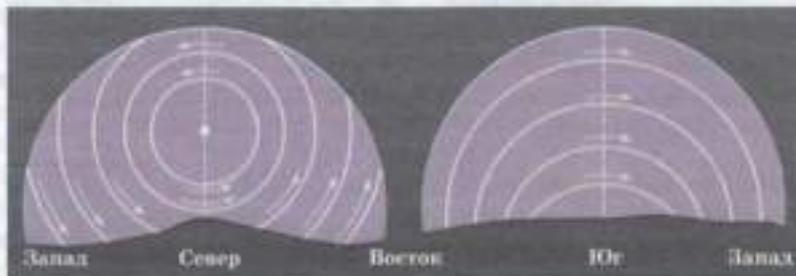


Рис. 1.6

Видимые суточные  
пути звезд  
относительно  
горизонта в северной  
и южной частях неба

чение суток описывают полный круг с центром вблизи Полярной звезды.



Космический зонд «Вояджер-2», запущенный в 1977 г. для изучения газовых гигантов (Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна), пройдет на расстоянии 4,3 световых лет от Сириуса примерно через 296 тыс. лет.

Для проверки этого предположения можно провести небольшой опыт. Необходимо закрепить на штативе фотоаппарат, навести его на Полярную звезду и поставить длительную выдержку. В результате мы получим фотографию, на которой видны концентрические дуги — следы путей звезд по небу (рис. 1.7). Общий центр этих дуг — точка, которая остается неподвижной при суточном движении звезд, — условно называется Северным полюсом мира. Диаметраль-но противоположная ему точка — Южным полюсом мира.

Присмотревшись внимательнее, мы заметим, что разные звезды описывают дуги различного радиуса. Некоторые из них, например, входящие в созвездия Пегаса, Персея, Ориона, Тельца, за сутки проходят по окружностям большего радиуса, часть которых находится под горизонтом. Такие созвездия в течение суток восходят и заходят. Другие, например Большая Медведица, описывают окружности небольшого радиуса. Весь круг их движения остается над горизонтом — это незаходящие созвездия.

На следующий день звезды проделывают такой же путь под горизонтом. Таким образом, они совершают полный обо-

Рис. 1.7

Концентрические дуги — следы путей звезд



рот **по небу** за одни сутки, не меняя своего взаимного расположения.

В древности, наблюдая суточное вращение неба, люди сделали глубоко ошибочный вывод, что звезды, Солнце и планеты ежесуточно обращаются вокруг Земли. На самом **деле**, как это установил в XVI в. Н. Коперник, видимое вращение звездного неба — только отражение суточного вращения Земли вокруг своей оси. Если наблюдатель находится на Северном полюсе, то вращение Земли происходит против часовой стрелки. Однако в реальной жизни мы не ощущаем вращения Земли, поэтому нам кажется, что небо вращается в противоположную сторону — по часовой стрелке.

При изучении видимых движений небесных тел необходимо определять их угловые положения в моменты наблюдения. Видимые положения светил определяются только направлениями, так как расстояния до них несущественны. Луна перемещается по небесной сфере со скоростью **13°** в сутки, Солнце — **1°** в сутки. Звезды восходят и заходят на одной и той же широте всегда в одном и том месте.

**Навигационные звезды.** Из **6** тыс. звезд, видимых невооруженным глазом, навигационными считаются **24**. Это наиболее яркие звезды примерно до второй звездной величины (они ярче или близки к яркости звезд Большого Ковша Большой Медведицы) и малая по яркости, но оказавшаяся в месте Северного полюса мира на небосводе, Полярная звезда (в созвездии Малой Медведицы).



**Навигационные звезды** — звезды, с помощью которых в авиации, мореплавании и космонавтике определяют местонахождение и курс транспортного средства.

Для ориентирования в Северном полушарии Земли используются следующие **14** звезд из различных созвездий (рис. **1.8**, а):

- Полярная звезда (Малая Медведица);
- Арктур (Волопас);
- Вега (Лиры);
- Капелла (Возничий);
- Поллукс (Близнецы);
- Альтаир (Орел);
- Регул (Лев);
- Альдебаран (Телец);
- Денеб (Лебедь);
- Бетельгейзе (Орион);

- Прочион (Малый Пес);
- Альферац (Андромеда);
- Хамаль (Овен);
- Мирфак (Персей).



а

б

Рис. 1.8

Навигационные  
звезды Северного (а)  
и Южного (б)  
полушарий

В Южном полушарии помимо этих звезд для навигации используются следующие три (рис. 1.8, б):

- Сириус (Вольшой Пес);
- Спика (Дева);
- Антарес (Скорпион).



В Средние века Сириус был одной из 15 избранных звезд, которым присваивались магические свойства астрологами в Европе и арабском мире. Каждую из таких звезд олицетворяли определенным камнем и растением. Сириус отождествлялся с хризолитом и можжевельником, а наиболее сильное влияние на Сириус производила планета Венера, перемещаясь по небу.

Чтобы безошибочно отыскать навигационную звезду, недостаточно знать, в каком созвездии она находится. В облачную погоду, например, наблюдается только часть звезд. При космических полетах существует другое ограничение: в иллюминатор виден лишь небольшой участок неба. Поэтому необходимо уметь быстро распознать нужную навигационную звезду по цвету и блеску. Чаще всего ориентируются по Полярной звезде, которая не меняет своего положения в течение суток (рис. 1.9).

**Созвездия.** Знание созвездий — азбука астрономии. Всего на небесной сфере 88 созвездий. Границы между этими строго определенными участками неба условны, они не имеют никакого физического смысла. Из 88 созвездий, которые официально зарегистрированы в 1930 г., 48 созвездий перечислил еще Птолемей во II в.



В современной астрономии **созвездием** называется участок небесной сферы, границы которого определены специальным решением Международного астрономического союза (МАС).

Уже в древние времена наши предки делили звездное небо на четко различимые сочетания звезд, которые называли созвездиями. Так, около 30 созвездий выделялось уже жителями позднего бронзового века, в 1650—1050 гг. до н.э., судя по записям на глиняных табличках Древней Месопотамии. Отсылки к созвездиям можно найти и в древнееврейских библейских текстах.

Регистрируя закономерности в движении звезд, наши предки научились измерять время, создали первые примитивные календари, ориентировались на местности. Разные народы в названии созвездий вкладывали различный смысл. Названия созвездий они связывали с мифами, именами богов, названиями приборов и механизмов.

Считают, что название созвездия Большая Медведица существует уже около 100 тыс. лет. Семь ярких звезд этого созвездия имеют разнонаправленные движения, поэтому десятки веков назад шесть ярких звезд напоминали очертания медведицы, которая смотрела на седьмую звезду — медвежонка.

Древние греки связывали с созвездием Большой Медведицы миф о Каллисто, которую ревнивая богиня Гера превратила в безобразную медведицу. Сын Каллисто, возвращаясь домой с охоты, увидел у дверей своего дома медведицу и уже занес над ней оружие, но великий бог Зевс, влюбленный в Каллисто, помешал ужасному преступлению и перенес Каллисто в образе медведицы на небо.

В 1603 г. Иоганн Байер начал обозначать яркие звезды каждого созвездия буквами греческого алфавита:  $\alpha$  (альфа),



Рис. 1.9

Ориентация  
по Полярной звезде



Рис. 1.10

Созвездие Большая Медведица — самое большое созвездие из видимых в Северном полушарии

$\beta$  (бета),  $\gamma$  (гамма),  $\delta$  (дельта) и т. д., в порядке убывания их блеска. Эти обозначения используются до сих пор. Самые яркие звезды имеют собственные названия. Например,  $\alpha$  созвездия Лиры — Вега. Только в 58 созвездиях самые яркие звезды называются  $\alpha$  (альфа). В 13 созвездиях самые яркие звезды —  $\beta$  (бета), а в некоторых других используются другие буквы греческого алфавита.

Самые большие размеры имеет созвездие Гидра, его площадь — 1303 квадратных градуса (кв. град.). Самое малое созвездие — Южный Крест занимает площадь 68 квадратных градусов. Из видимых в Северном полушарии созвездий самым большим является Большая Медведица (1280 кв. град.) (рис. 1.10).

Самое большое число звезд (5 звезд), ярче второй звездной величины, содержит созвездие Орион. Самое большое число звезд (19 звезд), ярче четвертой звездной величины, входит в созвездие Большая Медведица. Звезды, составляющие ковш Большой Медведицы, в пространстве расположены очень далеко друг от друга и никакой связанной группы не образуют (рис. 1.11).

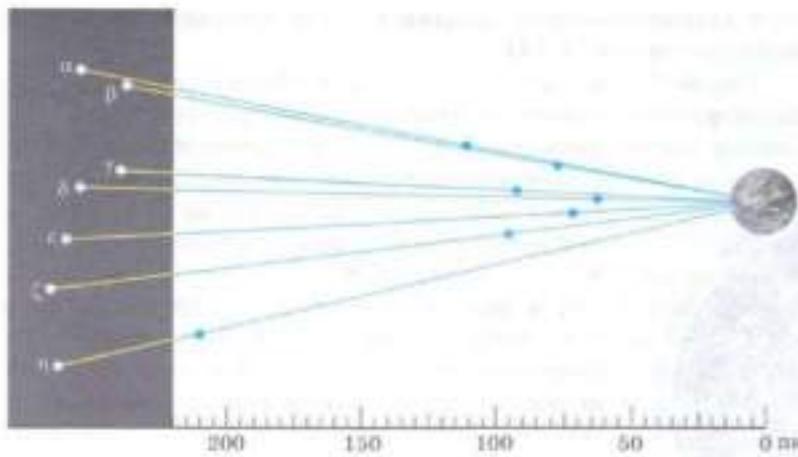
Самое большое число звезд (5 звезд), ярче второй звездной величины, содержит созвездие Орион. Самое большое число звезд (19 звезд), ярче четвертой звездной величины, входит в созвездие Большая Медведица. Звезды, составляющие ковш Большой Медведицы, в пространстве расположены очень далеко друг от друга и никакой связанной группы не образуют (рис. 1.11).



В созвездии Большая Медведица расположена самая знаменитая двойная система. Средняя звезда в ковше Большой Медведицы носит название Мицар. На некотором угловом расстоянии от Мицара расположена одна из самых известных двойных звезд — Алькор. Мицар в переводе с арабского означает «нонь», а Алькор — «садник». Еще в Древнем Египте в элитные войска фараона набирали юношей, которые обладали настолько острым зрением, что могли различать эти звезды.

Мы привыкли считать небесный ковш, состоящий из 7 ярких и легко различимых звезд, созвездием Большой Медведицы. Но на самом деле ковш — это астеризм, являющийся только частью этого созвездия. Созвездие Большой Медведицы состоит из огромного числа звезд и выходит далеко за пределы всем знакомого «ковша с ручкой». Кроме них в созвездии насчитывается еще 125 звезд ярче шестой звездной величины.

С древнейших времен астрономы разных народов складывали из них созвездия, следуя своим легендам, верованиям и представлениям о мире. Одни и те же астеризмы — яркие группы звезд — могли превращаться во что угодно. Например, знаменитый Большой Ковш в созвездии Большой



Расположение  
в пространстве звезд,  
составляющих ковш  
созвездия Большая  
Медведица

Рис. 1.11

Медведицы зачастую вовсе не связывался ни с ковшом, ни с медведицей. Например, в Египте вместо ковша жрецы могли видеть ногу Сета, бога войны и смерти, превратившегося в быка и убившего Осириса ударом копыта. Сокологоловый Гор отсек Сету конечность в отместку за убийство отца.

Одним из самых заметных в Северном полушарии является созвездие Кассиопея, оно показано на рис 1.12.

**Зодиакальные созвездия.** Видимый годовой путь Солнца проходит через тринадцать созвездий, начиная от точки весеннего равноденствия: Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Змееносец, Стрелец, Козерог, Водолей, Рыбы. Двенадцать из них — зодиакальные. Пояс из двенадцати зодиакальных созвездий называется зодиаком (табл. 1.1, рис. 1.13). В каж-



Рис. 1.12

Созвездие Кассиопея

Таблица 1.1. Зодиакальные созвездия и знаки зодиака

Название созвездия	Знак						
Овен	♈	Рак	♋	Весы	♎	Козерог	♏
Телец	♉	Лев	♌	Скорпион	♏	Водолей	♐
Близнецы	♊	Дева	♍	Стрелец	♐	Рыбы	♑

Пояс зодиака

Рис. 1.13

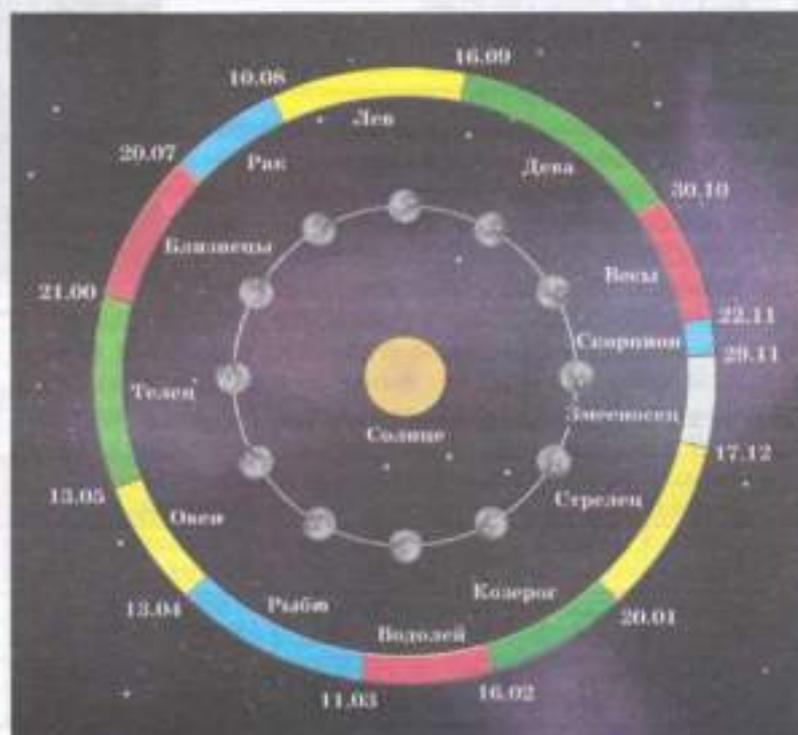


дом зодиакальном созвездии Солнце проводит примерно один месяц (рис 1.14).

Около 2 тыс. лет назад знаки зодиака совпадали с одноимёнными зодиакальными созвездиями. Причиной смещения знаков зодиака относительно одноименных зодиакальных созвездий является установленная еще Гиппархом Родосским во II в. до н. э. прецессия, или предварение равноденствий. В ту далекую эпоху, во времена Гиппарха, точка весеннего равноденствия находилась в созвездии Овна, поэтому была обозначена знаком этого созвездия. Аналогично точка летнего солнцестояния располагалась в созвездии Рака и была обозначена его знаком, точка осеннего равноденствия — в созвездии Весов, а точка зимнего солнцестояния — в созвездии Козерога. Но затем они постепенно сместились к западу, теперь точка весеннего равноденствия находится в созвездии Рыб, а точка осеннего равноденствия —

Рис. 1.14

Продвижение Солнца  
по зодиакальным  
созвездиям



в созвездии Девы. Точка летнего солнцестояния с 1988 г. находится в созвездии Тельца. Смещение точки весеннего равноденствия (она обозначается на картах) происходит навстречу годовичному движению Солнца со скоростью примерно  $50''$  в год.

**Созвездия в разное время года.** Знакомство с созвездиями лучше начинать в летнее время года (рис. 1.15). Созвездия летнего неба не отличаются такими яркими звездами, как звездное небо зимой. В северной части неба видны Большая Медведица и Кассиопея (см. рис. 1.10 и 1.12).

Большая Медведица может служить хорошим помощником для запоминания и нахождения ярчайших звезд Северного полушария (рис. 1.16). На юге сияет летне-осенний треугольник — Вега, Денеб и Альтаир (рис. 1.17). Огромный крест Лебеда легко найти на фоне Млечного Пути. Вблизи к горизонту можно заметить ярчайшую звезду Скорпиона — Антарес. К западу от треугольника находятся Геркулес, Северная Корона и Волопас.

Осенью на юге хорошо виден большой квадрат Пегаса, под ним — Рыбы. Длинная цепочка звезд, отходящая от

Созвездия  
летне-осеннего неба

Рис. 1.15



Пегаса, — созвездие Андромеды. Треугольник уже находится низко над горизонтом. Кассиопея теперь в зените. Ее легко узнать на небе: она образует фигуру, похожую на букву W.

Нахождение  
ярчайших звезд  
Северного полушария  
с помощью созвездия  
Большая Медведица

Рис. 1.16

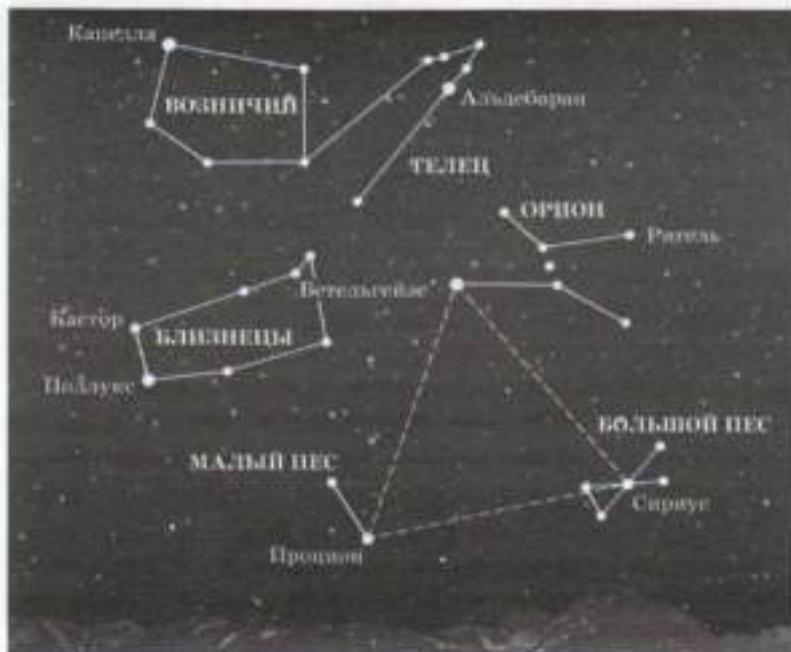


Самым примечательным созвездием, пожалуй, является созвездие Орион: практически в каждой древней культуре оно имело свое название и почиталось особым образом. Так, в Древнем Египте его считали воплощением Осириса, а в Древнем Вавилоне называли «Верный пастух небес». Но самое удивительное открытие было сделано в 1972 г.: в Германии был найден кусок кости мамонта возрастом более 32 тыс. лет, на котором было вырезано созвездие Орион.

Рис. 1.17

Летне-осенний  
треугольник





Созвездия  
зимнего неба

Рис. 1.18

Зимой слева от ковша Большой Медведицы хорошо виден Волопас, справа — Персей и Возничий (рис. 1.18). Настоящее украшение зимнего неба — созвездие Орион, по форме напоминающее бабочку. Правее его расположен Телец, в его глазу светится красный Альдебаран. В зените находится Возничий, левее — Близнецы, а под ними — Малый и Большой Пес с ярчайшей звездой Сириус. На юго-востоке виден Лев, высоко на востоке — Большая Медведица, а на северо-западе над заходящим Пегасом расположены Кассиопея и Цефей.

Весной небо темное: на нем мало ярких звезд и не видно Млечного Пути. На севере висит перевернутый ковш Большой Медведицы. Ручка ковша указывает на оранжевый



Семь ярких звезд Большого ковша имеют названия: Дубхе, Мерак, Фекда, Мегрец, Алиот, Мицар, Бенетнаш. Яркая звезда Дубхе в переводе с арабского означает «медведь», а звезда Фекда — «бедро медведя». Звезда Алиот — «первая в хвосте Большой Медведицы», а звезда Бенетнаш — «конец хвоста Большой Медведицы» — имела также название «предводительница плакальщиц». Такие собственные имена звезд объясняются тем, что в древности астрономы находили звезды не по координатам, а по тонким описаниям рисунка созвездий.

Арктур — ярчайшую звезду северного неба. На продолжении этой дуги можно отыскать Спикку — а Девы. Высоко на юге залег Лев, между ним и Волопасом расположено созвездие Волосы Вероники. На западе заходят Плеяды и Орион.

Астеризм. Понятие «астеризм» не является строго научным, скорее это дань традиции. Однако с развитием любительской астрономии энтузиастами формировались каталоги астеризмов, состоящих из звезд, наблюдаемых невооруженным глазом и с помощью непрофессиональной оптики.



**Астеризм — легко различимая группа звезд, имеющая исторически устоявшееся самостоятельное название.**

Один из самых известных астеризмов на небе — Большой Ковш, находящийся в созвездии Большая Медведица.

В каждой культуре были свои созвездия и астеризмы. В дальнейшем с развитием астрономии созвездия стали обозначать участки неба со строго определенными границами. В то же время термин «астеризм» сохранил старый смысл. Поэтому начинающему любителю астрономии рекомендуется приступать к изучению звездного неба с запоминания наиболее интересных и ярких астеризмов.

Астеризмы часто используют в навигации, поэтому их условно разделяют на два основных типа: *астеризмы-указатели* — пары звезд, которые по условной линии, проведенной между ними, указывают на ночном небе направление на другие звезды, и *навигационные*. Первый тип помогает астрономам лучше ориентироваться в звездном небе, второй — используют мореплаватели и путешественники для ориентации на местности.

Резюме. На протяжении столетий люди любовались небом и изучали звездное небо — одно из величайших зрелищ Природы. Настоящее время К. Э. Циолковский назвал «эрой пристального изучения неба». Космические полеты приблизили к нам звезды и открыли новые горизонты для изучения звездного неба.

Для тех, кто хорошо знаком с созвездиями и их расположением по отношению к горизонту в различные моменты суток и года, звезды могут служить отличными ориентирами, позволяющими находить стороны горизонта в незнакомой местности и даже приблизительно определять момент времени.

1. Как доказать существование суточного вращения звездного неба?
2. Дайте определение понятию «созвездие».
3. Зачем введено понятие «небесная сфера»?
4. Какие созвездия входят в пояс зодиака?
5. Какое значение имеет изучение звездного неба для развития человеческой цивилизации?

1. Найдите в Интернете подвижную карту звездного неба (ПКЗМ) и указания по ее сборке. Соберите карту. Опираясь на ее информацию, впишите в таблицу созвездия, видимые на широте 55° в Северном полушарии.

Участок звездного неба	15 сентября в 21 ч местного времени	25 сентября в 23 ч местного времени
Северная часть		
Южная часть		
Западная часть		
Восточная часть		
Созвездие, расположенное в зените		

2. Опишите несколько самых ярких звезд (Сириус, Арктур, Вега), заполнив таблицу, приведенную ниже. Для работы используйте интерактивный атлас звездного неба на сайте [spacegid.com](http://spacegid.com).

Название звезды	Созвездие, которому принадлежит звезда	Фотография звезды	Интересный факт, важный для развития астрономии

### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Топонимика звездного неба (происхождение названий в астрономии).

2. Созвездие Большой Медведицы: история названия, интересные астрономические объекты, находящиеся в этом созвездии.
3. Созвездие по выбору автора: история названия, интересные астрономические объекты, находящиеся в этом созвездии.

## 13. Летоисчисление и его точность

**Календарь.** Слово «календарь» пришло к нам из Древнего Рима, оно происходит от латинских слов *caleo* — провозглашать и *calendarium* — долговая книга. Такое название обусловлено тем, что в Древнем Риме начало каждого месяца провозглашалось особо, причем по первым числам каждого месяца было принято уплачивать проценты по долгам.



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

С календарем неразрывно связана вся многовековая история человеческой культуры. Главное назначение календаря — соотносить события с чередой дней.

Потребность в календарях возникла в глубокой древности, когда человек не владел письменностью. Календари определяли наступление весны, лета, осени и зимы, периоды цветения растений, созревания плодов, сбора лекарственных трав, изменений в поведении и жизни животных и многое другое. Календари отвечали на вопросы: «Какое сегодня число?», «Какой день недели?», «Когда произошло то или иное событие?» — и позволяли регулировать и планировать жизнь и хозяйственную деятельность людей.

В Древнем мире не было единой системы счета времени. Каждый народ использовал свой тип календаря; известны календарные системы, созданные в Древнем Египте, Китае, Риме и т.д.



С древних времен начало определенной эры (известно более 1000 эр в различных государствах, в том числе 350 — в Китае, 250 — в Японии) и весь ход летоисчисления связывались 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.

**Типы календарей.** Все календари можно подразделить на следующие типы: солнечные, лунные и лунно-солнечные. Эти календари используют естественные периодические процессы: сутки, т.е. смену дня и ночи, смену фаз Луны, которые происходят на протяжении месяца, или смену времен года между двумя весенними равноденствиями — период так называемого тропического года.

Кочевые народы древности больше пользовались лунным календарем, в основу которого положена продолжительность лунного месяца.

**Лунный календарь.** Древним людям было затруднительно определить точное начало новых суток или нового года, в отличие от начала лунного месяца, которое знаменует первое появление узкого серпа после новолуния. Поэтому древние цивилизации пользовались лунным месяцем как основной единицей измерения длительных промежутков времени.

Точная продолжительность лунного месяца составляет в среднем 29,5 сут. Была принята разная продолжительность лунных месяцев: 29 или 30 сут. Двенадцать лунных месяцев включают 354 сут., а продолжительность солнечного года — полных 365 сут. Лунный год оказался короче на 11 сут., поэтому его необходимо было привести в соответствие с продолжительностью солнечного года. В ином случае начало года по лунному календарю со временем будет перемещаться по временам года (зима, осень, лето, весна). К такому календарю невозможно привязать ни ведение сезонных работ, ни проведение ритуальных мероприятий, связанных с солнечным годовым циклом.

В разные времена эта задача решалась по-разному, но подход к решению проблемы был един: в определенные годы в лунный календарь вставляли дополнительный месяц. Наиболее точное соответствие лунного и солнечного календарей дает использование 19-летнего цикла, при котором в течение 19 солнечных лет по определенной системе в лунный календарь добавляются 7 дополнительных лунных месяцев. Длительность 19 солнечных лет отличается от длительности 235 лунных месяцев всего на 2 ч.

Для практического использования лунный календарь не очень-то удобен, но в мусульманских странах он принят и в наши дни.

**Сотический календарь.** Солнечный календарь появился позднее лунного в Древнем Египте, там, где регулярны ежегодные разливы Нила, которые происходили в период лет-

него солнцестояния. Египтяне заметили, что начало разливов Нила по времени совпадает также с появлением над горизонтом самой яркой звезды — Сириуса, или Сопдета, как называли его в Древнем Египте. Однако самым распространенным стало древнегреческое название звезды — Сотис, отсюда название этого календаря — сотический.

Наблюдая движение Сириуса, египтяне определили продолжительность солнечного года, равную полным 365 сут. Год они поделили на 12 одинаковых месяцев по 30 сут. в каждом, а 5 лишних дней каждого года объявлялись праздниками в честь богов.

Однако точная продолжительность солнечного года — 365,24 сут. В течение 4 лет накапливаются почти полные сутки, следовательно, каждый период из 4 лет наступал на сутки раньше, чем предыдущий. Жрецы знали, как можно исправить календарь, но не делали этого из религиозных соображений: они считали благом, что восход Сириуса приходится по очереди на все 12 мес. Начало солнечного года, определенное по восходу Сириуса, и начало года по календарю совпадали через 1 460 лет. Такой день и год торжественно отмечали. Позже этот год был назван также Великим, Божественным или Псовым годом (по названию Сириуса, главной звезды в созвездии Большого Пса).

Перед гелиакическим восходом (восходом после периода невидимости) Сириус исчезает для наблюдателей ночного неба и находится вне видимости 70 дней. По прошествии этого времени Сириус восходит за одну минуту до восхода Солнца, появляясь как яркая красная звезда, прямо над горизонтом почти точно на востоке. В этот момент Сириус, Солнце и Земля оказываются на одной линии. Это и есть так называемый гелиакический восход Сириуса в лучах утренней зари, который отмечает начало нового года.



В Египте почти все храмы, а также направление взгляда Сфинкса, были выровнены по линии гелиакического восхода Сириуса (почти точно на восток). В стенах многих храмов существовали сквозные отверстия, вплоть до некоей темной внутренней комнаты. В центре этой комнаты обычно находился алтарь в виде куба или прямоугольника. В момент гелиакического восхода Сириуса его рубиново-красный свет падал на алтарь в течение нескольких секунд, что для жрецов означало начало нового года и первый день по сирианскому, или сотическому, календарю.

**Лунно-солнечные календари.** Для планирования и регулирования хозяйственной деятельности параллельно применялись солнечный и лунно-солнечный календари.

Лунно-солнечными календарями уже в глубокой древности пользовались в Китае и Индии. Было замечено, что появление определенных звезд на небе утром или вечером соответствует началу определенного периода в календаре. Такими звездами-ориентирами являлись Ригель, Бетельгейзе, Антарес, Сириус. Особенно пристально в древности следили за положением созвездия Большая Медведица, за его поворотом и положением «ручки» ковша или «хвоста» Медведицы относительно горизонта. С XXI в. до н.э. месяцы в календаре Китая начинались с новолуния, а начало нового года приходилось на время между зимним солнцестоянием и весенним равноденствием. В VII в. до н.э. устанавливается продолжительность года в 365,25 сут., а в IV в. до н.э. через каждые 19 лет вставляются дополнительные месяцы. Примерно за 100 лет до наступления нашей эры в Китае был введен календарь, в котором продолжительность месяца была 29,5 сут., продолжительность года — 365,2502 сут. При этом в каждый третий, шестой, девятый, одиннадцатый, четырнадцатый, семнадцатый и девятнадцатый год надо было вставлять дополнительный тринадцатый месяц. Этот процесс называется *интеркаляцией*.

В Древней Греции, как и в странах Востока, использовался лунно-солнечный календарь, в котором начало каждого месяца располагалось как можно ближе к новолунию, а средняя продолжительность года соответствовала промежутку времени между двумя весенними равноденствиями.



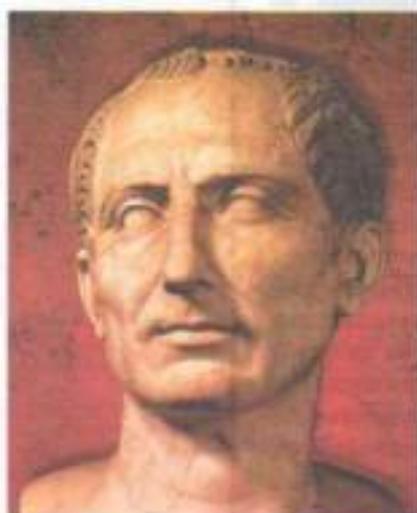
**Календарь в Древнем Риме.** В календаре Древнего Рима все месяцы календаря, за исключением последнего — февруариуса, содержали счастливое нечетное число дней: либо 29, либо 31. В февруариусе насчитывалось 28 дней. Всего в календарном году получалось 355 дней, на 10 дней меньше, чем следовало. Такой календарь нуждался в постоянных исправлениях, что было вменено в обязанность коллегии понтификов, членов верховной касты жрецов. Понтифики ликвидировали неувязки в календаре своей властью, добавляя в календарь дополнительные дни по своему разумению. С календарными датами были связаны уплата налогов и процентов по ссудам, вступление в должности консулов и трибунов, даты праздников и другие события. Внося тем либо иным образом изменения в календарь, понтифики могли ускорить или отсрочить такие события.

**Солнечный календарь.** Солнечный календарь возник более 6 тыс. лет назад, в его основу положен тропический год. **Тр&ИШЧееккй в©#** (также известный как солнечный год) в общем смысле — это промежуток времени, за который

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ  
АСТРОНОМИИ

Римский император,  
полководец, писатель  
Гай Юлий Цезарь

Рис. 1.19



Солнце проходит через точку весеннего равноденствия. Различают весеннее и осеннее равноденствие.

В Северном полушарии весеннее равноденствие происходит 20 марта, когда Солнце переходит из Южного полушария в Северное, а осеннее равноденствие — 22 или 23 сентября, когда Солнце переходит из Северного полушария в Южное. В Южном полушарии, наоборот, мартовское равноденствие считается осенним, а сентябрьское — весенним.

Народы, занимавшиеся земледелием, основывали свой календарь на продолжительности тропического года. В настоящее время солнечный календарь принят в качестве мирового календаря.

Юлианский солнечный календарь старого стиля. Юлианский солнечный календарь старого стиля основан на продолжительности года 365,25 сут. Он был разработан александрийским астрономом Созигеном, введен императором Гаем Юлием Цезарем (рис. 1.19) в Древнем Риме в 46 г. до н. э. и распространился затем по всему миру. В честь Гая Юлия Цезаря этот календарь получил свое название.



Созиген (Sosigenes) — александрийский ученый, который жил в I в. до н.э. Он был приглашен Гаем Юлием Цезарем в Рим для исправления календаря, в котором Созиген и принял деятельное участие. Философские труды Созигена, в том числе комментарий к трактату Аристотеля «De Caelo», не сохранились. В 1935 г. Международный астрономический союз присвоил имя Созигена кратеру на видимой стороне Луны.

По замыслу Созигена, начало каждого календарного года должно было всегда приходиться на одно и то же число и время суток, а его продолжительность — очень близко совпадать со звездным годом. Поэтому три года подряд должны состоять из 365 сут., четвертый — из 366. При этом один год разбивался на 12 мес. и из календаря навсегда изымался дополнительный месяц — мерцедоний. За начало года было принято 1 января, поскольку именно в этот день по традиции уже почти два века вступали в должность вновь избранные римские консулы. Упорядочил Созиген и число дней в месяцах. Все нечетные месяцы содержали по 31 дню, а все четные — по 30. Лишь в феврале «короткого» года было 29 дней, а «длинного», високосного, — 30.

На Руси юлианский календарь старого стиля был принят в 988 г. В юлианском календаре продолжительность года составляет 365,25 сут.; три обычных года насчитывают по 365 сут., один високосный год — 366 сут. В году было 12 мес.: по 30 и 31 день каждый (кроме февраля). Юлианский год отстает от тропического на 11 мин 13,9 с в год. За 1500 лет его применения накопилась ошибка в 10 сут.

Простейший способ определения, какой месяц короткий, а какой — длинный, придумали едва ли не одновременно с юлианским календарем (рис. 1.20).



Рис. 1.20

Простейший способ определения короткого и длинного месяца



Чтобы добиться полного совпадения следующего новогоднего праздника с астрономическим временем, перед тем как Римская империя официально перешла на новый календарь, ее гражданам пришлось прожить необыкновенно длинный год. Поскольку, по расчетам Созигена, прежний римский календарь очень сильно опередил звездный год, то кроме 23-дневного мерцедония были добавлены еще два безымянных месяца из 34 и 33 дней, которые оставили между ноябрем и декабрем.

**Принятие юлианского календаря христианским миром.** В 325 г. состоялся первый Вселенский (Никейский) собор Христианской церкви. Он утвердил юлианский календарь для использования в христианском мире. При этом в юлианский календарь, строго ориентирующийся на Солнце, было введено движение Луны со сменой ее фаз, т. е. солнечный календарь был органично соединен с лунным календарем. За начало летоисчисления был принят год провозглашения Диоклетиана римским императором — 284 г. по принятому ныне летоисчислению. День весеннего равноденствия по принятому календарю пришелся на 21 марта. От этого дня рассчитывается дата главного христианского праздника — Пасхи.

**Введение летоисчисления от Рождества Христова.**

В 248 г. эры Диоклетиана настоятель римского монастыря Дионисий Малый поставил вопрос: почему христиане ведут летоисчисление от воцарения яростного гонителя христиан? Неким образом он определил, что 248 год эры Диоклетиана соответствует 532 г. от Рождества Христова. Предложение вести счет годам от Рождества Христова сначала не привлекло к себе внимания. Лишь в XVII в. началось внедрение такого летоисчисления во всем католическом мире. Наконец, в XVIII в. дионисиево летоисчисление переняли ученые, и его употребление стало повсеместным. Годы стали считать от Рождества Христова, которое принято за начало нашей эры.



Високосными годами были 1200, 1600, 2000-й и будут 2400, 2800-й, а обычными — были 1300, 1400, 1500, 1700, 1800, 1900-й и будут 2100, 2200, 2300, 2500, 2600, 2700-й. Каждый високосный год, оканчивающийся на два нуля увеличивает разницу нового и старого стиля на 1 день. Поэтому в XVIII в. разница составляла 11 дней, в XIX в. — 12 дней, а вот в XX и XXI вв. разница одна и та же — 13 дней. Поскольку 2000 г. был високосным, она увеличится только в XXII в. — до 14 дней, затем в XXIII в. — до 15 дней и т.д.

**Григорианский солнечный календарь нового стиля.**

В григорианском солнечном календаре нового стиля продолжительность года составляет 365,242500 сут. В 1582 г. юлианский календарь по указу папы римского Григория XIII был реформирован в соответствии с проектом итальянского математика Луиджи Лилио Гаралли. Счет дней передвинули на 10 сут. 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 сут. за каждые 400 лет. Ошибка в 1 сут. набегает за 2735 лет. Новые столетия и тысячелетия начинаются с 1 января первого года данного столетия и тысячелетия: так, XXI в. и 3-е тысячелетие начались 1 января 2001 г. по григорианскому календарю.

В нашей стране до Октябрьской революции применялся юлианский календарь старого стиля, ошибка которого к 1917 г. составляла 13 сут. В 1918 г. в стране был введен принятый во всем мире григорианский календарь нового стиля, а все даты сдвинулись на 13 сут. вперед.

Перевод дат юлианского календаря на григорианский календарь осуществляется по следующим формулам:

$$T_{\Gamma} = T_{\text{Ю}} + n; \quad n = C - \frac{C_1}{4} - 2,$$

где  $T_{\Gamma}$  и  $T_{\text{Ю}}$  — даты по григорианскому и юлианскому календарям;  $n$  — целое число дней;  $C$  — число полных прошедших столетий;  $C_1$  — ближайшее число столетий, кратное 4.

В настоящее время разработаны конвертеры дат григорианского и юлианского календарей онлайн, которые можно найти в Интернете. В этих конвертерах даты до фактического введения юлианского календаря преобразуются с использованием стандартных правил для юлианских високосных годов. Даты до реформы 1582 г. преобразуются с использованием стандартных правил для григорианских високосных годов. В конвертере преобразование для годов по григорианскому календарю возможно вплоть до 2400 г.

Григорианский календарь (в России именуется «новый стиль») введен в 1582 г. папой Григорием XIII. Подготовку реформы по указанию Григория XIII осуществляли астрономы Христофор Клавий и Алоизий Лилий. Причиной, а точнее, поводом реформирования календаря было смещение фактического дня весеннего равноденствия на 10 марта, в то время как пасхаля (методика расчета даты Пасхи — праздника в честь воскресения Иисуса Христа) требует брать в расчет 21 марта из юлианского календаря.

Иными словами, именно день весеннего равноденствия участвовал в определении даты Пасхи, и этот день в календаре стал со временем не совпадать с фактическим весенним равноденствием в природе; кроме того, имело место рассогласование пасхальных полнолуний с астрономическими. В 1582 г. григорианский календарь впервые пришел на смену юлианскому: следующим днем после четверга 4 октября 1582 г. стала пятница 15 октября 1582 г. Таким образом, реформа календаря ликвидировала отставание юлианского календаря по отношению к солнечному году.

Григорианский календарь намного точнее юлианского: он дает гораздо лучшее приближение к тропическому году. Сам григорианский календарь основан на циклическом обращении Земли вокруг Солнца; продолжительность одного цикла, т.е. одного оборота вокруг Солнца, принята в григорианском календаре равной 365,2425 сут.

**Правило** распределения **високосных годов в григорианском календаре**. Григорианский календарь содержит 97 високосных лет на каждые 400 лет ( $97/400 = 0,2425$ ).

В григорианском календаре правило распределения високосных годов следующее:

- 1) год, номер которого кратен 400, — високосный;
- 2) остальные годы делятся на две группы: года, номер которых кратен 100, являются невисокосными, а года, номер которых кратен 4, — високосными.

Таким образом, високосными годами были 1600-й и 2000-й, а 1700, 1800 и 1900-й — високосными не были.

В юлианском календаре год начинается 1 января, поскольку в Древнем Риме именно в этот день с 153 г. до н. э. избранные консулы вступали в должность. Юлианский год имеет продолжительность в среднем 365,25 сут. (1 високосный год из четырех =  $1/4 = 0,25$ ), что больше на 11 мин продолжительности тропического года. В григорианском календаре, для сравнения, 1 год приравнивается к 365,2425 сут. Итого, юлианский астрономический цикл дольше григорианского на  $365,25 - 365,2425 = 0,0075$  сут., что составляет 10,8 мин (т.е. примерно 11 мин).

Из-за вышеописанной ошибки, равной примерно 11 мин в год, в разные века разница в сутках между датами григорианского и юлианского календарей не была одинаковой, а продолжала увеличиваться.



Знаете ли вы, кто придумал первые отрывные календари? Это был известный русский писатель Лев Николаевич Толстой. Он посоветовал напечатать такой календарь издателю, и вскоре идея имела ошеломительный успех.

**Календари в России.** На Руси в допетровское время был принят юлианский календарь со счетом лет по византийскому образцу — от сотворения мира. Петр I ввел в России старый стиль — юлианский календарь со счетом лет от Рождества Христова.

Самый первый гражданский календарь появился перед новым 1709 г. До этого Россия жила исключительно по православным святцам. Календарь был напечатан в Москве под редакцией графа Якова Брюса, которого считали алхимиком и колдуном. По замыслу издателя он был рассчитан на 100 лет и состоял из двух частей: справочной и предсказательной. Календарь представлял собой сложнейшие чертежи, и сегодня разобраться в них сможет не всякий специалист. «Брюсов календарь» был астрологическим, выдержанным в строгих научных канонах.

Календари в России в XVIII—XIX вв. представляли собой толстые книги, в которых можно было найти любую информацию: о святых, праздниках, полевых работах. Фактически они являлись одновременно своеобразной энциклопедией и литературным альманахом. Поэтому не стоит удивляться, встретив в литературном произведении фразу о том, что семья на ночь читала вслух календарь.

Новый стиль, или григорианский календарь, был введен в нашей стране 24 января 1918 г. Декретом СНК РСФСР о введении в Российской республике западноевропейского календаря. При этом была применена поправка на 13 сут. Так, согласно этому декрету после 31 января 1918 г. в России наступило 14 февраля 1918 г. Только с этого времени даты происходящих событий по российскому календарю и календарю западных стран стали совпадать.

С 1929 по 1931 г. в Советском Союзе действовал так называемый революционный календарь. В году было 12 мес. по 30 дней. «Лишние» дни носили собственные имена: День Ленина (следовал после 30 января), два индустриальных дня (следовали после 7 ноября), два дня труда (после 30 апреля). В високосный год добавлялся еще один день (после 30 февраля). Неделя состояла из пяти дней, обозначавшихся разным цветом для разных групп работников.

В последующие годы в летоисчислении использовался григорианский календарь. Однако в отрывных календарях зачастую на странице с датой указывался год, считая от свершения Октябрьской революции.



В начале XX в. был разработан проект международной реформы календаря. Предлагалось разделить год на 13 мес. по 28 дней, а один оставшийся день плюс еще один в високосные годы сделать праздничными и обособленными. Главными плюсами такого календаря назывались четкое соответствие числа дню недели (так как в месяце было бы всегда четыре недели) и более точное сравнение экономико-статистических показателей по месяцам. Одним из недостатков суеверные люди считали то, что пятница всегда будет приходиться на 13-е число. Однако эта проблема решалась, если неделю начинать не с воскресенья, как принято в США и некоторых других странах, а с понедельника. Проект был даже внесен на рассмотрение в Лигу Наций, но в 1937 г. его отклонили. Горячим поклонником реформы был Джордж Истмен, основатель компании Kodak, где подобное исчисление дней для внутреннего планирования применялось с 1928 по 1989 г.

**Всемирный календарь.** К началу XX в. рост международных научных, технических и культурно-экономических связей обусловил необходимость создания единого, простого

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИИ

и точного Всемирного календаря, поскольку существующие календари имеют многочисленные недостатки в виде неточного 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.

Идеальный вечный календарь обладает неизменной структурой, позволяющей быстро и однозначно определять дни недели по любой календарной дате летоисчисления. Один из наилучших проектов вечных календарей был рекомендован к рассмотрению Генеральной Ассамблеей ООН в 1954 г.: при схожести с григорианским календарем он был проще и удобнее. Тропический год делится на 4 квартала по 91 дню (13 недель). Каждый квартал начинается с воскресения и кончается субботой; состоит из 3 мес, в первом месяце 31 день, во втором и третьем – 30 дней. В каждом месяце 26 рабочих дней. Первый день года — всегда воскресенье. Он оказался не реализован по религиозным соображениям. Введение единого и вечного Всемирного календаря остается одной из проблем современности.

Резюме. Создание календаря и последующее введение летоисчисления способствовали развитию человеческой цивилизации. В своей практической деятельности люди не могут обойтись без счета дней в неделе, месяце, без определенной системы счета лет.

### Контрольные вопросы

1. Как появился календарь, каково было его первоначальное предназначение?
2. Назовите отличительные особенности юлианского стиля летоисчисления.
3. Назовите отличительные особенности григорианского стиля летоисчисления.
4. Сформулируйте правило распределения високосных годов в григорианском календаре.

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Предложите свой вариант идеального календаря.
2. Перечислите типы календарей и дайте, кратко характеристику каждому из них. Заполните сравнительную таблицу.

Ученые астрономы	Временные пояса	История открытия таких объектов, как галактики, пульсары, фотонные кристаллы	Составление календарей и их использование в различных областях жизни общества	Достижения астрономии	История астрономии

3. Воспользуйтесь конвертером дат григорианского и юлианского календарей онлайн на сайте [creounity.com](http://creounity.com) и переведите дату, соответствующую дате своего рождения, в дату по юлианскому стилю.

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Лунные календари на Востоке.
2. Солнечные календари в Европе.
3. Составление календарей. Календари разных времен и народов.

## 14. Оптическая астрономия



Оптическая астрономия – раздел наблюдательной астрономии, инструментами которой являются телескопы, способные воспринимать видимый свет (оптические телескопы). Космические объекты изучаются путем анализа их оптического излучения.

До середины XX в. понятия «астрономия» и «оптическая астрономия» были тождественны, так как иных способов астрономических наблюдений, кроме оптического, не существовало. Затем значительное развитие получили радиоастрономия, инфракрасная астрономия, ультрафиолетовая астрономия, рентгеновская астрономия, гамма-астрономия, а также астрофизика космических лучей. В результате оптическая астрономия выделилась в самостоятельную отрасль астрономии.

Небесные тела испускают излучения: в видимом диапазоне, инфракрасное, ультрафиолетовое, радиоволны, рентгеновское, гамма-излучение. Так как атмосфера мешает про-

хождению некоторых видов излучения к поверхности Земли с длиной волны, меньшей длины волны видимого света (ультрафиолетового, рентгеновского, гамма-излучения), то последнее время на орбиту Земли выводятся телескопы и целые орбитальные обсерватории, т.е. развиваются вне-атмосферные наблюдения.

**Наблюдения в астрономии.** Наблюдения — основной источник информации о небесных телах, процессах, явлениях, происходящих во Вселенной, поскольку они находятся на большом расстоянии и экспериментальные методы изучения к ним не применимы. Возможность проведения экспериментов вне Земли возникла только благодаря космонавтике.

Особенности наблюдений в астрономии заключаются также в том, что для изучения какого-либо явления необходимы:

- длительные промежутки времени и одновременное наблюдение родственных объектов (пример — эволюция звезд);
- указание положения небесных тел в пространстве (координаты), так как все небесные объекты находятся на большом расстоянии от земного наблюдателя.

Различают следующие виды наблюдений:

- получение снимков объекта;
- фотометрия — измерение количества света, приходящего от наблюдаемого объекта;
- спектроскопия — изучение распределения энергии света, приходящей от объекта, по длинам волн (спектр приходящего излучения);
- поляриметрия — изучение поляризации приходящего света.

**История развития астрономических наблюдений.** В Древнем Египте наблюдение за звездой Сириус (Сотис) позволило жрецам предсказывать разлив Нила и установить продолжительность года в 365 дней еще в 5-м тысячелетии до н.э.

Однако для точности наблюдений были нужны приборы. Известно, что Фалес Милетский в 595 г. до н.э. впервые использовал гномон (вертикальный стержень, элемент солнечных часов), который позволил определять не только время дня, но и моменты равноденствий, солнцестояний, продолжительность года, широту наблюдения и т.д.

Уже Гиппарх Никейский использовал астролябию, что позволило ему измерить параллакс Луны в 129 г. до н.э., установить продолжительность года в 365,25 сут., опреде-

лить прецессию и в 130 г. до н.э. составить звездный каталог из 1008 звезд.



Астролябия — один из первых астрономических приборов для показа небесной сферы в определенный момент и определения высоты небесных тел. Основная конструкция астролябии состояла из двух concentрических дисков, на один из которых наносилась карта звездного неба, а на другой — угловая шкала, расположенная по краю; диски соединялись между собой в центре и делались подвижными (как в современной планифере). К ним присоединялось оптическое устройство. Астролябиями пользовались со времен Древней Греции до XVII в. для целей навигации, а также для измерения времени, высот и углов.

Для своих наблюдений древние ученые использовали также астрономический посох, астролабон (первая разновидность теодолита), квадрант. Наблюдения проводились в специализированных учреждениях — обсерваториях, возникших еще на первом этапе развития астрономии.

Прототипом телескопа можно считать подзорную, или зрительную, трубу. В XVI—XVII вв. было несколько мастеров и ученых из разных стран, которые предлагали свои решения. В своем труде «Дополнения к Вителлию», опубликованном в 1604 г., И. Кеплер рассмотрел ход лучей в оптической системе, состоящей из двояковыпуклой и двояковогнутой линз. К 1604 г. свои конструкции представили голландские мастера Захарий Янсен и Якоб Метнус. Изобретателем телескопа считается голландский мастер Иованн Липперсгей, занимавшийся изготовлением очков. Однако самые первые чертежи простейшего линзового телескопа (причем как однолинзового, так и двухлинзового) были обнаружены еще в записках Леонардо Да Винчи, датированных 1509 г. Сохранилась его запись: «Сделай стекла, чтобы смотреть на полную Луну» («Атлантический кодекс»).

Первым ученым, который использовал зрительную трубу, а затем примитивный телескоп для наблюдения за небом, считается Галилео Галилей. В 1609 г. он собрал свою первую зрительную трубу с трехкратным увеличением. В том же году Галилей построил линзовый телескоп длиной примерно 0,5 м с восьмикратным увеличением, потом он довел увеличение до 32 раз (рис. 1.21). Благодаря

Телескоп Г. Галилея

Рис. 1.21





этому устройству Галилей сделал ряд значительных открытий в астрономии, в том числе в январе 1610 г. открыл четыре спутника Юпитера (Ио, Каллисто, Ганимед, Европа).

В качестве объектива у самого первого телескопа Г. Галилея была одна собирающая линза, а окуляром служила одна рассеивающая линза (рис. 1.22). Телескоп имел малый угол зрения, сильный хроматизм. В силу конструкции и технологий того времени апертура у первого телескопа была совсем небольшой. Поэтому в качестве объекта наблюдать можно было только за достаточно ярким небесным телом, например Луной.

Термин «телескоп» в 1611 г. предложил математик из Греции Джованни Демизиани для одного из инструментов Галилея. Сам Галилей называл свое изобретение *perspicillum*.



Галилеева подзорная труба впервые появилась на Руси в 1614 г. — ее приобрел царь Михаил Федорович. К середине XVII в. телескоп можно было купить в торговых рядах Москвы.

Телескоп увеличивает угол зрения, под которым видны небесные тела (разрешающая способность), и собирает во много раз больше света, чем глаз наблюдателя. Поэтому в телескоп можно рассмотреть невидимые невооруженным глазом поверхности ближайших к Земле небесных тел и увидеть множество слабых звезд. Все зависит от диаметра его объектива.

Современный телескоп представляет собой трубу, установленную на монтировке, снабженной осями для наведения



Первые обсерватории современного типа стали строиться в Европе в начале XVII в., после того как был изобретен телескоп. К концу XVIII в. число обсерваторий во всем мире достигло 100, к концу XIX в. их стало уже около 400. В настоящее время на земном шаре работает более 500 астрономических обсерваторий, подавляющее большинство которых расположено в Северном полушарии.

на объект наблюдения и слежения за ним. Визуальный телескоп имеет объектив и окуляр. Задняя фокальная плоскость объектива совмещена с передней фокальной плоскостью окуляра. В фокальную плоскость объектива вместо окуляра может помещаться фотопленка или матричный приемник излучения. В таком случае объектив телескопа, с точки зрения оптики, является фотообъективом. Телескоп фокусируется при помощи фокусирующего устройства. Главным параметром мощности телескопа является линза, которая создает увеличение видимого изображения.



В России первой астрономической обсерваторией была частная обсерватория А.А.Любимова в Холмогорах близ Архангельска (1692 г.). В 1701 г. обсерватория при Навигационной школе открылась в Москве. В 1839 г. была основана знаменитая Пулковская обсерватория под Петербургом, которую благодаря совершенным инструментам и высокой точности наблюдений называли в середине XIX в. астрономической столицей мира. По совершенству оборудования обсерватория сразу же заняла одно из первых мест в мире.

**Оптические телескопы. Рефрактор, или линзовый телескоп,** (от лат. *refracto* — преломляю) — оптический телескоп, в котором для собирания света используется система линз, называемая объективом. Работа таких телескопов обусловлена явлением рефракции (преломления) света в линзе. Первым рефрактором считается телескоп, построенный Г. Галилеем (см. рис. 1.21).

Самый большой в мире рефрактор изготовлен Э. Кларком (оптиком из США), он имеет диаметр объектива 102 см и установлен в 1897 г. в Йеркской обсерватории (близ Чикаго) (рис. 1.23). В 1885 г. этот же конструктор изготовил телескоп с объективом диаметром 76 см для Пулковской обсерватории (разрушен в годы Великой Отечественной войны).

**Рефлектор** (от лат. *reflecto* — отражаю) — оптический телескоп, использующий зеркало в качестве светособирающего элемента. В 1667 г. первый зеркальный телескоп построил И. Ньютон, диаметр его зеркала составлял 2,5 см при увеличении в 41 раз (рис. 1.24). В те времена зеркала изготавливались из сплавов металлов, которые быстро тускнели.

Самый большой телескоп-рефрактор, построенный Э. Кларком

Рис. 1.23



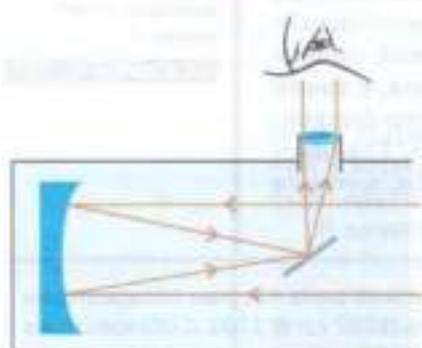


Рис. 1.24

Схема телескопа  
Ньютона

В настоящее время крупнейшими в мире телескопами-рефлекторами для оптических наблюдений в инфракрасном спектре являются два телескопа, построенные при финансовой поддержке У. Кека (рис. 1.25), в честь которого они получили свое название Кек-1 и Кек-2. Эти телескопы расположены в обсерватории на Гавайях и введены в эксплуатацию в 1993 и 1996 гг. соответственно. Телескопы с эффективным диаметром зеркала 9,8 м построены на одной платформе и могут использоваться совместно в качестве интерферометра, давая разрешение, соответствующее диаметру зеркала 85 м.

Крупнейший в Евразии телескоп — Большой телескоп азимутальный Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (БТА САО РАН) (рис. 1.26 и 1.27) — находится на территории России в горах Северного Кавказа (гора Пастухова — высотой 2 070 м), диаметр его главного зеркала — 6 м. Он работает с 1976 г. и длительное время был крупнейшим телескопом в мире. Его монолитное зеркало имеет массу 42 т, масса самого телескопа — 600 т.

*Зеркально-линзовый телескоп* с объективом диаметром 44 см в 1930 г. построил эстонско-шведский оптик и астроном Б. Шмидт. Основой конструкции стала так на-

Рис. 1.25

Телескопы Кек-1  
и Кек-2





Большой телескоп  
азимутальный  
Специальной  
астрофизической  
обсерватории  
Российской академии  
наук (БТА САО РАН)

Рис. 1.26

зымаемая камера Шмидта, в которой в центре кривизны сферического зеркала установлена диафрагма, что позволило устранить кому (вид аберрации (искажения) световых лучей). Этот телескоп обладает высокой светосилой и большим полем зрения.

В 1941 г. советский конструктор Д. Д. Максудов предложил конструкцию менискового телескопа, в котором аберрации световых лучей компенсированы мениском (выпукло-



Рис. 1.27

Оборудование  
телескопа  
БТА САО РАН



вогнутой линзой) (рис. 1.28). Телескопы Максудова получили большую популярность у астрономов-любителей.

**Применение телескопов.** Телескопы дают возможность:

- 1) проводить непосредственные наблюдения;
- 2) фотографировать (астрограф);
- 3) получать сведения:
  - о колебании энергии излучения (фотоэлектрические);
  - температуре, химическом составе, магнитных полях, движении небесных тел (спектральные).



Телескопы Кекк-I и Кекк-II размером с восьмизэтажный дом и массой более 300 т каждый работают с высочайшей точностью. Главное зеркало диаметром примерно 10 м состоит из 36 шестиугольных сегментов, действующих как одно отражательное зеркало. Установлены эти телескопы в одном из оптимальных на Земле мест для астрономических наблюдений — на склоне потухшего гавайского вулкана Мауна Кеа (высотой 4200 м). К 2002 г. эти два телескопа начали работать в режиме интерферометра, давая такое же угловое разрешение, как 85-метровый телескоп.

Фотографические наблюдения имеют следующие преимущества по сравнению с визуальными:

- документальность — фиксирование происходящего явления и процессов и продолжительное сохранение полученной информации;
- моментальность — регистрация кратковременных событий;
- панорамность — способность запечатлеть одновременно несколько объектов;
- интегральность — накопление света от слабых источников;
- детальность — возможность рассматривать детали объекта на изображении.

В астрономии расстояние между небесными телами измеряют в угловых величинах: градусах, минутах и секундах. Невооруженным глазом мы сможем различить две отдельные звезды, находящиеся рядом, если угловое расстояние между ними составляет 1... 2'. Такова разрешающая способность человеческого глаза. Угол, под которым мы видим диаметр Солнца и Луны равен примерно  $0,5^\circ = 30'$ .

Предельная разрешающая способность телескопа:

$$\alpha = 14''/D,$$

где  $D$  — диаметр объектива телескопа, см.

Используется также и другая формула:

$$\alpha = 206\,265 \lambda/D,$$

где  $\lambda$  — длина световой волны, см.

При сильном увеличении (более чем в 500 раз) видны колебания воздуха, поэтому телескоп необходимо располагать как можно выше в горах, там, где небо редко закрыто облаками, а еще лучше — за пределами атмосферы (в космосе).

В настоящее время ведется активное изучение космического пространства. Именно для этой цели используются телескопы с огромным увеличением. Например, у космического телескопа «Хаббл» до 2002 г. максимальное увеличение составляло примерно 30 тыс. раз (рис. 1.29).

Существуют приложения к поисковой системе Google — Google Maps и Google Earth, с помощью которых можно получить подробную карту любой местности и увидеть изображение нашей планеты из космоса. Для формирования этих изображений и карт применяются космические телескопы.



Любительские телескопы чаще всего принадлежат к двум первым исторически появившимся типам: рефракторам и рефлекторам. Рефракторы удобны в пользовании благодаря прочной конструкции трубы и ее герметичности, нечасто требуют настройки и обслуживания, дают контрастное и четкое изображение, что важно при наблюдении планет.



Рис. 1.29

Космический телескоп «Хаббл»

Телескоп  
«Джеймс Уэбб»,  
или JWST (James  
Webb Space  
Telescope)

Рис. 1.30



Телескопы ближайшего будущего. Последний самый большой оптический телескоп заработал в 2008 г.

В ближайшее время будет введен в эксплуатацию телескоп, превосходящий возможности современных инструментов, — «Джеймс Уэбб», или JWST (James Webb Space Telescope) (рис. 1.30). Диаметр его главного зеркала составит 6,5 м, по этому параметру он будет превосходить телескоп «Хаббл» в 2,7 раза.

Несмотря на то что «Джеймс Уэбб» планируется как замена «Хаббла», этот телескоп будет работать в инфракрасном диапазоне, и поэтому его скорее стоит сравнивать с космическим телескопом «Гершель», относительно которого разница не столь велика — примерно 1,9 раза. Прием-

Рис. 1.31

Сравнение размеров  
первичных зеркал  
телескопов «Хаббл»  
и «Джеймс Уэбб»





Любовь ученых к эффектным названиям своих телескопов привела к появлению шуточного плана по строительству телескопов:

Название телескопа	Год строительства
Очень большой телескоп	1998
Экстремально большой телескоп	2008
Чрезвычайно большой телескоп	2024
Ошеломляюще большой телескоп	Отменен

ники инфракрасного излучения позволят ему фиксировать экзопланеты с температурой, близкой к земной. Он также сможет значительно продвинуться в изучении очень далеких от нас объектов.

Для сравнения размеры первичных зеркал телескопов «Хаббл» и «Джеймс Уэбб» представлены на рис. 1.31.

В ближайшие десять лет планируется ввести в строй множество новых, крупнейших в своих областях телескопов (рис. 1.32, 1.33).

#### ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИИ

Оптические телескопы будущего:

- а — Европейский чрезвычайно большой телескоп (European Extremely Large Telescope — E-ELT);
- б — Тридцатиметровый телескоп (Thirty Meter Telescope — TMT);
- в — Гигантский Магелланов телескоп (Giant Magellan Telescope — GMT)

Рис. 1.32



**Выбор телескопа.** У каждого стационарного телескопа угол обзора неба ограничен широтой, на которой он расположен.

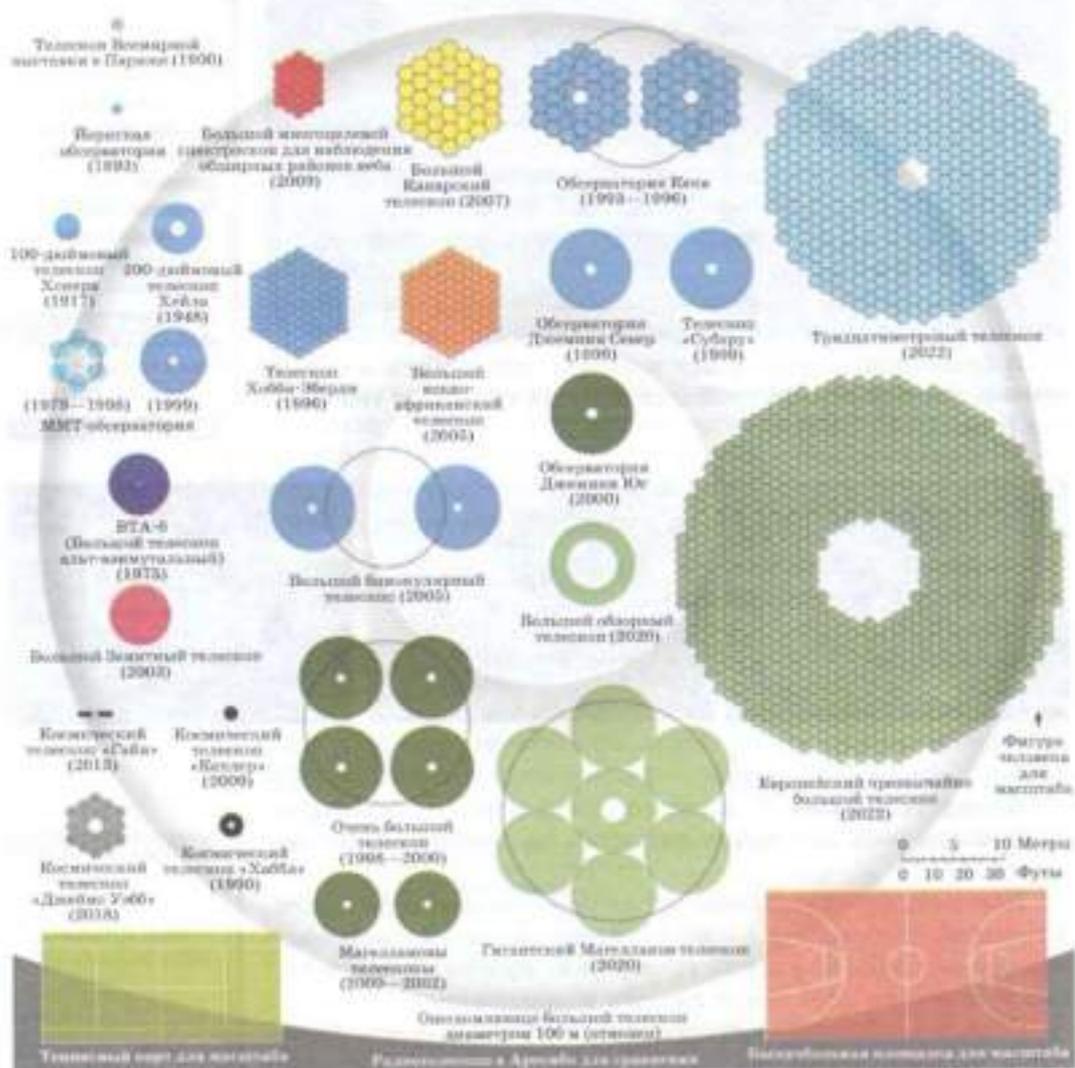
Поэтому, когда речь заходит не просто о самом большом и мощном телескопе в мире, а о прицельном рассматривании какой-либо отдельной галактики, нужно определить, какой телескоп даст самое лучшее изображение.

Самым подходящим телескопом в данном случае будет тот, в чье поле зрения попадает нужный объект и который расположен как можно выше по отношению к горизонту для уменьшения искажений, вызванных земной атмосферой и пылью. Естественно, что должны учитываться возможная засветка от городов и чистота самой атмосферы.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ  
АСТРОНОМИИ  
Оптические телескопы  
мира: настоящее  
и будущее

Рис. 1.33

Поэтому при выборе расположения телескопов выбирают высокогорные районы с чистым воздухом, расположенные выше слоя облаков. Например, для наблюдения объекта около Южного полюса небесной сферы не подходит мощнейшая пара телескопов Кекк-I и Кекк-II, поскольку в них



объект будет не виден, так как расположен слишком низко над горизонтом, а в лучшем случае даст изображение невысокого качества.

Наиболее правильным выбором в данном случае может оказаться телескоп гораздо более скромных размеров, расположенный на полярной станции в Антарктиде. Теоретически он может выдать пусть не такое же хорошее, но вполне сравнимое по качеству изображение просто потому, что для него объект будет расположен довольно высоко над горизонтом.

**Резюме.** Оптическая астрономия представляет самые древние методы наблюдения за небом. Сейчас в связи с освоением практической астрономией других частотных диапазонов электромагнитного излучения оптическая астрономия потеряла свою монополию на изучение космических объектов и явлений, однако ее роль в познании Вселенной не уменьшилась. На земном шаре работает более **60** оптических телескопов с зеркалами диаметром крупнее **1,5** м, из них **9** имеют диаметр главного зеркала больше **3** м.

В ближайшие годы вступит в строй еще несколько десятков крупных оптических телескопов. Этот мощный арсенал астрономических инструментов позволит получить большой объем новой информации о небесных объектах, проникнуть все дальше в глубины Вселенной.

История телескопа прошла долгий путь — от итальянских стекольщиков до современных гигантских телескопов-спутников. Современные крупные обсерватории давно компьютеризированы. Однако любительские телескопы и многие космические телескопы типа «Хаббл» все еще базируются на принципах работы, изобретенных Галилеем.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что изучает оптическая астрономия?
2. Зачем астрономам нужны наблюдения?
3. Дайте определение астрономическому инструменту — телескопу.
4. Чем отличаются рефлектор и рефрактор?
5. Почему при выборе месторасположения телескопов выбирают высокогорные районы с чистым воздухом, выше слоя облаков?
6. Нужны ли новые телескопы человечеству? Ответ обоснуйте, подбрав не менее 3–5 аргументов за или против.

#### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Составьте свой рейтинг пяти самых необычных телескопов по схеме:
  - название и тип телескопа;
  - местонахождение телескопа;
  - фотография;

**ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ  
АСТРОНОМИИ**

- главные преимущества и необычные свойства телескопа;
- область применения, которая расширяет возможности человека в освоении тайн Вселенной.

2. Охарактеризуйте с точки зрения физики особенности современных астрономических систем активной оптики — наземных и космических телескопов, заполнив табл. 1–3.

**Таблица 1. Характеристики телескопов**

Параметр	Определение	Формула
Назначение		
Разрешающая способность		
Угловой диаметр дифракционного диска		
Увеличение телескопа		

**Таблица 2. Классификация оптических телескопов**

Вид	Ход лучей	Пример телескопа и его характеристика
<b>Рефракторы</b>		
<b>Рефлекторы</b>		

**Таблица 3. Эволюция телескопов**

„Год создания	Пример телескопа	Диаметр, угловое разрешение	Приемник излучения
1609			
1800			
1920			
1960			
1980			
2000			
2016			

**ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. История телескопа.
2. Крупнейшие оптические телескопы мира.
3. Проекты сверхбольших телескопов.

## 1.5. Изучение ближнего космоса

**Околосземное космическое пространство.** Околосземное космическое пространство является ближайшей и наиболее доступной исследованию областью космического пространства. Та часть атмосферы, которая расположена над конкретным государством, находится под юрисдикцией этого государства, и проникновение в него любых иностранных объектов (самолетов, планеров, аэростатов и т.д.) без разрешения или согласования с органами государственной власти рассматривается как нарушение государственной границы со всеми вытекающими из этого последствиями.



Околосземное космическое пространство — это верхний слой атмосферы, внешняя газовая оболочка планеты, вращающаяся вместе с Землей.

**Ближний космос.** Ближним называют космос, исследуемый космическими летательными аппаратами и межпланетными станциями, а дальним считают космос за пределами Солнечной системы.



Ближний космос — это область вокруг Земли, которая начинается над околосземным пространством и заканчивается на границе нашей Солнечной системы.

Решением ООН граница между околосземным пространством и ближним космосом определена на высоте около 100 км над уровнем моря. Ближний космос доступен всем странам без ограничений. Это — зона полетов различных космических аппаратов. Атмосфера здесь практически отсутствует, но физические характеристики ближнего космоса находятся под влиянием Земли, прежде всего ее гравитационного поля. Это влияние уменьшается по мере удаления от нашей планеты и окончательно исчезает только на расстоянии более 900 тыс. км от Земли.

Первый аппарат, достигший Луны, принадлежал СССР («Луна-2»). Из научного оборудования на нем были установлены сцинтилляционные счетчики, счетчики Гейгера, магнитометры, детекторы микрометеоритов. Одним из основных научных достижений миссии было прямое измерение солнечного ветра. На поверхность Луны был доставлен вымпел с изображением герба СССР. Другой космический аппарат — «Луна-3» — сделал первые снимки обратной стороны Луны.

Первый  
спутник Земли

Рис. 1.34



В ближнем космосе расположены планеты Солнечной системы, астеронды, кометы. По космическим масштабам расстояние между ними и Землей считается небольшим. Объекты дальнего космоса — звезды, галактики, туманности, черные дыры располагаются за пределами Солнечной системы.

Практическое освоение ближнего космоса началось с запуска первого искусственного спутника Земли — 4 октября 1957 г. (рис. 1.34).

В настоящее время искусственные спутники позволяют осуществлять непрерывный мониторинг погоды, трансляцию телевидения, работу навигационных систем (ГЛОНАСС и GPS), с высокой точностью определять местоположение любого объекта на поверхности Земли. При помощи космических аппаратов можно эффективно выявить вредные последствия воздействия человека на природу: обнаружить степень, площадь и характер загрязнения воды и воздуха, изменения в растительном мире, темпы наступления пустынь. Информация, получаемая со спутников, помогает разумно размещать промышленные объекты, находить оптимальные условия для градостроительства. На орбите находится космические телескопы проекта «Радиоастрон», телескопы «Хаббл», «Свифт», WFIST, «Кеплер», «Спитцер» и др.



**Секретные слова.** Во время первых полетов космонавты общались с Землей с помощью секретных слов, которыми служили названия цветов, фруктов и деревьев. Например, космонавт Владимир Комаров в случае повышения радиации должен был сигналить: «Банан!» Для Валентины Терешковой (первой женщины-космонавта) пароль «Дуб» означал, что тормозной двигатель работает хорошо, а «Вяз» — двигатель не работает.

Этапы освоения ближнего космоса. Среди успехов космической программы СССР следует отметить:

- 1) запуск первого искусственного спутника Земли — 4 октября 1957 г.;
- 2) запуск второго спутника с живым существом на борту — 3 ноября 1957 г.;
- 3) первый полет человека в космос — 12 апреля 1961 г.;
- 4) первый выход человека в открытый космос — 19 марта 1965 г.;
- 5) первая стыковка двух пилотируемых космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» — 16 января 1969 г.;
- 6) создание на орбите Земли многомодульной орбитальной станции «Мир» — 20 февраля 1986 г.



Следующей задачей после полета Юрия Гагарина стал выход в открытый космос. Первым это сделал Алексей Леонов во время полета на космическом корабле «Восход-2». Тогда никто не знал, как правильно вести себя в невесомости. Выйдя в космос, Леонов оттолкнулся от шлюза, и его сильно закрутило, но страховочный трос удержал астронавта. Его ждала еще одна проблема: скафандр неожиданно сильно раздулся, и Леонов не мог вернуться на корабль. Он просто не помещался в люк, пока не снизил давление воздуха в скафандре. Из-за этого выход в космос длился не 12 мин, как планировалось, а в два раза дольше.

Именно нашей Родине принадлежит наибольшее количество достижений в исследовании Солнечной системы (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Этапы исследования Солнечной системы

Дата	Этап исследования
4 января 1959 г.	Станция «Луна-1» прошла на расстоянии 60 тыс. км от поверхности Луны и вышла на гелиоцентрическую орбиту. Она стала первым в мире искусственным спутником Солнца
14 сентября 1959 г.	Станция «Луна-2» впервые в мире достигла поверхности Луны в районе Моря Ясности вблизи кратеров Аристилл, Архимед и Автолик, доставив вымпел с гербом СССР
4 октября 1959 г.	Запущена автоматическая межпланетная станция «Луна-3», которая впервые в мире сфотографировала невидимую с Земли сторону Луны. Также во время полета впервые в мире был на практике осуществлен гравитационный маневр, состоявший в изменении скорости и орбиты движущегося аппарата только под действием гравитации Луны, без использования топлива. Траектория полета была рассчитана заранее

Дата	Этап исследования
3 февраля 1966 г.	Автоматическая межпланетная станция «Луна-9» совершила первую в мире мягкую посадку на поверхность Луны и передала панорамные снимки Луны
1 марта 1966 г.	Станция «Венера-3» впервые достигла поверхности Венеры, доставив вымпел СССР. Это был первый в мире перелет космического аппарата с Земли на другую планету
3 апреля 1966 г.	Станция «Луна-10» стала первым искусственным спутником Луны
21 июля 1969 г.	Первая высадка человека на Луну (Н.Армстронг) в рамках лунной экспедиции «Аполлон-11», доставившей на Землю в том числе и первые пробы лунного грунта
24 сентября 1970 г.	Станция «Луна-16» произвела забор и последующую доставку на Землю образцов лунного грунта. Она же стала первым беспилотным космическим аппаратом, доставившим на Землю пробы породы с другого космического тела
17 ноября 1970 г.	Мягкая посадка и начало работы первого в мире полуавтоматического дистанционно управляемого самоходного аппарата «Луноход-1», управляемого с Земли (рис. 1.35)
15 декабря 1970 г.	Первая в мире мягкая посадка на поверхность Венеры космического аппарата «Венера-7»
13 ноября 1971 г.	Станция «Маринер-9» стала первым искусственным спутником Марса
27 ноября 1971 г.	Станция «Марс-2» впервые достигла поверхности Марса
2 декабря 1971 г.	Первая мягкая посадка автоматической межпланетной станции «Марс-3» на поверхность Марса
3 марта 1972 г.	Запуск первого космического аппарата «Пионер-10», покинувшего впоследствии пределы Солнечной системы
20 октября 1975 г.	Станция «Венера-9» стала первым искусственным спутником Венеры
Октябрь 1975 г.	Мягкая посадка двух космических аппаратов «Венера-9» и «Венера-10» и первые в мире фотоснимки поверхности Венеры
7 декабря 1995 г.	Станция «Галилео» стала первым искусственным спутником Юпитера
24 июня 2000 г.	Станция NEAR Shoemaker стала первым искусственным спутником астероида ((433) Эрос)

Окончание табл. 1.2

Дата	Этап исследования
30 июня 2004 г.	Станция «Кассини» стала первым искусственным спутником Сатурна
15 января 2006 г.	Станция «Стардаст» доставила на Землю образцы кометы Вильда-2
17 марта 2011 г.	Станция «Мессенджер» стала первым искусственным спутником Меркурия

Начиная с 1971 г. на орбите Земли находились орбитальные станции «Салют» (СССР), «Скайлаб» (США), «Мир» (СССР), «Тяньгун-1» (КНР). В настоящее время Международная космическая станция (МКС) (рис. 1.36) успешно выполняет задачи исследования ближнего космоса, все более превращаясь в фабрику по производству материалов с неземными свойствами.

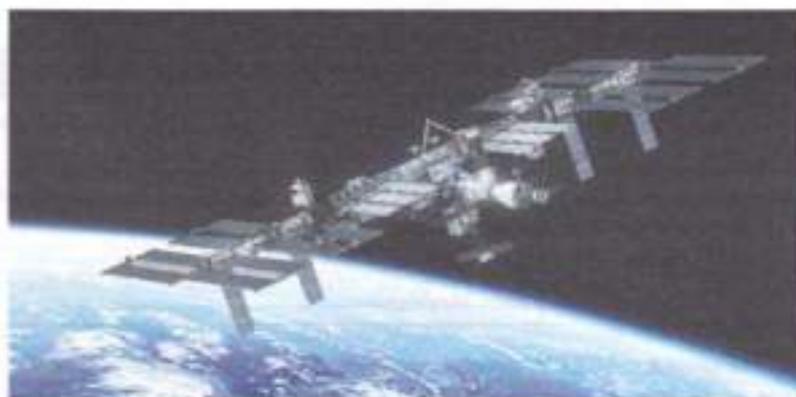


«Мир» — советско-российская пилотируемая научно-исследовательская долговременная орбитальная станция, функционировавшая на орбите Земли с 20 февраля 1986 г. по 23 марта 2001 г. За время работы на станции побывали 104 космонавта из 12 стран в составе 28 экспедиций. В открытый космос вышли 29 космонавтов и 6 астронавтов. Проведено более 23 тыс. экспериментов. Рекорды по длительности космического полета принадлежат: среди мужчин — Валерию Полякову (437 сут. 17 ч 59 мин), среди женщин — Шеннон Лусид (188 сут. 4 ч 1 мин).



Рис. 1.35

«Луноход-1» (СССР), который успешно работал на поверхности Луны с 17 ноября 1970 г. по 14 сентября 1971 г.



Сейчас отечественная космонавтика успешно развивается в рамках российской космической программы.

**Исследование планет и их спутников с помощью космических аппаратов.** Луна является первым и пока единственным небесным телом, на котором побывали люди. В 1969 г. Нил Олдрен Армстронг впервые ступил на ее поверхность в ходе реализации американской программы «Аполлон». Всего на Луне побывало 12 астронавтов.

К другим телам Солнечной системы экспедиции осуществлялись без прямого участия человека, с помощью автоматических межпланетных станций в рамках следующих программ:

- 1) «Пионер» — программа исследования Луны, межпланетного пространства, Юпитера и Сатурна (США);
- 2) «Вояджер» — программа исследования планет-гигантов (США);
- 3) «Маринер» — исследования Венеры, Марса и Меркурия (США);
- 4) «Марс» — исследования Марса, первая мягкая посадка на его поверхность (СССР);
- 5) «Венера» — программа исследования атмосферы Венеры и ее поверхности (СССР);
- 6) «Викинг» — программа исследования поверхности Марса (США);
- 7) «Вега» — встреча с кометой Галлея, высадка аэронавта на Венеру (СССР);
- 8) «Фобос» — программа исследований спутников Марса (СССР);
- 9) «Марс-Экспресс» — искусственный спутник Марса, высадка марсохода «Бигль-2» (Европейское космическое агентство — ЕКА);

10) «Галилео» — исследование Юпитера и его спутников (НАСА — Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (США));

11) «Кассини» — исследование Сатурна, его колец и спутников (НАСА (США), ЕКА);

12) «Гюйгенс» — зонд для исследования атмосферы Титана (ЕКА);

13) «Розетта» — исследование ядра кометы Чурюмова—Герасименко (ЕКА);

14) «Мессенджер» — исследование Меркурия (НАСА (США));

15) «Магеллан» — исследование Венеры (НАСА (США));

16) «Новые горизонты» — исследование Плутона и его спутников (НАСА (США));

17) «Венера-экспресс» — исследование Венеры (ЕКА);

18) «Эволюция атмосферы и летучих веществ на Марсе» — исследование атмосферы Марса (НАСА (США));

19) «Солнечный зонд» — исследование Солнца, его короны и магнитных полей (НАСА (США));

20) «Обсерватория солнечной динамики» — исследование Солнца и его влияния на Землю и околоземное пространство путем изучения солнечной атмосферы (НАСА (США));

21) SOHO — изучение состояния солнечной атмосферы, активности солнечных корон и ветра (ЕКА, НАСА (США));

22) «ИНСАЙТ» — изучение внутреннего строения и состава Марса (США);

23) «Марс Скаут» — космическая программа по изучению Марса (НАСА (США));

- Phoenix — исследование почвы в полярном регионе планеты;

- «Марс Патфайндер» — фотографирование, изучение метеоусловий (НАСА (США)).

Большое количество информации о Марсе передали марсоходы в рамках программы «Исследовательские марсоходы» (Mars Exploration Rover): «Спирит», «Оппортьюнити», «Кьюриосити».

Информация с марсоходов (рис. 1.37) ретранслировалась с марсианских орбитальных станций «Марс Глобал Сервейор» и «Марс Одиссей» (НАСА (США)).

Космические аппараты, предназначенные для работы в далеких от Земли областях Солнечной системы, отправляются туда безвозвратно. Их полет может продолжаться годами, и в течение всего это времени они передают

Марсоход  
(программа Mars  
Exploration Rover)

Рис. 1.37



на Землю информацию, полученную их аппаратурой во время полета.



Международную космическую станцию начали строить в 1998 г., а первые космонавты поселились на ней 31 октября 2000 г. МКС собирали 10 лет как огромный (ее длина — 110 м), сложный и очень дорогой конструктор. Одновременно на МКС живут и работают шесть человек. МКС в полном смысле этого слова — международная станция, в этом проекте принимают участие 23 страны. За сутки МКС облетает вокруг Земли 16 раз, поэтому космонавты видят 16 восходов и закатов.

**Резюме.** За очень короткий исторический срок космонавтика стала неотъемлемой частью нашей жизни; она оказывает неоценимую помощь в экономике страны и познании окружающего мира. Уже сейчас огромное количество информации о Земле мы получаем из космоса. Человечество чуть более шести десятилетий назад вышло за пределы своей планеты, но уже никого не удивишь охватившими всю Землю спутниковыми системами связи, наблюдения за погодой, навигации и оказания помощи терпящим бедствие на суше и на море. Не удивляют нас и сообщения о многомесячной работе людей на орбите, следы на Луне, фотографии далеких планет и их спутников. Возможно, именно в космосе мы найдем решение трех основных проблем современности: восстановление экологии, демографический рост и истощаемость природных ресурсов. Поэтому не приходится сомневаться, что дальнейшее развитие земной цивилизации не может обойтись без освоения всего ближнего космоса.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте развернутое определение понятию «околоземное космическое пространство».
  2. Что понимается под ближним и дальним космосом?
  3. Какие достижения советской космонавтики вы знаете?
  4. Какие тела Солнечной системы исследовали автоматические межпланетные станции?
  5. Какое значение имеет освоение космического пространства для развития человеческой цивилизации и экономического развития России?
- 
1. Опишите модель ближнего космоса и изобразите ее схематически.
  2. Составьте план освоения ближнего космоса на 5 ближайших лет.

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Рекорды советской космической программы.
2. Самые удивительные обсерватории в мире.
3. Самые знаменитые космические фотографии.

## 16. Астрономия дальнего космоса

**Методы изучения дальнего космоса.** Все космическое пространство за пределами Солнечной системы относится к дальнему космосу. Исследования дальнего космоса — это новые необычайные и удивительные открытия в области изучения небесных тел, процессов их формирования и эволюции Вселенной в целом. Результаты этих исследований позволяют делать важные выводы о прошлом, настоящем и будущем звезд и планет, галактик и нашей Вселенной. К сожалению, использование автоматических межзвездных станций для изучения таких далеких от Земли объектов пока невозможно, поэтому большую часть информации о них мы можем получить только на основании наблюдений с помощью наземных и космических телескопов. Современные астрономические обсерватории (рис. 1.38), например Пулковская, позволяют получать информацию о Вселенной не только в оптическом диапазоне, но и располагают намного более широкими методами регистрации космических излучений практически во всех диапазонах электромагнитных

воли: гамма-излучение, рентгеновское, ультрафиолетовое, инфракрасное, микроволновое и радиоизлучение.



Современные космические аппараты не позволяют быстро перемещаться даже по Солнечной системе, поэтому для полета в другие галактики необходимо искать новые способы передвижения. По мнению главного редактора журнала «Новости космонавтики», академика Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского Игоря Маринина, в данном случае можно рассмотреть даже такой способ перемещения, как телепортация.

**Современные наземные телескопы.** Современные оптические телескопы мало похожи на первый телескоп Галилея и представляют собой сложнейшие технические конструкции. Однако принцип их устройства остается прежним. С помощью линзы или параболического зеркала собирается свет от небесного объекта и строится изображение в фокусе линзы или зеркала. Здесь помещается приемник излучения, который фиксирует изображение для дальнейшего изучения. Самый крупный в России оптический телескоп — Большой телескоп азимутальный Специальной астрофизической лаборатории РАН — находится в горах Северного Кавказа. Диаметр его объектива — 6 м.

Еще одним видом телескопов являются **радиотелескопы** (рис. 1.39). Они нужны для исследования космических объектов в радиодиапазоне. Основными элементами радиотелескопов являются принимающая антенна и радиометр — чувствительный радиоприемник, перестраиваемый по частоте.

Рис. 1.38

Пулковская  
обсерватория



те, и принимающая аппаратура. Поскольку радиодиапазон гораздо шире оптического, для регистрации радионалучения используют различные конструкции радиотелескопов, в зависимости от диапазона.

РАТАН-600 — самый крупный стационарный радиотелескоп: имеет форму кольца диаметром 600 м, расположен в Ставропольском крае.

Самый большой радиотелескоп на Земле (диаметром примерно 300 м) находится в кратере потухшего вулкана, в обсерватории Аресибо (Arecibo), близ одноименного города в Пуэрто-Рико (рис. 1.40). Обсерватория принадлежит компании SRI International, основателем которой является Стэнфордский университет. Обсерватория проводит радиоастрономические и радиолокационные наблюдения за объектами Солнечной системы, а также участвует в исследовании атмосфер других планет. Телескоп обсерватории Аресибо, построенный в 1963 г., имеет сферическую чашу диаметром 304,8 м и работает с длинами волн от 3 см до 1 м. Он был самым большим телескопом с одиночным зеркалом с 1963 по 2016 г.

Крупнейшая радиоастрономическая обсерватория ALMA (Atacama Large Millimeter Array), или Атакамская большая миллиметровая/субмиллиметровая решетка, вступила в строй совсем недавно — в марте 2013 г. Она расположена в Чили на высоте 5058 м над уровнем моря. На данный момент ALMA является самым дорогим действующим наземным телескопом. Этот астрономический интерферометр состоит из 66 радиотелескопов диаметром 7 и 12 м.



Рис. 1.39

Радиотелескоп

Телескоп  
обсерватории  
Аресибо

Рис. 1.40



Рис. 1.41

Квадратная  
километровая  
решетка (Square  
Kilometre Array —  
SKA)

Из строящихся радиотелескопов следует отметить Квадратную километровую антенную решетку (Square Kilometre Array — SKA) — международный проект по созданию крупнейшего в мире радиоинтерферометра. Название проекта отражает первоначальный план разработки (начало 1990-х годов) — создать радиотелескоп с общей собирающей площадью антенн около  $1 \text{ км}^2$ . С тех пор проект телескопа был переработан, и по плану собирающая площадь должна значительно превысить  $1 \text{ км}^2$  (рис. 1.41). Другим крупным проектом является Сферический радиотелескоп с пятисотметровой апертурой (Five hundred meter Aperture Spherical Telescope — FAST) на юге Китая в провинции Гуйчжоу (рис. 1.42).

Наземные телескопы XXI в. — это новый этап в создании оптических приборов. Во-первых, они очень большие — диаметр их главного зеркала  $8\text{--}10 \text{ м}$ . Во-вторых, они построены с использованием новых принципов. Их зеркала подстраиваются под изменения, происходящие в атмосфере, так что расфокусировка изображения, вызванная перепадами плотности воздуха и его потоками, сводится к минимуму. Такая оптика, «умеющая» приспосабливаться к быстроменяющимся условиям, называется адаптивной. У современных телескопов с адаптивной оптикой (рис. 1.43)

имеется система приспособлений, которые, оказывая давление на зеркало, способны нужным образом изменять его форму, что стало возможным, когда начали изготавливать очень тонкие и легкие зеркала. Для повышения разрешающей способности телескопов применяются также методы оптической интерферометрии с большой базой.

К новому поколению телескопов относятся 10-метровые телескопы Keck-I и Keck-II (США), «Хобби-Эберли» и 8-метровые телескопы «Джемми», «Субару», телескоп VLT (Very Large Telescope — Очень большой телескоп) Европейской южной обсерватории, а также находящийся в стадии постройки Большой бинокулярный телескоп (LBT — Large Binocular Telescope) в Аризоне (США).

Следует отметить важное обстоятельство: во всех этих телескопах главное зеркало образовано отдельными зеркалами, число которых различно в разных телескопах. Так, в телескопе «Субару» смонтировано 261 зеркало, в VLT — 150 осевых и 64 боковых зеркал, в телескопе «Джемми» — 128 зеркал.

В LBT имеется два главных зеркала, состоящих также из многих элементов. Диаметр главных зеркал всех этих телескопов лежит в диапазоне от 8,1 до 8,4 м.



Рис. 1.42

Сферический радиотелескоп с пятисотметровой апертурой (Five hundred meter Aperture Spherical Telescope — FAST)

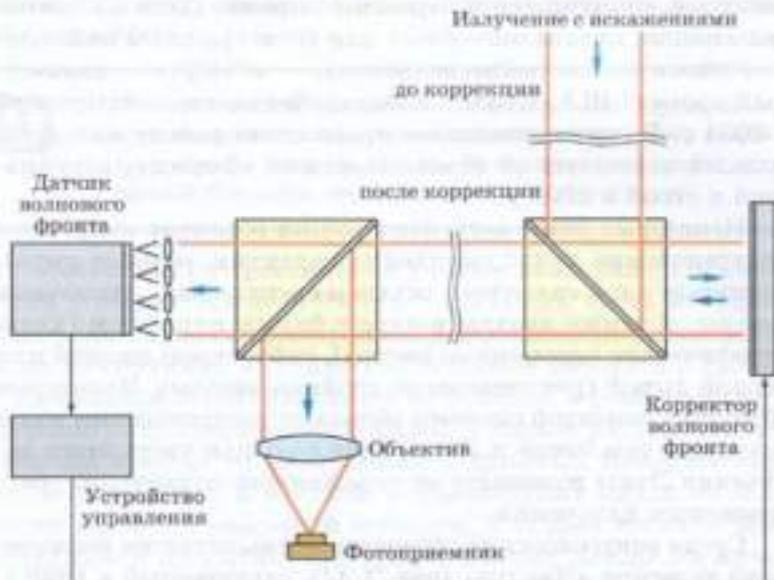


Рис. 1.43

Схема устройства адаптивного оптического телескопа

Современные космические телескопы. В настоящее время на самых различных орбитах вокруг Земли и Солнца работает множество космических телескопов, покрывающих весь диапазон электромагнитных волн от радио- до гамма-излучения. Космические телескопы могут работать круглые сутки, для них не важны искажения атмосферы и погодные условия. Большая часть последних открытий в ходе исследования глубокого космоса приходится на эти обсерватории.



Млечный Путь содержит четыре спиральных рукава, а не два, как это принято считать.

Такие виды излучения, как гамма-излучение, рентгеновское, ультрафиолетовое, инфракрасное, сильно поглощаются атмосферой, поэтому их наблюдение целесообразно вести с земной орбиты.

Оптические телескопы используются для наблюдения звезд, галактик, планетарных туманностей, протопланетных дисков и других объектов. Самый известный из них телескоп «Хаббл» — совместный проект НАСА и ЕКА, запущен в 1990 г. «Кеплер» — космическая обсерватория НАСА, специально предназначенная для поиска экзопланет (планет вне Солнечной системы — у других звезд), подобной Земле, запущена в 2009 году.

Гамма-лучи излучаются сверхновыми, нейтронными звездами, пульсарами и черными дырами. Один из гамма-телескопов, предназначенных для регистрации и наблюдения космических гамма-всплесков, — «Свифт» — совместный проект США, Италии и Великобритании, запущенный в 2004 г. В гамма-диапазоне продолжает работу международный космический гамма-телескоп «Ферми», вступивший в строй в 2009 г.

Некоторые типы астрофизических объектов испускают рентгеновские лучи: скопление галактик, черные дыры, активные ядра галактик, остатки сверхновых, одиночные звезды, а также звезды в паре с белым карликом (катастрофические переменные звезды), нейтронной звездой или черной дырой (рентгеновские двойные звезды). Некоторые объекты Солнечной системы обладают рентгеновским излучением, в том числе и Луна, хотя большая часть этого излучения Луны возникает от отраженного солнечного рентгеновского излучения.

Среди рентгеновских обсерваторий выделяется космический телескоп «Чандра» (рис. 1.44), запущенный в 1999 г.

Валетная масса этого телескопа вместе с космическим аппаратом AXAF/«Чандра» составляла 22 753 кг, что является абсолютным рекордом массы, когда-либо выведенной в космос космическим челноком. Один из космических рентгеновских телескопов XMM-Newton создан ЕКА совместно с НАСА (США) и введен в эксплуатацию в 2000 г.

Объекты, излучающие ультрафиолетовое излучение, включают Солнце, звезды и галактики. GALEX — орбитальный космический телескоп, работающий в ультрафиолетовом диапазоне, который запущен в 2009 г. НАСА.

Инфракрасный свет имеет меньшую энергию, чем видимый свет, следовательно, испускают его более холодные объекты. В инфракрасной (тепловой) области находится максимум излучения слабосветящегося вещества Вселенной — тусклых остывших звезд, внесолнечных планет и гигантских молекулярных облаков. Инфракрасные лучи поглощаются земной атмосферой и практически не попадают из космоса на поверхность, что делает невозможной их регистрацию наземными телескопами. И наоборот, для инфракрасных лучей прозрачны космические пылевые облака, которые скрывают от нас много интересного, например галактический центр. Один из космических телескопов, предназначенных для наблюдения космоса в инфракрасном диапазоне «Спитцер» запущен НАСА в 2003 г.



Рис. 1.44

Телескоп «Чандра»



По мнению исследователей, к которому они пришли на основании данных спектрального анализа компонентов межзвездного газа, центр нашей Галактики должен иметь вкус малины и пахнуть ромом. По словам космонавтов, космос пахнет как пережаренный бифштекс, горячий металл и дым от сварки.

Летом 2011 г. российские ученые запустили космический аппарат «Спектр-Р» (рис. 1.45) как часть космического проекта «Радиоастрон». Радиотелескоп, установленный на спутнике «Спектр-Р», способен работать в связке с глобальной сетью наземных телескопов в режиме интерферометра со сверхдлинной базой. Угловое разрешение телескопа зависит от двух самых удаленных точек его зеркала или линзы. В проекте «Радиоастрон» одной из этих точек является наземный телескоп, а вторая точка — вращающийся по вытянутой орбите вокруг Земли космический аппарат «Спектр-Р» с радиоантенной. За счет того, что



в апогее он удалится от Земли на расстояние 350 тыс. км, его угловое разрешение может достигать всего лишь миллионных долей угловой секунды, что в 30 раз лучше, чем у наземных систем. Он позволяет получить самое высокое

угловое разрешение за всю историю астрономии — 21 микросекунда дуги, что более чем в 1000 раз лучше разрешения космического телескопа «Хаббл». Оптический телескоп с таким угловым разрешением мог бы разглядеть спичечный коробок на поверхности Луны. Он является крупнейшим в мире космическим телескопом, что было отмечено в книге рекордов Гиннеса, и самым лучшим по угловому разрешению.



Американская компания SpaceX запустила ракету-носитель Falcon 9, которая должна вывести на орбиту аппарат НАСА для проведения астрономических наблюдений с целью поиска потенциально пригодных для жизни планет.

В настоящее время информацию о далеких объектах Вселенной можно получить не только с помощью регистрации электромагнитных волн. Регистраторы особых частиц — нейтрино — позволяют заглянуть внутрь Солнца и в ядра взрывающихся сверхновых звезд. Совершенно новое направление представляет гравитационно-волновая астрономия. Гравитационные волны теоретически могут излучать различные объекты, например сливающиеся черные дыры.



В 1977 г. исследователи поймали сигнал из глубокого космоса, который длился 72 с. Так называемый «Сигнал Вау» был единственной радиопередачей, которая, как считается, транслировалась обладателями внеземного разума. Было установлено, что источник сигнала находится вблизи звезды Тау Стрельца в созвездии Стрельца.

**Резюме.** Дальний космос — мир галактик и звезд. Самые далекие объекты удалены от нас на расстояние, которое свет проходит за миллиарды лет. Как с помощью машины времени, наблюдения позволяют увидеть разнообразные объекты Вселенной в различные моменты их жизни. Для изучения загадок дальнего космоса человечество непрерывно совершенствует наземные и орбитальные телескопы. Разносторонние космические исследования ведутся не только в видимом человеку оптическом диапазоне, но и во всех диа-

пазонах электромагнитных волн: гамма-излучение, рентгеновское, ультрафиолетовое, инфракрасное, микроволновое и радиоизлучение.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы используют для изучения дальнего космоса?
2. На какие виды можно разделить телескопы по типам принимаемого излучения?
3. Какова причина создания космических обсерваторий?
4. О каких современных телескопах вам известно?
5. Какое значение имеет изучение дальнего космоса для развития человеческой цивилизации и экономического развития России?

#### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

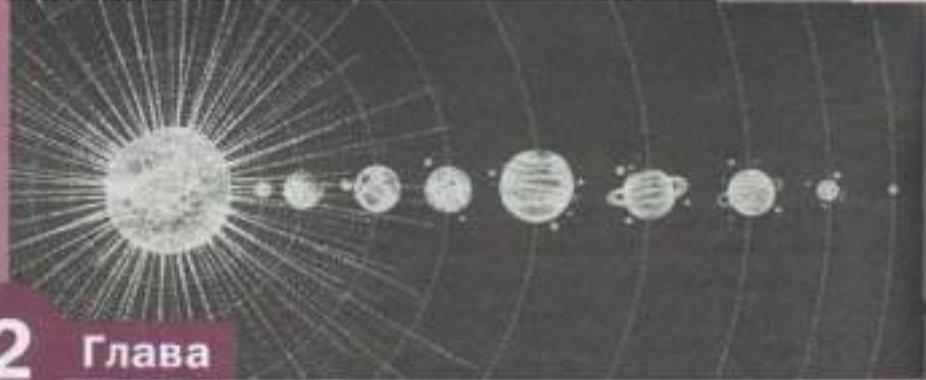
1. Составьте список из 3–4 космических программ освоения дальнего космоса по схеме:
  - название программы;
  - цель программы;
  - какие объекты для изучения будут включены в программу;
  - знание каких дисциплин необходимо для реализации этой программы;
  - какие новые знания получит человечество, реализовав эту программу.
2. Охарактеризуйте с точки зрения физики особенности современных наземных и космических радиотелескопов, заполнив таблицу.

Таблица. Классификация телескопов по волновому диапазону наблюдения

Тип телескопа	Преимущества	Недостатки
Радиотелескопы		
Инфракрасные телескопы		
Рентгеновские телескопы		
Гамма-телескопы		

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Научное и практическое значение изучения дальнего космоса.
2. Современные исследования дальнего космоса.
3. Методы изучения дальнего космоса.



## 2 Глава

# СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

### Прочитав эту главу, вы узнаете:

- о различных гипотезах происхождения Солнечной системы и ее структуре;
- системе Земля—Луна, физической природе Луны, строении лунной поверхности, условиях существования на Луне;
- космических телах Солнечной системы: планетах земной группы, планетах-гигантах, малых телах;
- законы Кеплера.

## 2.1. Происхождение Солнечной системы

**Гипотезы происхождения Солнечной системы.** Первые гипотезы происхождения Солнечной системы появились в XVIII в. Немецкий философ И. Кант предположил, что Солнечная система образовалась из облака холодных частиц, находящихся в непрерывном и хаотичном движении (рис. 2.1, а). Другой ученый, француз П. Лаплас, в 1796 г. высказал предположение о том, что происхождение Солнеч-

ной системы связано с постоянно вращающейся туманностью, полностью состоящей из газа (рис. 2.1, б). Британец Д. Джинс предположил, что своим появлением Солнечная система обязана тесному сближению Солнца с другой звездой, вытянувшей из Солнца сигарообразную струю вещества, из которой потом образовались все планеты.

Еще одна интересная гипотеза была выдвинута советским астрономом О. Ю. Шмидтом в 1944 г. Из нее следует, что средой, которая служит для образования планет, является фрагмент межзвездного облака, состоящего из газопылевой смеси. В нем в результате хаотичных столкновений частиц образуются многочисленные сгущения. Крупные образования постепенно увеличиваются в размерах и становятся плотнее. Именно так, с его точки зрения, образуются *планетезимали* — «зародыши» будущих планет. В пользу последней теории говорят современные наблюдения за межзвездными газопылевыми облаками нашей Галактики, в которых и сейчас происходят процессы образования новых звездных систем.

**Этапы формирования Солнечной системы.** В настоящее время предполагается, что формирование Солнечной системы началось около 5...4,6 млрд лет назад с гравитационного сжатия небольшой части медленно вращающегося межзвездного газопылевого облака (рис. 2.2, 1).

Облако уже содержало не только водород и гелий, но и многочисленные тяжелые элементы, оставшиеся после звезд

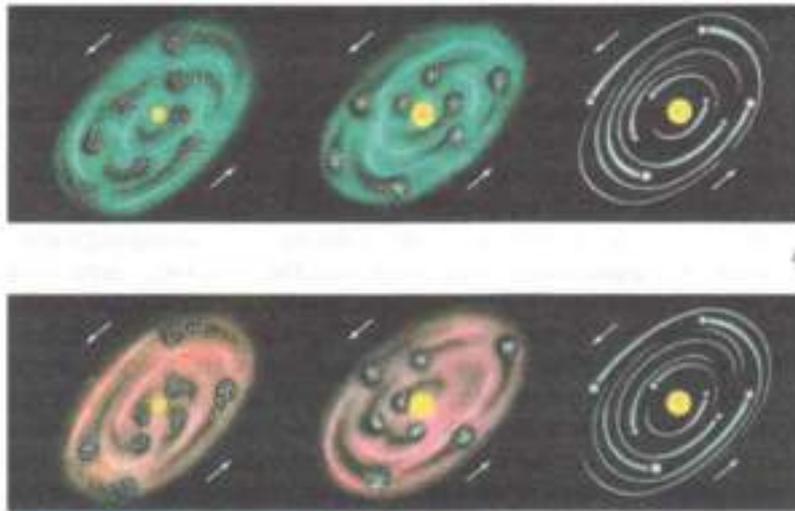


Рис. 2.1

Гипотезы происхождения Солнечной системы:  
а — И. Канта;  
б — П. Лапласа



предыдущих поколений. Во время сжатия скорость вращения облака увеличилась, температура и плотность вещества возрастали (рис. 2.2, 2—3). Наиболее сильно нагревались центральные области диска. При достижении температуры в несколько тысяч кельвинов центральная область диска начала светиться — сформировалась протозвезда (рис. 2.2, 4). Вещество облака продолжало поглощаться протозвездой, увеличивая давление и температуру в центре. Внешние же области диска оставались относительно холодными. Когда температура в центре протозвезды достигла миллионов градусов, в центральной области началась реакция термоядерного синтеза гелия из водорода. Во внешней области диска крупные сгущения образовали планеты, вращающиеся вокруг центрального светила примерно в одной плоскости и в одном направлении, а также их спутники, астероиды и другие малые тела Солнечной системы (рис. 2.2, 5). Ближе к Солнцу температура была очень высокой, поэтому такие легкие газы, как водород и гелий, вытеснялись на периферию, а на внутренних планетах происходило накопление более тяжелых элементов (рис. 2.2, 6).

В дальнейшем температура понизилась и появилась возможность удерживать легкие элементы, поэтому планеты-гиганты в отличие от внутренних членов системы не являются плотными и каменными. Они могут иметь твердое ядро, но большей частью состоят из жидкости, имеют очень мощную атмосферу, богатую водородом и гелием. На долю Солнца приходится 99,87% от всей массы Солнечной системы, на все остальные тела — всего 0,13%.

Первые несколько сотен миллионов лет формирования Солнечной системы были очень бурными, множество тел

двигались вокруг Солнца по различным орбитам, сталкиваясь друг с другом. При этом часть из них разрушалась, часть объединялась в более крупные образования. Удары, которые происходили при столкновениях, способствовали тому, что орбиты планет стали похожими на окружности, а со временем их движение вокруг Солнца приобрело устойчивый характер. Множество тел нашей Солнечной системы до сих пор хранит следы древней бомбардировки, произошедшей через 500... 600 млн лет после ее формирования. Этот период длился несколько сотен миллионов лет, и его последствия видны до сих пор на поверхности Луны и Меркурия, других планет, их спутников и астероидов в виде многочисленных кратеров ударного происхождения.



Теоретически к Солнечной системе относится все пространство, где гравитация Солнца сильнее любых других объектов. Предположительная граница этого пространства находится на расстоянии двух световых лет от нас, что равно почти половине пути до ближайшей к Земле звезды после Солнца (Проксима Центавра). Считается, что облако Оорта (регион Солнечной системы, из которого к нам прилетают долгопериодические кометы) простирается на расстояние до 100 тыс. а. е.

**Основные закономерности движения планет Солнечной системы.** Гипотеза происхождения Солнечной системы хорошо объясняет основные наблюдаемые закономерности:

- орбиты всех планет и большинства астероидов близки к окружностям;
- плоскости орбит лежат приблизительно в одной плоскости;
- все планеты обращаются вокруг Солнца в одну сторону, в том же направлении, что и движение Солнца вокруг своей оси, причем направление их осевого вращения, кроме Венеры, Урана и Плутона, совпадает с направлением движения по орбите;
- возраст Земли, Луны, Меркурия и других тел примерно равен 4,5 млрд лет.

**Эволюция Солнечной системы.** В начале своего существования Солнечная система выглядела совершенно по-другому. Внешняя Солнечная система была гораздо компактнее по размеру, чем сейчас, пояс Койпера был гораздо ближе к Солнцу, а во внутренней Солнечной системе помимо сохранившихся до настоящего времени небесных тел существовали и другие объекты по размеру не меньше Меркурия.

## СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

В настоящее время Солнечная система является устойчивой в том смысле, что никакая из планет не может столкнуться с другой или быть выброшенной за пределы системы в ближайшие несколько миллиардов лет. Но, конечно, и сейчас возможны столкновения планет с астероидами и кометами, гравитационное взаимодействие планет со спутниками приводит к изменению скорости их движения. Кроме того, через 4... 5 млрд лет светимость Солнца возрастет и условия на Земле станут непригодными для жизни.

Резюме. Формирование Солнца и планет происходило одновременно из вращающегося газопылевого облака в результате объединения твердых холодных тел и частиц и последующего гравитационного сжатия примерно 5 млрд лет назад.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом происходило формирование Солнечной системы?
2. Каковы основные закономерности движения планет нашей Солнечной системы?
3. Каков примерный возраст нашей Солнечной системы?
4. Когда происходила древняя бомбардировка тел Солнечной системы?

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изучив материал о гипотезах происхождения Солнечной системы, заполните таблицу информацией об этапах ее формирования.

Номер	Содержание этапа	Результат	Объясняемая характеристика Солнечной системы

2. Дайте обоснованный ответ на вопрос: почему в своей книге «Тайны рождения звезд и планет» А. Н.Томилин называет рассмотренную гипотезу О.Ю.Шмидта о происхождении тел Солнечной системы «теорией захвата»?

### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Гипотезы происхождения Солнечной системы.
2. Современные представления о происхождении Солнечной системы.
3. Современные методы изучения тел Солнечной системы, позволяющие получить достоверные научные факты.

## 2.2. Видимое движение планет

**Конфигурации планет.** Из восьми планет нашей Солнечной системы невооруженным взглядом можно увидеть только пять: Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн. Как же отличить планету от других объектов на ночном небе? Древние греки называли планеты блуждающими светилами за то, что они могут перемещаться относительно других звезд и созвездий. Движение планет происходит достаточно медленно, в течение нескольких месяцев. При наблюдениях с Земли на движение планет вокруг Солнца накладывается еще и движение Земли по своей орбите, планеты перемещаются по небосводу то с востока на запад (прямое движение), то с запада на восток (попятное движение). В момент, когда Земля в своем движении вокруг Солнца обгоняет планету, у наблюдателя создается впечатление, что планета описывает петлю на фоне звездного неба (рис. 2.3). До создания гелиоцентрической системы мира этот эффект объяснить было затруднительно.

Для того чтобы лучше понять условия видимости планет, разделим их на две группы. Планеты, орбиты которых располагаются внутри земной орбиты, — Меркурий и Венера — назовем нижними (или внутренними). Планеты, которые располагаются за пределами земной орбиты, — Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — назовем верхними (или внешними). Характерные расположения планет принято называть их *конфигурациями*. Для нижних планет это —



**Рис. 2.3**

Петлеобразное движение планет. 1–6 — одновременные положения Земли и планеты

*соединение* (верхнее и нижнее) и *элонгации* (восточная и западная) (рис. 2.4). Поскольку в элонгации видимый с Земли угол удаления от Солнца будет максимальным, то в этот период условия наблюдения за нижней планетой будут наилучшими, так как планету не будут затмевать солнечные лучи. Для Меркурия максимальный угол отклонения составляет  $28^\circ$ , для Венеры —  $48^\circ$ . При восточной элонгации планеты будут видны на западе вскоре после захода Солнца, а при западной — на востоке перед восходом Солнца. В моменты соединений планеты находятся на одной линии с Солнцем и наблюдать их затруднительно (см. рис. 2.4).



Меркурий — единственная планета Солнечной системы, на которой можно наблюдать движение Солнца в обратную сторону. Это явление имеет вполне логическое объяснение. Скорость вращения планеты вокруг своей оси значительно ниже скорости движения по орбите. Из-за такой разницы в скоростных режимах и возникает эффект изменения движения Солнца. На Меркурии можно наблюдать фантастическое явление: два заката и восхода. Если переместиться на меридианы  $0$  и  $180^\circ$ , то можно стать свидетелем трех закатов и восходов за одни сутки.

Типичные конфигурации для верхних планет — квадратуры (восточная и западная), соединения и противостояние (см. рис. 2.4). Несложно заметить, что в моменты противо-



Уран, как и Венера, движется вокруг светила против часовой стрелки. Уникальность планеты заключается в том, что она лежит на боку, поскольку ее ось наклонена под углом  $98^\circ$ . Существует теория, что такое положение планета приняла после столкновения с другим космическим объектом.

**Рис. 2.4**  
Конфигурации планет





а



б

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Изменение видимого диаметра:  
 а – нижних планет;  
 б – верхних планет

Рис. 2.5

стояний расстояние между Землей и планетой становится минимальным. Увеличивается ее видимый диаметр, наступают лучшие условия для ее наблюдения (рис. 2.5).

**Сидерические и синодические периоды обращений планет.** Для характеристики времени обращения планеты вокруг Солнца используют понятие *сидерический, или звездный, период обращения T*.



Промежуток времени между двумя одинаковыми конфигурациями планеты называют **синодическим периодом S**.

Сидерические периоды обращения планет Солнечной системы приведены в табл. 2.1.

**Таблица 2.1.** Сидерические периоды обращения планет Солнечной системы

Планета	Сидерический период
Меркурий	87,97 сут.
Венера	224,7 сут.
Земля	1 год, или 365,2564 сут.
Марс	1,88 года
Юпитер	11,86 года
Сатурн	29,46 года
Уран	84,02 года
Нептун	164,78 года

Учитывая, что  $T_3$  — сидерический период обращения Земли (равный одному году, или 365 сут.), сидерический и синодический период планеты будут связаны между собой следующими соотношениями:

- для нижней планеты:

$$1/S = 1/T_3 - 1/T;$$

для верхней планеты:

$$1/S = 1/T - 1/T_3.$$

Эти формулы **называются уравнениями синодического движения.**

Зная сидерический период обращения Земли и любой другой планеты, можно легко вычислить синодический период (табл. 2.2).



Подобно Сатурну, Уран имеет сложную кольцевую систему, состоящую из совокупности внутренней и внешней группы колец, число которых равно 13. Считается, что кольца — это остатки бывшего спутника Урана, столкнувшегося с планетой.

**Таблица 2.2. Синодические периоды обращения планет Солнечной системы**

Планета	Синодический период, лет
Меркурий	0,317
Венера	1,599
Марс	2,135
Юпитер	1,092
Сатурн	1,035
Уран	1,012
Нептун	1,006

Резюме. Планеты движутся на фоне остальных звезд, иногда сменяя направление движения или описывая петлю на небе. Это связано с тем, что Земля также движется вокруг Солнца. Все планеты Солнечной системы принято разделять на нижние (внутренние): Меркурий и Венера, и верхние (внешние) — все остальные. Лучшие условия для наблюдений за нижними планетами наступают в моменты

их элонгации, а за верхними — в моменты противостояния. Зная период обращения планеты вокруг Солнца (сидерический, или звездный, период) можно вычислить интервалы времени между одинаковыми конфигурациями планеты (синодический период).

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему планеты называют блуждающими светилами?
2. Какие планеты называют нижними, а какие — верхними?
3. В каких конфигурациях могут наблюдаться нижние планеты? Какие из них лучше подходят для наблюдения?
4. В каких конфигурациях могут наблюдаться верхние планеты? Какие из них лучше подходят для наблюдения?
5. Что называют сидерическим, или звездным, периодом?
6. Что называют синодическим периодом?

#### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Зная синодический период Марса и Земли, рассчитайте, как часто повторяются противостояния Марса.
2. Определите, когда наступят условия наилучшей видимости для Венеры, Марса и Юпитера.

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Конфигурации и условия видимости планет.
2. Нижние и верхние планеты.
3. Конфигурации нижних планет. Условия видимости внутренних планет. Элонгации Венеры и Меркурия.

## 2.3. Система Земля—Луна

**Место Земли в Солнечной системе.** Земля — третья планета от Солнца и пятая по размеру среди всех планет Солнечной системы. Она является также крупнейшей по диаметру, массе и плотности среди планет земной группы. Кроме того, Земля среди этих четырех планет имеет наибольшие плотность, поверхностную гравитацию и магнитное поле. Примерная дата образования Земли — **(4,54 ± 0,04)** млрд лет назад. Весь процесс формирования планеты занял примерно **10... 20** млн лет.

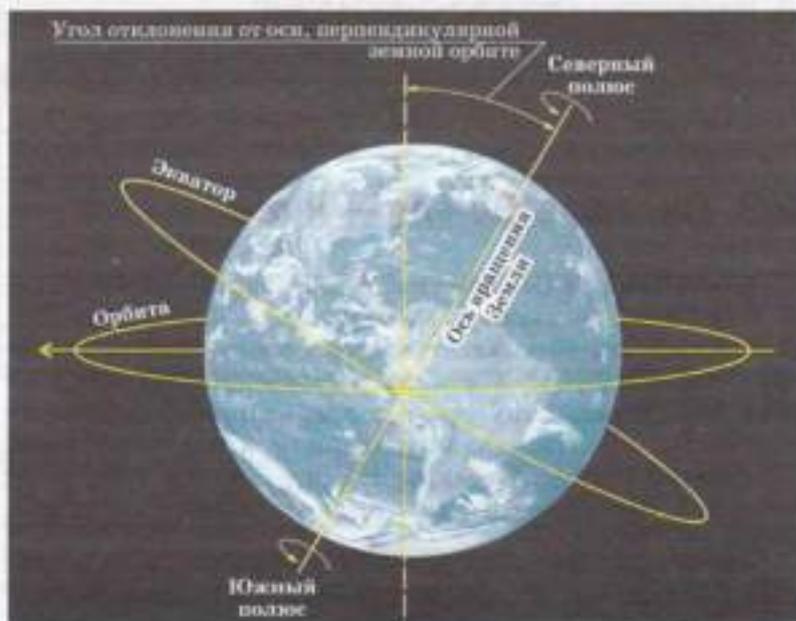
Это — единственная известная планета с активной тектоникой плит, морями и океанами. Приблизительно **70,8 %**

поверхности планеты занимает Мировой океан. Форма Земли (геоид) близка к эллипсоиду (сплюснутому шару). Экваториальный радиус составляет 6 378,1 км. Полярный радиус — 6 356,8 км. На полюсе мы ближе к центру Земли примерно на 21 км. Средняя плотность Земли — 5 520 кг м<sup>3</sup>. Масса нашей планеты равна  $5,97 \cdot 10^{24}$  кг.

Земля движется со скоростью примерно 30 км/с вокруг Солнца. Ось вращения Земли наклонена к плоскости орбиты под углом 66°34'. При движении ось остается параллельной сама себе. Благодаря трем этим факторам — движению Земли вокруг Солнца, наклону земной оси к плоскости орбиты и сохранению направления оси в пространстве — на Земле существует смена времен года (рис. 2.6).

**Образование Луны.** Луна сформировалась позже Земли, примерно  $(4,527 \pm 0,01)$  млрд лет назад, хотя ее происхождение до сих пор точно не установлено. Основная гипотеза гласит, что она образовалась путем гравитационного сжатия из вещества, оставшегося после касательного столкновения Земли с объектом, по размерам близким Марсу и массой 10... 12% от земной массы (иногда этот объект называют Тейя). При этом столкновении было высвобождено примерно в 100 млн раз больше энергии, чем в результате того удара метеорита, который, предположительно вызвал

Рис. 2.6  
Вращение Земли



вымирание динозавров. Этого было достаточно для испарения внешних слоев Земли и расплавления обоих тел. Часть мантии была выброшена на орбиту Земли. Под влиянием собственной силы тяжести выброшенный материал принял сферическую форму, и образовалась Луна. Радиус Луны составляет 1700 км, масса в 81 раз меньше массы Земли, а средняя плотность — 3300 кг/м<sup>3</sup>. Скорость движения вокруг Земли — 1000 м/с.

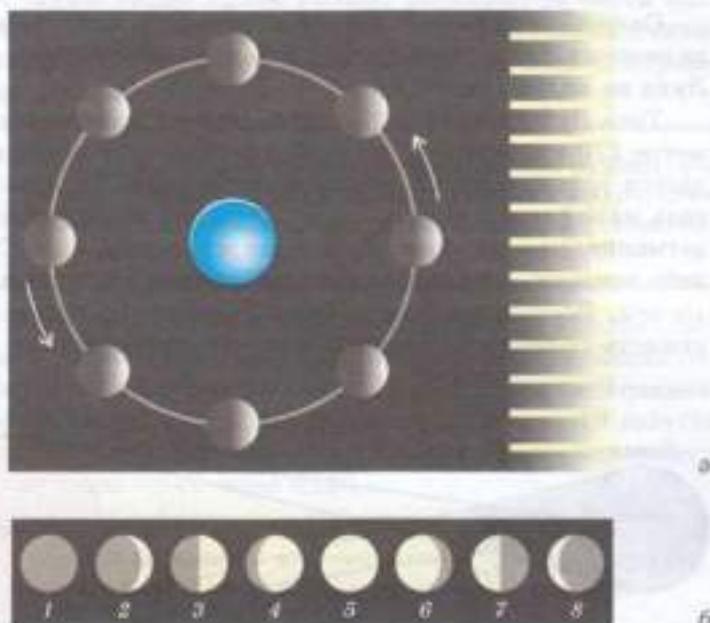
**Фазы Луны.** Луна — второй по яркости объект на небе после Солнца. Только в отличие от него Луна светит отраженным солнечным светом. Освещенная сторона Луны всегда указывает в сторону Солнца, даже если оно скрыто за горизонтом. С изменением взаимного расположения Земли, Луны и Солнца терминатор (граница между освещенной и неосвещенной частями диска Луны) перемещается, что и вызывает изменение очертаний видимой части Луны (рис. 2.7, а).



Наблюдаемая с Земли освещенная часть лунного диска называется **фазой Луны**.

Луна проходит следующие фазы (рис. 2.7, б):

1) новолуние — состояние, когда Луна не видна;



**Рис. 2.7**

Положение Луны относительно Земли (а) и видимость лунного диска земному наблюдателю во время смены фаз 1–8 (б).

2) молодая луна — первое после новолуния появление Луны на небе в виде узкого серпа;

3) первая четверть — состояние, когда освещена половина диска Луны;

4) прибывающая Луна;

5) полнолуние — состояние, когда освещен весь диск Луны;

6) убывающая Луна;

7) последняя четверть — состояние, когда снова освещена другая половина диска Луны;

8) старая Луна.

Полный цикл смены лунных фаз составляет примерно 29,5 сут. и называется **синодическим месяцем**.

Полный оборот вокруг Земли Луна совершает за 27,3 сут., этот интервал времени называется **сидерическим месяцем**. За это же время Луна делает оборот вокруг своей оси, поэтому к Земле всегда обращено одно и то же полушарие Луны.

**Солнечные и лунные затмения.** При затмениях одно небесное тело заслоняет свет от другого небесного тела.

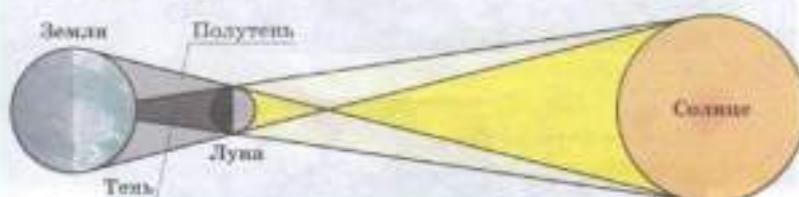


**Солнечное затмение** — астрономическое явление, которое заключается в том, что Луна полностью или частично закрывает (затмевает) Солнце от наблюдателя на Земле.

Солнечное затмение возможно только в новолуние, когда сторона Луны, обращенная к Земле, не освещена, и сама Луна не видна (рис. 2.8).

Тень Луны на земной поверхности не превышает в диаметре 270 км, поэтому **полное солнечное затмение** наблюдается только в узкой полосе на пути тени. Если наблюдатель находится в полосе тени, он видит полное солнечное затмение, при котором Луна полностью скрывает Солнце, небо темнеет, и на нем можно наблюдать планеты и яркие звезды. Вокруг скрытого Луной солнечного диска можно увидеть солнечную корону, которая при обычном ярком

**Рис. 2.8**  
Схема полного  
солнечного затмения



свете Солнца не видна. При наблюдении затмения неподвижным наземным наблюдателем полная фаза длится не более нескольких минут. Минимальная скорость движения лунной тени по земной поверхности составляет чуть более 1 км/с. Во время полного солнечного затмения космонавты, находящиеся на орбите, могут наблюдать на поверхности Земли бегущую тень от Луны.

Наблюдатели, находящиеся вблизи полосы полного затмения, могут видеть его как *частное солнечное затмение*. При частном затмении Луна проходит по диску Солнца не точно по центру, скрывая только его часть. При этом небо темнеет гораздо меньше, чем при полном затмении, звезды не появляются. Частное затмение может наблюдаться на расстоянии порядка 2 тыс. км от зоны полного затмения.

Помимо полных и частных солнечных затмений бывают *кольцеобразные затмения*. Кольцеобразное затмение происходит, когда в момент затмения Луна находится на большем удалении от Земли, чем во время полного затмения, и конус тени проходит над земной поверхностью, не достигая ее. Визуально при кольцеобразном затмении Луна проходит по диску Солнца, но оказывается меньше Солнца в диаметре, и не может скрыть его полностью. В максимальной фазе затмения Солнце закрывается Луной, но вокруг Луны видно яркое кольцо незакрытой части солнечного диска. Небо при кольцеобразном затмении остается светлым, звезды не появляются, наблюдать корону Солнца невозможно.



**Солнце примерно в 400 раз больше по своему размеру, чем Луна, но по удивительному стечению обстоятельств Луна находится в 400 раз ближе к Земле, чем Солнце. Именно поэтому их видимые диаметры совпадают, и мы можем наблюдать солнечные затмения.**

За год на Земле может происходить от 2 до 5 солнечных затмений, но в одном месте полные солнечные затмения повторяются не чаще 200... 300 лет. Последнее полное солнечное затмение можно было наблюдать в Москве 19 августа 1887 г. Следующее полное солнечное затмение ожидается в Москве лишь 16 октября 2126 г.



**Лунное затмение — затмение, которое наступает, когда Луна входит в конус тени, отбрасываемой Землей (рис. 2.9).**



Рис. 2.9

Схема полного лунного затмения

Лунное затмение может наблюдаться во время полнолуний на всем полушарии Земли, обращенном в этот момент к Луне (там, где на момент затмения Луна находится над горизонтом). Вид затемненной Луны с любой точки Земли, где она вообще видна, практически одинаков — в этом состоит коренное отличие лунных затмений от солнечных, которые видны лишь на ограниченной территории. Максимальная, теоретически возможная продолжительность полной фазы лунного затмения составляет 108 мин. Во время затмения Луна не исчезает полностью, а становится темно-красной. Этот факт объясняется тем, что Луна даже в фазе полного затмения продолжает освещаться. Солнечные лучи, проходящие по касательной к земной поверхности, рассеиваются в атмосфере Земли и за счет этого рассеяния частично достигают Луны. Поскольку земная атмосфера наиболее прозрачна для лучей красно-оранжевой части спектра, именно эти лучи в большей мере достигают поверхности Луны при затмении, что и объясняет окраску лунного диска. Наблюдатель, находящийся в момент полного или частного теневого лунного затмения на затемненной части Луны, видит полное затмение Солнца Землей.

За год на Земле может наблюдаться до трех лунных затмений. Удивительно, как давно люди научились предсказывать наступление затмений. Еще жрецы Древнего Вавилона заметили, что затмения Луны и Солнца приблизительно повторяются в прежнем порядке — через 18 лет и 11 дней. Этот период времени получил название — *сарос*.

**Приливы и отливы океана.** Подобные природные явления наблюдали и пытались объяснить еще древние философы. И. Кеплер связывал эти явления с «дыханием Земли».



**Прилив и отлив** — периодические вертикальные колебания уровня океана или моря.

В настоящее время приливы и отливы океана объясняются действием гравитационного притяжения водных масс к Луне и (в меньшей степени) к Солнцу. На поверх-



Бозниковете притоков и отливов

Рис. 2.10

ности океана, обращенной к Луне, образуется водяной бугор, поскольку Земля вращается вокруг своей оси, то он будет перемещаться вслед за движением Луны. За каждые 24 ч 52 мин в одном месте бывает два прилива и два отлива (рис. 2.10). Солнце, как и Луна, также вызывает приливы, но благодаря большой удаленности солнечные приливы в 2,5 раза меньше лунных. Во время полнолуний и новолуний, когда Солнце, Земля и Луна находятся на одной линии, лунные и солнечные приливы складываются и достигают самой большой величины. Когда Луна находится в первой или последней четверти, во время лунного прилива будет солнечный отлив. Действие Солнца уменьшает действие Луны, и приливы в это время становятся существенно меньше. Приливы и отливы происходят не только в океане, но также в атмосфере и земной коре. Поднятие земной коры незначительно, его определяют с помощью специальных приборов.

**Резюме.** Земли и Луна образовались почти в одно время — около 4,5 млрд лет назад. Луна — единственный спутник Земли, светящийся на небе благодаря отраженному солнечному свету. Из-за различных конфигураций Солнца, Земли и Луны мы можем наблюдать разные лунные фазы, солнечные и лунные затмения, а также приливы и отливы океана.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что является причиной смены времен года на Земле?
2. С какой скоростью движется Земля вокруг Солнца?
3. Каким образом могла образоваться Луна?
4. Что называют фазами Луны?

5. Если лунный серп похож на букву «С», то в какой фазе находится Луна, в растущей или убывающей?
6. Что такое терминатор?
7. Перечислите фазы Луны.
8. Через какое время повторяется смена лунных фаз?
9. Почему Луна всегда обращена к Земле одной стороной?
10. В чем причина солнечных и лунных затмений?
11. Как давно люди научились предсказывать солнечные и лунные затмения?
12. В чем причина приливов и отливов океана?
13. Как вы думаете, почему солнечные затмения не повторяются в каждое новолуние, а лунные затмения — каждое полнолуние?

#### **ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Дайте характеристику лунного затмения, заполнив таблицу.

<b>Шракётры характеристики</b>	<b>Лунное затмение</b>
<b>Графическое изображение процесса затмения</b>	
<b>Астрономические условия наступления</b>	
<b>Вид затмения</b>	
<b>Максимальная продолжительность</b>	
<b>Средняя частота наступления в течение года</b>	
<b>Частота наблюдения на определенной территории</b>	

#### **Темы докладов**

1. Образование Луны.
2. Солнечные и лунные затмения.
3. Приливы и отливы.

## 2.4. Природа Луны

**Физические условия на Луне.** *Луна* — естественный спутник Земли. Она является вторым по яркости объектом на земном небосводе после Солнца и пятым по величи-

не естественным спутником планеты Солнечной системы. Луна представляет собой единственный астрономический объект, на котором побывал человек. Среднее расстояние между центрами Земли и Луны — 384 467 км (примерно 30 диаметров Земли). Сила тяжести на Луне в 6 раз меньше силы тяжести на Земле. Луна не имеет магнитного поля, подобного земному.

Для наблюдателя на Луне видимый диск Земли примерно в 3,5 раза больше солнечного диска. Ввиду практического отсутствия атмосферы небо на Луне всегда черное, с хорошо видимыми звездами, даже когда Солнце находится над горизонтом. На небе Луны видны те же самые созвездия, что и на небе Земли. Из-за отсутствия атмосферы яркие звезды и планеты видны на Луне и днем. На протяжении лунного дня, длящегося 14,8 земных суток, поверхность Луны сильно нагревается, а затем охлаждается в ночное время. Отсутствие атмосферы приводит к высокому перепаду температур на поверхности Луны от  $-173^{\circ}\text{C}$  ночью до  $127^{\circ}\text{C}$  днем, при этом температура пород, залегающих на глубине 1 м, постоянна и равна  $35^{\circ}\text{C}$ .

На поверхности Луны нет воды. Однако в конце 1990-х гг. в результате полетов автоматической межпланетной станции «Клементина» было сделано предположение о том, что под поверхностным слоем пород некоторых кратеров существуют немалые запасы льда.



Большую часть времени мы видим Луну, окрашенную в пепельно-серый цвет, но известны случаи, когда на небе появлялась Луна голубого цвета. Оказалось, что во время обширных пожаров или извержений вулкана крупные по сравнению с молекулами воздуха частицы пепла рассеивают световые волны, по своей длине соответствующие синему цвету и его оттенкам. Например, в 1950 г. в Канаде наблюдалась голубая Луна из-за пожара на торфяниках.

Поверхность Луны. На Луне можно выделить три основных типа образований:

- 1) моря — обширные, темные и довольно плоские участки поверхности, покрытые базальтовой лавой;
- 2) материка — яркие приподнятые области, заполненные множеством больших и малых круглых кратеров, часто перекрывающихся;
- 3) горные цепи, такие как Апеннины, и небольшие горные системы, подобные той, что окружают кратер Коперник.

Несмотря на то что в лунных морях нет ни капли воды, в науке сохранилась прежняя система наименований, предложенная еще в XVII в. На обращенной к Земле стороне Луны материк занимают около 70%, а моря — 30% территории видимого с Земли полушария Луны (рис. 2.11).

Характерная особенность лунного рельефа — кольцевые структуры (кратеры). Луна вся покрыта кратерами разного размера — от микроскопических до сотен километров в диаметре. Только на видимой стороне Луны кратеров диаметром более 1 км — примерно 300 тыс. Среди них есть такие, диаметры которых превышают 200 км. Большинство крупных лунных кратеров имеют ровное дно, в центре которого находится возвышенность.

Многие лунные моря окаймлены протяженными горными хребтами. Хребты получили названия земных горных цепей (Кавказ, Альпы, Пиренеи и др.).

В полнолуние в небольшой телескоп хорошо видны Океан Вурь, Море Дождей, Море Ясности, а также кратеры (Тихо, Коперник, Кеплер), от которых расходятся протяженные лучевые системы.

Луна сейчас обращена к Земле одной стороной. Так было не всегда. Миллиарды лет назад Луна была ближе к Земле, чем сейчас, а периоды вращения Земли и обращения вокруг нее Луны составляли лишь несколько часов. Долгое время ученые не могли получить сведения об обратной стороне Луны. Это стало возможным лишь с появлением космических аппаратов. Сейчас уже созданы очень подробные карты обеих полушарий спутника. В отличие от продолжающихся несколько столетий телескопических исследований видимой стороны Луны исследование обратной ее стороны началось 7 октября 1959 г., когда впервые в истории науки обратная сторона Луны была сфотографирована автоматической станцией «Луна-3». Примерно через 6 лет (июль 1965 г.) другая советская автоматическая межпланетная станция «Зонд-3», выведенная на гелиоцентрическую орбиту, передала новые фотографии. При этом удалось сфотографировать почти все области обратной стороны Луны, которые не попали в поле зрения фототелевизионных устройств «Луны-3». Полученные снимки позволили составить карты и атласы обратной стороны Луны, лунные глобусы и полные карты, охватывающие почти всю поверхность Луны.



Рис. 2.11

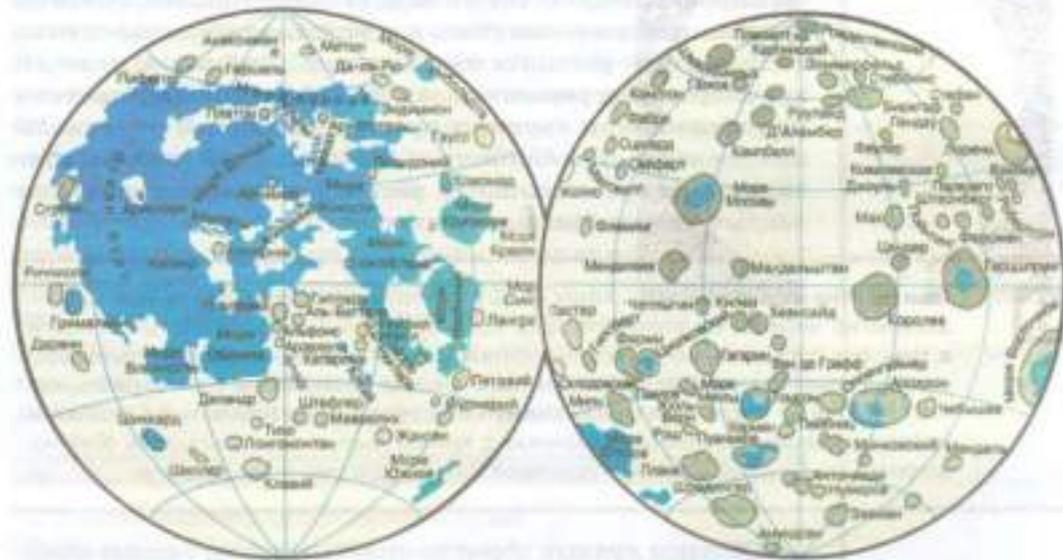
Видимая сторона  
Луны

На невидимом с Земли полушарии Луны преобладают материки (рис. 2.12). Средний диаметр крупного моря — Моря Москвы — достигает 460 км. Много на обратной стороне Луны и кратеров, которым присвоены имена выдающихся деятелей науки: Ломоносов, Джордано Бруно, Циолковский, Жюль-Кюри и др. Нередко кратеры образуют длинные цепочки, тянущиеся на сотни километров.

Большинство кратеров образовалось вследствие ударов по поверхности Луны метеоритов и ядер комет на раннем этапе ее истории. Более крупные первичные кратеры воз-

Карта Луны

Рис. 2.12



никли от прямого попадания космических тел, а множество вторичных кратеров образовалось после падения обломков, выброшенных первыми взрывами. Вторичные кратеры сконцентрированы вокруг первичных и часто расположены парами или имеют вытянутую форму. Некоторые кратеры могут быть результатом вулканической деятельности. Ударные кратеры на Земле сильно напоминают лунные. Но земные кратеры разрушает эрозия, а на Луне при отсутствии воздуха, ветра и дождей — главных причин эрозии — сохраняются очень старые образования.

**Лунные породы.** Благодаря мягким посадкам автоматических станций на Луну, а затем и полетам на Луну американских астронавтов стали известны механические свойства лунного грунта и его химический состав. Первыми, кто побывал на Луне, стали американцы Нейл Армстронг и Эдвин

Олдрин. Это произошло 21 июля 1969 г. Советские ученые для дальнейшего изучения Луны предпочли использовать автоматические аппараты — «Луноход-1», «Луноход-2». Американские корабли «Аполлон» и автоматические советские станции доставили на Землю более 400 кг образцов лунного вещества.

Поверхность Луны покрыта реголитом — смесью тонкой пыли и скалистых обломков, образующихся в результате столкновений метеоритов с лунной поверхностью. Ударно-взрывные процессы, сопровождающие метеоритную бомбардировку, способствуют взрыхлению и перемешиванию грунта, одновременно спекая и уплотняя частицы грунта. Толщина слоя реголита составляет от долей метра до десятков метров. Под реголитом лежит слой пород, выброшенных при образовании крупных кратеров толщиной от нескольких десятков до сотен метров. Еще ниже, до глубины примерно 1 км, располагаются растрескавшиеся от многочисленных ударов базальтовые породы.



Тени на Луне гораздо темнее земных из-за отсутствия атмосферы. Все лунные тени — абсолютно черные. Во время посадки на Луну, как только астронавты попадали в тень, они больше не могли видеть собственные ноги, несмотря на ярко пылающий в небе солнечный диск. Астронавтам было сложно обслуживать свой корабль, потому что они не могли видеть, как движутся их руки в тени. Кроме теней возникли многочисленные проблемы, связанные с лунной пылью: она покрывала ботинки астронавтов почти полностью, проникала внутрь кораблей и скафандров.

Образцы лунных пород внешне похожи на земные изверженные базальты. В состав их входят хорошо известные на Земле химические элементы (Si, Al, Fe, Ca, Mg и др.). Но в лунных породах больше, чем в земных, содержится тугоплавких элементов (Ti, Zr, Sr и др.) и меньше — легкоплавких (Rb, K, Na и др.). Химический состав различных участков поверхности Луны неодинаков.

Лунные породы относятся к очень древним — их возраст составляет около 4,46 млрд лет, причем самыми молодыми оказались образцы, доставленные из морских районов. Моря покрыты вулканическими породами, образовавшимися в результате лавовых излияний, вызванных ударами о поверхность Луны небольших астероидов около 4 млрд лет назад. Когда-то лунные моря были настоящими морями, только не с водой, а с расплавленной лавой.

На Луне давно завершилась эпоха активного вулканизма. С течением времени уменьшалась и интенсивность ме-

теоритной бомбардировки лунной поверхности. Благодаря этому на протяжении последних 2... 3 млрд лет вид Луны практически не изменялся. Еще и сейчас происходят луно-трясения (напоминающие слабые землетрясения). Они зарегистрированы сейсмографами, установленными на Луне астронавтами. Данные этих приборов позволили исследовать внутреннее строение Луны, выделив кору (толщиной от 60 до 100 км на обратной стороне), мантию (до 1 000 км) и ядро (его радиус около 750 км).

Резюме. Луна — естественный спутник Земли, скалистое шаровидное тело без атмосферы и жизни. Космический корабль может добраться до Луны менее чем за 3 сут. Первый достигший Луны аппарат «Луна-2» был запущен 12 сентября 1959 г. в СССР. Первые люди ступили на Луну 20 июля 1969 г., это были астронавты космического корабля «Аполлон-11», запущенного в США. Кратеры — одна из характерных особенностей Луны. Большинство кратеров образовалось вследствие ударов по поверхности Луны метеоритов и ядер комет на раннем этапе ее истории. Более крупные первичные кратеры возникли от прямого попадания космических тел, а множество вторичных кратеров образовалось после падения обломков, выброшенных первыми взрывами. Анализ лунных минералов позволил определить химический состав лунных пород и их возраст.

1. Каковы физические особенности Луны?
2. Почему на Луне и днем видны звезды?
3. Каковы особенности рельефа Луны?
4. Что показал анализ лунных пород?
5. Чем условия на Луне отличаются от земных?
6. Для чего могли бы пригодиться обитаемые лунные базы?

#### **задания для САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Используя данные о расстояниях от Земли до Луны и от этих небесных тел до Солнца, графически изобразите фрагмент траекторий движения Луны и Земли вокруг Солнца.
2. Особое значение для ориентирования на Луне, как и на Земле, имеет звездное небо. Но на Земле для использования данного способа необходимо учитывать наличие газовой оболочки. На Луне же такой проблемы нет. Означает ли этот факт, что на Луне существуют идеальные условия для астрономических наблюдений невооруженным глазом как в условиях лунного дня, так и в условиях лунной ночи? Обоснуйте свой ответ.

## ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Луна как важнейший энергетический источник.
2. Проекты строительства долговременных научно-исследовательских станций на Луне.
3. Реголит: химическая и физическая характеристики.

## 2.5. Планеты земной группы

Общая характеристика планет земной группы. Четыре первые планеты от Солнца являются **планетами земной группы**: Меркурий, Венера, Земля и Марс (рис. 2.13, табл. 2.3).

Рис. 2.13

Планеты земной  
группы

Таблица 2.3. Сравнительная характеристика планет земной группы

Планета	Диаметр относительно диаметра Земли	Масса относительно массы Земли	Среднее расстояние от Солнца, а.е. (по сравнению со средним расстоянием от Солнца до Земли)	Период обращения вокруг Солнца, земных лет	Период обращения вокруг своей оси, сут.	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Количество спутников
Меркурий	0,382	0,055	0,38	0,241	58,6	5 427	0
Венера	0,949	0,815	0,72	0,615	243	5 243	0
Земля	1	1	1	1	1	5 515	1
Марс	0,53	0,107	1,52	1,88	1,03	3 933	2

Планеты земной группы обладают высокой плотностью и состоят преимущественно из кислорода, кремния, железа, магния, алюминия и других тяжелых элементов (в отличие от газовых планет и каменно-ледяных карликовых планет).

Все планеты земной группы имеют следующее строение: в центре находится ядро из железа с примесью никеля, которое покрывают мантия и кора.

Две из планет земной группы (Земля и Марс) имеют спутники. Ни одна из планет земной группы в отличие от всех планет-гигантов не имеет колец.

**Меркурий.** *Меркурий* — самая маленькая планета Солнечной системы. Его магнитное поле в 100 раз слабее земного, но при этом достаточно сильное, чтобы влиять на движение солнечного ветра вокруг планеты, создавая магнитосферу. На Меркурии нет смены времен года. Это происходит из-за того, что ось вращения планеты почти перпендикулярна плоскости орбиты.

Дневная сторона Меркурия прогревается до  $427^{\circ}\text{C}$ , а на ночной — температура падает до  $-173^{\circ}\text{C}$ . Планета практически лишена атмосферного слоя, поэтому не способна обеспечивать равномерное распределение нагрева. Поверхность планеты быстро нагревается и остывает, но уже на глубине 1 м суточные колебания перестают ощущаться, а температура становится стабильной, равной приблизительно  $75^{\circ}\text{C}$ .

Поверхность Меркурия во многом напоминает лунную (рис. 2.14) — на ней много кратеров. От молодых кратеров, как и на Луне, в разные стороны тинутся светлые лучи.

Кратеры на Меркурии варьируют от маленьких впадин, имеющих форму чаши, до многокольцевых ударных кратеров, имеющих в поперечнике сотни километров. Поверхность Меркурия однородна. Этим Меркурий не схож с Луной или Марсом, у которых одно полушарие резко отличается от другого. Все его кратеры именованы в честь художников, писателей и музыкантов. Ударные формирования, превышающие в диаметре 250 км, называют бассейнами, крупнейший из них — Равнина Жары простирается на 1550 км. Важным различием гористых ландшафтов Меркурия и Луны является присутствие на Меркурии многочисленных зубчатых откосов длиной сотни километров — уступов (эскарпов). Изучение



Рис. 2.14

Меркурий

вх структуры показало\* что они образовались при сжатии, сопровождавшем остывание планеты, в результате которого площадь поверхности Меркурия уменьшилась на 1 %.

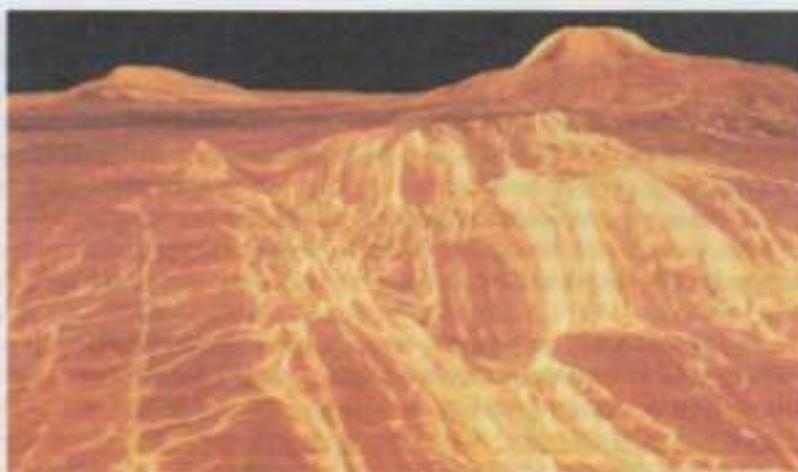
Большая часть информации о Меркурии была получена двумя космическими аппаратами «Маринер-10» и «Мессенджер» (НАСА), достигшими планеты первый раз в 1974—1975 гг. и второй раз в 2011—2015 гг.

Венера. **Венера** — вторая от Солнца планета, которая является самой горячей планетой Солнечной системы. Это — третий по яркости объект на небе Земли, после Солнца и Луны. Венера не имеет магнитного поля. Ее вращение вокруг своей оси — обратное, т.е. происходит в направлении, противоположном движению планеты вокруг Солнца. Давление атмосферы на Венере в 90 раз больше, чем на Земле. Атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа (96,5 %) и азота (3,5 %). Содержание других газов очень мало: диоксида серы — 0,018 %, аргона — 0,007 %, водяного пара — 0,003 %, остальных составляющих — еще меньше. Облака на Венере состоят из капелек серной и соляной кислоты. Углекислый газовый океан и плотные облака создают сильный парниковый эффект у поверхности планеты. Они делают поверхность Венеры самой горячей в Солнечной системе, хотя планета расположена вдвое дальше от Солнца и получает на единицу площади вчетверо меньше энергии, чем Меркурий. Температура поверхности достигает 480 К. Вода в жидком состоянии при такой температуре находиться не может.



Наличие атмосферы у Венеры было открыто в 1761 г., когда планета проходила между Землей и Солнцем. М.В.Ломоносов наблюдал это событие в телескоп и был единственным, кто не только увидел свечение (нимб) вокруг Венеры в моменты входа и выхода планеты на фоне солнечного диска, но и понял, что это свечение вызвано ее плотной атмосферой, которая преломляет солнечные лучи и создает ободок вокруг ее темного диска. Им было высказано предположение о возможности жизни на Венере и других планетах.

Из-за плотных облаков поверхность Венеры недоступна оптическим наблюдениям, поэтому ее изучение в основном проводилось с помощью радиолокации. Большую часть площади поверхности Венеры занимают холмистые равнины (65%). Среди них возвышаются обширные плоскогорья — Земля Иштар и Земля Афродиты. Остальные 35% поверхности планеты распределены между низменностями (27%) и возвышенностями (8%) (рис. 2.15). Ударные кратеры —



редкий элемент венерианского пейзажа: на всей планете их лишь около 1000. Детали рельефа на Венере называют в честь богинь, женских мифологических персонажей и знаменитых женщин.

Венера довольно интенсивно исследовалась с помощью космических аппаратов: было отправлено около 30 миссий, начиная с 1961 г. (первым достигла Венеры советская автоматическая межпланетная станция (АМС) «Венера-1»). Впрочем, условия на поверхности Венеры таковы, что ни один из космических аппаратов не проработал на планете более 2 ч (рис. 2.16, а). Рекордсменом был советский спускаемый аппарат «Венера-13», который работал в течение 127 мин (рис. 2.16, б).



а



б

## СОЛНечНАЯ СИСТЕМА

Компьютерная обработка радиолокационного изображения области Эйстис: потоки лавы разлились на сотни километров вниз по обрушенным склонам вулканов, на горизонте видны горы Сив (высота — 2 км) и Фула (3 км)

Рис. 2.15

Рис. 2.16

Место посадки а — АМС «Венера-9» (получены первые черно-белые изображения поверхности Венеры); б — АМС «Венера-13» (получены первые цветные изображения поверхности Венеры)

**Марс.** *Mars* — четвертая от Солнца и самая подробно изученная планета в Солнечной системе. У Марса есть два небольших естественных спутника: Фобос и Деймос (рис. 2.17). Размеры Фобоса —  $26,8 \times 22,4 \times 18,4$  км, Деймоса —  $15,0 \times 12,2 \times 10,4$  км. При вращении вокруг Марса оба спутника обращены к планете одной стороной.

У Марса было зафиксировано слабое магнитное поле — в 500 раз меньше земного. Планету окружает разреженная атмосфера, состоящая в основном из углекислого газа (углекислый газ — 95 %, азот — 2 %, водяной пар — 0,01 %, кислород — 0,3 %). Давление у поверхности в 160 раз меньше земного, т. е. плотность атмосферы и ее давление у поверхности такие, как в атмосфере Земли на высоте 30 км.

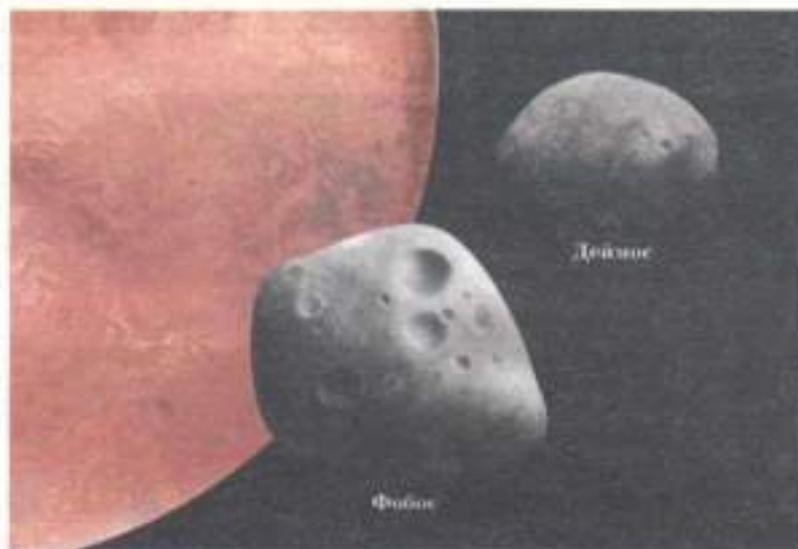


Египтяне называли Марс — Гор Красный, в Вавилоне он был известен как Звезда Смерти, евреи же именовали планету «Тот, кто краснеет». Причина этих названий — видимый кровавый цвет этого небесного тела.

Марс получает в 2,3 раза меньше тепла от Солнца, чем Земля, так как находится в 1,52 раза дальше от Солнца, чем наша планета. Средняя температура —  $60^\circ\text{C}$ . При наиболее благоприятных условиях летом на дневной половине планеты воздух прогревается до  $20^\circ\text{C}$  (а на экваторе — до  $27^\circ\text{C}$ ). Но зимней ночью температура может достигать даже на экваторе от  $-80$  до  $-125^\circ\text{C}$ , а на полюсах ночная температура

Рис. 2.17

Естественные  
спутники Марса



может падать до  $-143^{\circ}\text{C}$ . Разреженная атмосфера не в состоянии хранить тепло, полученное днем поверхностью планеты, и в ночное время оно быстро излучается в мировое пространство. Из-за наклона оси вращения к плоскости орбиты на Марсе есть смена времен года. Каждый сезон в 2 раза продолжительнее земного.

В полдень небо Марса желто-оранжевое. Причина таких отличий от цветовой гаммы земного неба — свойства тонкой, разреженной, содержащей взвешенную пыль атмосферы Марса.

Испарение углекислого газа в полярных шапках приводит к возникновению ветров, скорость которых составляет 10...40 м/с, а иногда — до 100 м/с. Ветер поднимает с поверхности большое количество пыли, что приводит к пылевым бурям. Сильные пылевые бури практически полностью скрывают поверхность планеты на несколько месяцев.

Основная составляющая почвы — кремнезем (20...25%), содержащий примесь гидратов оксидов железа (до 15%), придающих почве красноватый цвет. Имеются значительные примеси соединений серы, кальция, алюминия, магния, натрия. Под поверхностью Марса обнаружены обширные скопления льда с примесью твердой углекислоты.

Особенностями поверхностного рельефа Марса можно считать ударные кратеры, наподобие лунных, а также вулканы, долины, пустыни и полярные ледниковые шапки, наподобие земных (рис. 2.18). Полушария Марса довольно

**Рис. 2.18**

Поверхность Марса —  
схожанная морозом  
каменистая пустыня

## СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

сильно различаются по характеру поверхности. В южном полушарии поверхность возвышается на 1... 2 км над средним уровнем и густо усеяна кратерами. Эта часть Марса напоминает лунные материки. На севере большая часть поверхности находится ниже среднего уровня, здесь мало кратеров, и основную часть занимают относительно гладкие равнины, вероятно, образовавшиеся в результате затопления лавой и эрозии.

К уникальным деталям рельефа Марса можно отнести долины Маринер и гору Олимп. Долины Маринер — гигантская система каньонов на Марсе; имеет длину 4 500 км (четверть окружности планеты), ширину — 200 км, глубину — до 11 км и является самым крупным известным каньоном. Гора Олимп — потухший вулкан на Марсе, высочайшая гора на планетах Солнечной системы. Высота Олимпа — 26 км от основания, диаметр — около 540 км. Детали рельефа на Марсе именуют в честь исследователей Марса, авторов научной фантастики о Марсе, по названиям Марса на разных языках и т. д.

В настоящее время из-за низкого давления вода в жидком состоянии на поверхности Марса присутствовать не может, но найденные следы высохших русел рек свидетельствуют, что в прошлом вода покрывала значительную часть поверхности Марса. Предполагают, что в то время Марс окружала более плотная атмосфера и было теплее. Несмотря на это, признаков жизни на Марсе не обнаружено. Начиная с 1960 г., к Марсу были направлены 46 миссий (в основном СССР и США, из них 23 удачные), сейчас на Марсе продолжают свою работу искусственные спутники Марса и два марсохода.



У человека, попавшего на Марс без специального скафандра, при очень низком давлении произошла бы мгновенная смерть, так как газы, растворенные в крови и тканях организма (азот, гелий, водород), начали бы выделяться в виде пузырьков в кровь и разрушать стенки клеток и кровеносных сосудов, блокируя кровоток. Другим опасным фактором является сильная радиация, смертельная для человека, поскольку на планете отсутствует озоновый слой.

Резюме. Планетами земной группы являются Меркурий, Венера, Земля и Марс. Их общие особенности — небольшие размеры, наличие твердой поверхности, высокая плотность, схожее внутреннее строение. Все планеты, кроме Меркурия, обладают атмосферами. На поверхности планет и их спутников наблюдаются многочисленные древние кратеры. Авто-

матические станции, исследовавшие планеты, позволили узнать о физических условиях на поверхности планет, составить карты этой поверхности. Разумной жизни на планетах, кроме Земли, обнаружено не было.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. В чем сходство и различие физических характеристик планет земной группы?
2. Какая планета является самой маленькой в Солнечной системе?
3. Какая планета самая горячая?
4. Какие планеты земной группы имеют естественные спутники?
5. По какой причине на Марсе существует смена времен года?
6. Какая планета наиболее перспективна для колонизации? Почему?

**ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Охарактеризуйте физико-химические свойства каждой из планет земной группы, заполнив таблицу.

Планета	Средняя температура в различных частях планеты	Средняя относительная влажность воздуха	Плотность атмосферы (при расчете)

2. Используя данные, приведенные в таблице, проведите теоретические расчеты предельной высоты гор на Земле и Марсе и сравните их с практическими значениями.

Планета	Радиус, км	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Масса, кг	Радиус, км
Земля	10 <sup>6</sup>	2 700	6 · 10 <sup>24</sup>	6 400
Марс	10 <sup>6</sup>	2 700	0,65 · 10 <sup>24</sup>	3 400

**ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. Самые высокие горы планет земной группы.
2. Фазы Венеры и Меркурия
3. Возможна ли жизнь на Марсе?

## 2.6. Планеты-гиганты

**Общая характеристика планет-гигантов.** *Планеты-гиганты* — это четыре внешние планеты, расположенные за пределами пояса астероидов: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун (рис. 2.19, табл. 2.4).

В отличие от каменных планет земной группы планеты-гиганты являются газовыми планетами, обладают значительно большими размерами и массой, более низкой средней плотностью (близкой к средней солнечной, 1,4 г/см<sup>3</sup>), быстрым вращением, а также кольцами и большим количеством спутников.

Все планеты-гиганты имеют мощные протяженные атмосферы, состоящие в основном из молекулярного водорода

Рис. 2.19

Планеты-гиганты



Таблица 2.4. Основные сведения о планетах

Планета	Средний радиус относительно радиуса Земли	Масса относительно массы Земли	Среднее расстояние от Солнца, а.е.	Средний период обращения, земных лет	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup>	Число спутников
Юпитер	11,2	318	5,20	11,86	1,3	25,8	Не менее 67
Сатурн	9,41	95	9,54	29,46	0,7	11,3	Не менее 47
Уран	3,98	14,6	19,22	84,01	1,4	9,0	Не менее 27
Нептун	3,81	17,2	30,06	164,79	1,6	11,6	Не менее 13

и гелия (от 6 до 15 % по объему), также присутствуют метан, аммиак, вода и еще более сложные соединения. Газы их атмосфер уплотняются к центру, превращаясь в жидкость, а затем — в твердое ядро, состоящее из металлического водорода (при высоком давлении и температуре водород приобретает свойства металлов).



В 1994 г. весь мир наблюдал, как комета Шумейкера—Леви врезалась в Юпитер, оставив после себя след размером с Землю, который сохранялся в течение года. Тогда астрономы считали, что Юпитер защищает Землю от комет и астероидов. Благодаря мощнейшему гравитационному полю Юпитера, как считалось ранее, эта планета притягивает к себе большинство космических тел, прежде чем они могут достигнуть Земли. В настоящее время результаты исследования утверждают обратное. В Лаборатории реактивного движения НАСА в Пасадене было смоделировано движение космических тел в Солнечной системе. Оказалось, что Юпитер и Сатурн, скорее всего, наоборот, забрасывают космический мусор во внутреннюю часть Солнечной системы, где он может столкнуться с Землей.

Произведенные расчеты показывают, что у Урана и Нептуна над ядром должна находиться мантия из смеси водяного и аммиачно-метанового льда. Поэтому эти планеты иногда называют ледяными гигантами, а Юпитер и Сатурн — газовыми гигантами.



С 1600-х гг. ведутся дебаты, как давно существуют кольца Сатурна и откуда они взялись. Согласно теории, у Сатурна когда-то было больше спутников, некоторые из них врезались друг в друга. Получившийся мусор превратился в кольца и 62 спутника. Были получены доказательства того, что кольца Сатурна сформировались гораздо позже самой планеты, а именно — 4 млрд лет назад. Помимо более отдаленных спутников, Титана и Япета, остальные крупные спутники Сатурна, по всей видимости, образовались в течение мелового периода Земли.

Из-за быстрого вращения планеты значительно сжаты на полюсах. Их экваториальный радиус значительно больше полярного. Скорость вращения экваториальных зон больше, чем полярных.

В атмосферах газовых планет дуют мощные ветры со скоростью до нескольких тысяч километров в час. Имеются постоянные атмосферные образования, представляющие собой гигантские бури. Например, Большое красное пятно (размером в несколько раз больше Земли) на Юпитере наблюдаются уже более 300 лет. Имеется Большое темное пятно на Нептуне, более мелкие пятна — на Сатурне. Вокруг планет обнаружены сильные магнитные поля.

На полюсах Юпитера и Сатурна наблюдались мощные полярные сияния. Удивительный факт: Юпитер, Сатурн и Нептун выделяют существенно больше энергии, чем получают от Солнца.

**Юпитер. *Jupiter*** — самая большая планета Солнечной системы. Масса Юпитера в 2,47 раза превышает суммарную массу всех остальных планет Солнечной системы, вместе взятых. Во время великих противостояний, ближайшее из которых состоится в 2022 г., Юпитер виден невооруженным глазом как один из самых ярких объектов на ночном небосклоне после Луны и Венеры. Четыре самых крупных спутника Юпитера хорошо видны даже в небольшой телескоп.

Характерной особенностью внешнего облика Юпитера являются его красно-коричневые полосы, связанные с интенсивными атмосферными процессами. Большое красное пятно — самая мощная буря в Солнечной системе. Красный цвет устойчивой гигантской бури Большое красное пятно представляет собой загадку. Одной из возможных причин такого окрашивания могут быть химические соединения, содержащие фосфор. Буря выглядит, как темно-красная сфера, окруженная желтыми, оранжевыми и белыми слоями.

Сила тяжести на поверхности Юпитера, за которую обычно принимают верхний слой облаков, более чем в 2,4 раза превосходит земную. Температура на уровне облачного слоя в атмосфере Юпитера составляет  $-140^{\circ}\text{C}$ . Юпитер имеет самое сильное магнитное поле из всех планет, которое на полюсах в 20 тыс. раз сильнее земного. Оно простирается на миллионы километров в космос, достигая при этом орбиты Сатурна.

Юпитер окружен большим количеством спутников, на сегодняшний момент открыто 69 спутников. Четыре самых крупных спутника — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто — были открыты еще в 1610 г. Галилео Галилеем (рис. 2.20). Все крупные спутники Юпитера вращаются синхронно и всегда обращены к Юпитеру одной и той же стороной вследствие влияния мощных приливных сил планеты-гиганта.

**Ио** — самый близкий к планете из четырех галилеевых спутников; является наиболее геологически активным телом Солнечной системы, на нем находится более 400 действующих вулканов. На большей части поверхности Ио простираются обширные равнины, покрытые замороженной серой или диоксидом серы.



СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Галилеевы спутники Юпитера

Рис. 2.20

Поверхность **Европы** покрыта слоем льда толщиной от 50 до 100 км и является одной из самых гладких в Солнечной системе; на ней очень мало кратеров, но много трещин, а подо льдом расположен океан. У спутника есть крайне разреженная атмосфера, состоящая в основном из кислорода.

**Ганимед** — единственный спутник в Солнечной системе, обладающий собственным магнитным полем. Он состоит из примерно равного количества силикатных пород и водяного льда. Предположительно, в его недрах на глубине около 200 км между слоями льда есть океан жидкой воды.

**Каллисто** — второй по размеру спутник Юпитера и третий по величине спутник в Солнечной системе после Ганимеда и Титана. Наиболее характерная особенность поверхности Каллисто — многокольцевые структуры («царки»), а также большое количество ударных кратеров различной формы. Спутник окружен чрезвычайно разреженной атмосферой, состоящей из углекислого газа и кислорода.



Если названия спутников Юпитера заканчиваются на «е» — Карме, Синопе, Ананке, Пасифе и др., это значит, что они обращаются вокруг планеты в обратном направлении (такое движение называется ретроградным) и, предположительно, образовались не одновременно с Юпитером, а были захвачены его гравитационным полем позднее.

За Юпитером наблюдают при помощи наземных и орбитальных телескопов. Кроме этого, начиная с 1970-х гг. к планете было отправлено восемь межпланетных аппаратов НАСА: «Пионер-10», «Пионер-11», «Вояджер-1», «Вояджер-2», «Галилео», «Кассини», «Новые горизонты» и «Юнона».

**Сатурн. Сатурн** — шестая планета от Солнца и вторая по размерам планета в Солнечной системе после Юпитера.



Рис. 2.21

Гигантский  
шестиугольник  
на Сатурне

Внешняя атмосфера планеты кажется из космоса спокойной и однородной, хотя иногда на ней появляются долговременные образования. Например, облака на северном полюсе Сатурна образуют гигантский шестиугольник и в течение 20 лет сохраняют свою структуру, несмотря на вращение (рис. 2.21). Подобное явление никогда не наблюдалось ни в одном другом месте Солнечной системы. Скорость ветра на Сатурне может достигать местами 1800 км/ч, что значительно больше, чем на Юпитере. Температура на уровне облачного слоя составляет  $-176^{\circ}\text{C}$ .

У Сатурна есть магнитное поле, занимающее промежуточное положение по напряженности между магнитным полем Земли и мощным полем Юпитера.

Сатурн обладает самой заметной системой колец, состоящей главным образом из частичек льда, тяжелых элементов и пыли (в меньшем количестве). Существует три основных кольца и четвертое — более тонкое. Все вместе они отражают больше света, чем диск самого Сатурна. Кольца не являются сплошным твердым телом, а состоят из миллиардов мельчайших частиц, находящихся на околопланетной орбите. Кольца расположены под углом приблизительно  $28^{\circ}$  к плоскости эклиптики. Поэтому с Земли в зависимости от взаимного расположения планет они выглядят по-разному: их можно увидеть и в виде колец, и с ребра. Кольца Сатурна очень тонкие. При диаметре около 250 тыс. км их толщина не достигает и километра.

Самый крупный спутник Сатурна — Титан, это второй по размерам спутник в Солнечной системе (после Ганимеда, спутника Юпитера). Титан превосходит по своим размерам Меркурий и обладает единственной среди спутников планет Солнечной системы плотной атмосферой (в 1,5 раза плотнее земной), состоящей из азота (98%) с примесью метана. На поверхность Титана 14 января 2005 г. произведена успешная посадка зонда «Гюйгенс». Снимки, сделанные в ходе спуска, показали сложный рельеф со следами действия жидкости. На снимках, полученных с поверхности, видны камни округлой формы (размером до 15 см), несущие следы воздействия жидкости (галька). «Гюйгенс» стал первым аппаратом, созданным человеком, находящимся

на поверхности спутника другой планеты нашей Солнечной системы.

Большую часть информации о Сатурне и его спутниках передали автоматические межпланетные станции: «Пионер-11», «Вояджер-1», «Вояджер-2», «Кассини-Гюйгенс».

Уран и Нептун. **Уран** и **Нептун** — седьмая и восьмая планеты Солнечной системы. Планеты находятся далеко от Земли и Солнца и невооруженным глазом наблюдать мы их не можем. Это чрезвычайно холодные миры, их температура в верхних слоях атмосферы близка к  $-220^{\circ}\text{C}$ . Масса и размер планет, состав атмосфер, внутреннее строение очень похожи.

Отличительной особенностью Урана является ориентация в пространстве — его ось вращения лежит как бы «на боку» относительно плоскости обращения этой планеты вокруг Солнца (ось вращения наклонена на  $98^{\circ}$  и лежит почти в плоскости его орбиты). Вследствие этого планета бывает обращена к Солнцу попеременно то северным полюсом, то южным, то экватором, то средними широтами. Поэтому движение Урана вокруг Солнца совершенно особенное: он катится вдоль своей орбиты, переворачиваясь с боку на бок. Возможно, это произошло из-за того, что уже сформировавшаяся планета Уран столкнулась с каким-то другим довольно крупным небесным телом, в результате чего ее ось вращения сильно отклонилась от первоначального направления.

У Урана атмосфера выглядит однородно, в то время как поверхность Нептуна охвачена быстро движущимися облаками и бурями. В атмосфере Нептуна бушуют самые сильные ветры среди планет Солнечной системы, по некоторым оценкам, их скорость может достигать  $2100\text{ км/ч}$ . Кольца вокруг Урана относительно большие и широкие (больше — только у Сатурна), а кольца Нептуна очень трудно увидеть даже в очень мощный телескоп.



Открытие Урана астрономом Уильямом (ершелем произошло в 1781 г. Изначально этот газовый гигант принимали за звезду, позже — за комету. Первым названием планеты было *Georg*, в честь Георга III, который правил в Англии во времена ее открытия.

Из 27 известных спутников Урана можно выделить пять самых крупных: Миранда, Ариэль, Умбриэль, Титания и Оберон. Наибольший из спутников, Титания, имеет радиус всего в  $788,9\text{ км}$ , что менее половины радиуса Луны.

## СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Спутниковая система Урана наименее массивна среди спутниковых систем газовых гигантов.

Крупнейший спутник Нептуна — Тритон. В отличие от всех остальных крупных спутников планет в Солнечной системе Тритон обладает ретроградной орбитой, т. е. движется противоположно вращению самого Нептуна. Возможно, он был захвачен гравитацией Нептуна, а не сформировался на месте. Тритон — один из немногих геологически активных спутников в Солнечной системе. На его поверхности обнаружены следы тектонической активности, замысловатый рельеф и многочисленные азотные фонтаны, бьющие ввысь на несколько километров.

Эти далекие миры только один раз посетил космический аппарат «Вояджер-2». Он пролетел мимо Урана в 1986 г., а затем направился к Нептуну, пройдя в нескольких тысячах километров над вершинами облаков.



По составу атмосферы и вещества самой планеты Нептун больше всего похож на Уран, но синюю окраску ему придает значительное содержание метана в атмосфере. Ученые предполагают, что на этой планете дуют самые быстрые ветры во всей Солнечной системе — до 2100 км/ч. Предположительная температура на поверхности  $-220^{\circ}\text{C}$ , а в недрах планеты —  $7\ 000\dots 7\ 100^{\circ}\text{C}$ . С Земли Нептун можно наблюдать только один раз за непунианский год: в день открытия — 26 сентября 1846 г., а затем в 2011 г., когда прошел ровно непунианский год, который составляет 164,79 земных лет.

Резюме. Планеты-гиганты находятся за поясом астероидов; обладают значительными размерами, большой массой, малой плотностью, быстрым вращением вокруг своей оси, протяженными атмосферами, состоящими из водорода и гелия с примесью аммиака, метана и других веществ. Все планеты-гиганты обладают большим количеством спутников и кольцами.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем сходство и различие физических характеристик планет-гигантов?
2. Какая планета является самой большой в Солнечной системе?
3. У какой планеты самое мощное магнитное поле? У какой планеты самая большая система колец?
4. Какая планета расположена дальше всех от Солнца?
5. В чем состоят основные трудности при колонизации планет-гигантов и их спутников?

**ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Используя астрофизические законы и закономерности, подтвердите или опровергните следующие утверждения:
  - спутники планет-гигантов могут иметь атмосферу;
  - основными компонентами атмосферы планет-гигантов являются углекислый газ и азот.
2. Составьте собственное описание воображаемого путешествия на любую планету-гигант.

**ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. Современные исследования планет-гигантов АМС.
2. Исследования Титана зондом «Гюйгенс».
3. Современные исследования спутников планет-гигантов АМС.

## 2.7. Карликовые планеты и малые тела Солнечной системы

**Классификация объектов Солнечной системы Международного астрономического союза.** В 2006 г. на XXVI Ассамблее Международного астрономического союза (МАС) была принята классификация объектов Солнечной системы, в том числе карликовых планет и малых тел.

**Карликовая планета** — это небесное тело, которое:

- обращается по орбите вокруг Солнца;
- имеет достаточную массу для того, чтобы под действием сил гравитации поддерживать близкую к сферической форму;
- не является спутником планеты;
- не может в отличие от планет расчистить район своей орбиты от других объектов.

**Малые тела Солнечной системы** — это объекты Солнечной системы, которые не являются ни планетами, ни карликовыми планетами, ни их спутниками. Орбиты подавляющего большинства малых тел Солнечной системы расположены в двух различных областях: поясе астероидов, находящемся между орбитами Марса и Юпитера, и поясе Койпера, располагающемся за Нептуном. Другие области Солнечной системы также содержат малые тела, но в гораздо меньшем количестве. Они включают в себя

околоземные астероиды, кентавры (группа астероидов, находящихся между орбитами Юпитера и Нептуна), кометы, объекты рассеянного диска (самого дальнего региона Солнечной системы — от пояса Койпера и далее). Наименьшие макроскопические тела, имеющие орбиты вокруг Солнца, называют метеороидами. Есть еще более мелкие объекты, такие как межпланетная пыль, частицы солнечного ветра и свободные атомы водорода.

Карликовые планеты. Международным астрономическим союзом официально признаны пять карликовых планет: крупнейший из астероидов Церера и находящиеся за орбитой Нептуна Плутон, Хаумеа, Макемаке, Эрида (табл. 2.5). В настоящее время есть еще несколько десятков кандидатов, так что возможно, список карликовых планет скоро пополнится.

Таблица 2.5. Сравнительная характеристика планет-карликов

Карликовая планета	Район Солнечной системы	Диаметр (диаметр), км	Масса, кг	Период обращения вокруг Солнца, земных лет	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Количество известных спутников
Церера	Пояс астероидов	900 × 891	$9,4 \cdot 10^{26}$	4,6	2161	0
Плутон	Пояс Койпера	2370 ± 20	$1,305 \cdot 10^{22}$	248	1880	5
Хаумеа	Пояс Койпера	1900 × 1518 × к 996	$4,2 \cdot 10^{21}$	281	2600	2
Макемаке	Пояс Койпера	1478 ± 34	$3 \cdot 10^{21}$	306	1700	1
Эрида	Рассеянный диск	2326 ± 12	$1,67 \cdot 10^{22}$	507	2520	1

**Церера** — самый крупный известный объект в поясе астероидов, располагающемся в пространстве между Марсом и Юпитером. Миссия АМС «Рассвет» (НАСА, 2007—2016 гг.) обнаружила, что верхний слой коры Цереры представляет собой глинистый материал с порами, заполненными льдом. На поверхности Цереры обнаружены ледники, оползни, крупные кратеры (рис. 2.22).

**Плутон** — крупнейшая известная карликовая планета Солнечной системы. Его поверхность сильно неоднородна.

Предполагают, что его недра на 50... 70% состоят из камня и на 50... 30% — из льда, в основном водяного. Плутон обладает очень разреженной атмосферой, состоящей из газов, испаряющихся с поверхности льда. Это — азот с примесью метана и угарного газа. Под действием жесткого излучения из них образуются более сложные соединения (например, этан, этилен и ацетилен), постепенно выпадающие на поверхность (рис. 2.23). У Плутона известно пять естественных спутников (Харон, Никта, Гидра, Кербер, Стикс), один из которых — Харон — намного больше остальных. Все они обращаются по почти круговым орбитам примерно в экваториальной плоскости Плутона в ту же сторону, что и он вокруг своей оси.

**Хаумеа** — самое быстровращающееся тело из всех изученных объектов Солнечной системы, имеющих диаметр более 100 км. Период вращения — менее 4 ч. Хаумеа обладает сильно вытянутой формой. У нее обнаружено два спутника и система колец.

**Эрида** — вторая по размеру карликовая планета после Плутона, имеет очень высокую отражательную способность, она почти белая. Вероятно, это объясняется наличием метанового снега на поверхности.

Предполагается, что поверхность **Макемаке** покрыта метановым, этановым и азотным льдами.

К сожалению, эти объекты находятся так далеко от Земли, что увидеть диски этих планет-карликов пока не представляется возможным.

**Астероиды.** **Астероид** — относительно небольшое небесное тело Солнечной системы размером более 30 м, движущееся по орбите вокруг Солнца. Астероиды значительно уступают по массе и размерам планетам, имеют неправильную форму, у них отсутствует атмосфера, хотя при этом могут быть спутники. В настоящий момент в Солнечной системе обнаружены сотни тысяч астероидов, ежегодно открывают десятки тысяч новых. Предполагается, что в Солнечной системе может находиться от 1,1 до 1,9 млн объектов, имеющих размер более 1 км.



Рис. 2.22

Карликовая планета  
Церера

Рис. 2.23

Карликовая планета  
Плутон

Большинство известных на данный момент астероидов сосредоточено в пределах пояса астероидов, расположенного между орбитами Марса и Юпитера. Крупнейшие из них, Паллада и Веста (рис. 2.24), имеют диаметр около 500 км.

За орбитой Нептуна располагается второй пояс астероидов — пояс Койпера, который похож на главный пояс астероидов, но примерно в 20 раз шире и в 20—200 раз массивнее последнего. Как и пояс астероидов, он состоит в основном из малых тел, т. е. материала, оставшегося после формирования Солнечной системы. В отличие от объектов главного

пояса астероидов, которые в основном состоят из горных пород и металлов, объекты пояса Койпера сложены в основном из льда с примесями метана, аммиака.

Несмотря на то что Земля значительно больше всех известных астероидов, столкновение с телом размером более 3 км может привести к уничтожению цивилизации. Столкновение с телом меньшего размера (но более 50 м в диаметре) может закончиться многочисленными жертвами и гигантским экономическим ущербом.

Чем больше и тяжелее астероид, тем большую опасность он представляет, однако и обнаружить его в этом случае гораздо



Рис. 2.24

Астероид Веста

легче. Наиболее опасным на данный момент считается астероид Апофис (диаметром около 300 м), при столкновении с которым может быть уничтожена целая страна.

С 2016 г. в России работает телескоп АЗТ-33 ВМ по обнаружению опасных небесных тел. Он способен опознавать опасный астероид размером 50 м на расстоянии до 150 млн км за 30 с. Это дает возможность заранее (самое малое — за месяц) заметить потенциально опасные для планеты тела.



На территории Мексики находится гигантский след от столкновения с крупным астероидом, произошедшего более 65 млн лет назад. Взметнувшиеся в атмосферу пыль и пепел из-за возникших пожаров привели к глобальному похолоданию и вымиранию динозавров и других животных. Выжили, по всей видимости, небольшие животные, прятавшиеся в норах, потомком которых, возможно, является человек.

**Кометы.** *Кометы* (название происходит от древнегреческого слова *kometes* — волосатый, косматый) напоминают туманные объекты, за которыми тянется хвост.



**Кометы** — небольшие небесные тела, обращающиеся вокруг Солнца по вытянутым орбитам, наклоненным под разными углами к плоскости эклиптики.

Вещество кометы сосредоточено в ее ядре, которое состоит из смеси замерзших льдов (воды, метана, углекислого газа, азота), пылинок, металлических и каменных частиц различных размеров. Когда комета приближается к Солнцу, она нагревается, из ядра начинают выделяться газ и пыль, которые образуют голову и хвост кометы. Чем ближе к Солнцу приближается комета, тем сильнее прогревается вещество, больше становится ее хвост, иногда достигая в длину нескольких миллионов километров (рис. 2.25). Благодаря световому давлению и солнечному ветру хвост кометы, как правило, направлен в сторону от Солнца. Удаляясь от Солнца, хвост кометы уменьшается, комета становится плохо видна.

Через определенный промежуток времени некоторые кометы возвращаются обратно. Кометы с периодом обращения вокруг Солнца менее 200 лет относят к короткопериодическим, с более длинным периодом обращения — к долгопериодическим. В настоящее время обнаружено более 400 короткопериодических комет. Предполагают, что они приходят из пояса Койпера, а начало орбит долгопериодических комет находится в гипотетической сферической области, называемой облаком Оорта, которая окружает нашу Солнечную



Рис. 2.25

Ядро кометы

систему. Облако Оорта заполнено веществом, оставшимся от протопланетного диска и включающим в себя множество кометных ядер.

Впервые заметил периодичность одной из комет английский ученый Эдмонд Галлей. Он доказал, что кометы, наблюдаемые в небе в 1531, 1607 и 1682 гг., — это одна и та же комета, и предсказал ее возвращение в 1759 г. Данная комета стала называться кометой Галлея. Комета возвращается к Солнцу каждые 76 лет.

Большое количество информации о кометах астрономы получили благодаря успешным миссиям советских космических аппаратов «Вега-1» и «Вега-2» и европейского «Джотто», отправленных к комете Галлея в 1986 г. Многочисленные приборы, установленные на этих аппаратах, передали на Землю изображения ядра кометы и разнообразные сведения о ее оболочке. Оказалось, что ядро кометы Галлея состоит в основном из обычного льда (с небольшими включениями углекислых и метановых льдов), а также пылевых частиц. Именно они образуют оболочку кометы, а с приближением ее к Солнцу часть из них под давлением солнечных лучей и солнечного ветра переходит в хвост. Ядро кометы Галлея длиной несколько километров имеет неправильную форму и вращается вокруг своей оси.

Исследования комет проводились космическими аппаратами «Международный исследователь планет», «Вега-1», «Вега-2», «Суйсэй», «Улисс», «Джотто», «Дальний космос 1», «ДипИмпакт», «Стардаст», «Розетта», отделяемый модуль которой впервые в истории совершил мягкую посадку на комету в 2014 г.



В июне 1908 г. в России произошло знаменитое падение Тунгусского метеорита. Взрыв огненного шара в воздухе над рекой Подкаменная Тунгуска был слышен за 800 км от эпицентра; взрывной волной был повален лес на площади 2000 км<sup>2</sup>, а в радиусе 200 км были выбиты стекла некоторых домов. Согласно одной из гипотез причиной взрыва было ядро небольшой кометы, столкнувшееся с Землей.

**Метеоры и метеориты.** Двигаясь по своей орбите, Земля часто встречается со множеством различных мелких тел, летящих со скоростями 11... 72 км/с. При вхождении в атмосферу они разогреваются в результате трения и сгорают, оставляя яркий след в ночном небе, видимый иногда несколько секунд. Такие мелкие тела называют *метеорами*.

Движение комет по своей орбите вокруг Солнца постепенно вызывает их разрушение, за ними формируется хвост из множества мелких частиц. Земля периодически пересекает орбиты комет, и в эти моменты в небе появляется множество метеоров, образуя эффектные метеорные потоки. Их называют в соответствии с созвездием, находящимся в той области неба, откуда они появляются: Ориониды, Персеиды, Леониды и др. Очень яркие метеоры называют **болидами**.

Если объект достаточно крупный (от нескольких сантиметров до 30 м), то полностью сгореть он не успеет, поэтому такое космическое тело, упавшее на землю, называют **метеоритом**. Как правило, упавшие метеориты являются обломками астероидов. В месте их падения образуется метеоритный кратер. На Земле обнаружено несколько десятков крупных ударных кратеров. Самый известный — Аризонский (рис. 2.26). Эта воронка имеет диаметр 1 200 м и глубину 230 м, а край кратера выступает над поверхностью на 46 м. Аризонский кратер образовался 50 тыс. лет назад от падения космического тела диаметром 50 м и массой 300 тыс. т. Взрыв при падении был в 3 раза мощнее взрыва Тунгусского метеорита.

Аризонский  
метеоритный кратер

Рис. 2.26



Вероятность того, что метеорит попадет в человека очень мала. Это случилось только 2 раза за всю историю наблюдений. В 1954 г. в Алабаме метеорит массой около 4 кг пробил крышу дома и попал в руку и бедро хозяйке. К счастью, женщина получила только ушиб. В 1992 г. совсем маленький фрагмент (около 3 г) попал в мальчика из Уганды, но вреда не причинил.

За сутки на Землю падает до 5 ... 6 т метеоритов. Большинство найденных метеоритов имеют массу от нескольких граммов до нескольких килограммов. В зависимости от состава все метеориты делят на три вида: каменные (93%), железные (6%) и железо-каменные. В течение всего времени наблюдений на Земле найдены десятки тысяч упавших метеоритов, несколько сотен прилетели с Луны, 34 тела скорее всего имеют марсианское происхождение.

Метеоритам принято давать имена по географическим названиям мест, соседствующих с местом падения или местом находки. Чаще всего это название ближайшего населенного пункта. Самая большая выставка метеоритов находится в Горном музее в Санкт-Петербурге, там представлено 300 образцов, самый крупный из которых имеет массу 450 кг. Согласно одной из теорий жизнь на Землю была занесена метеоритами из космоса, так как некоторые каменные метеориты содержат в себе следы органических соединений неземного происхождения. Метеориты падают и на другие планеты. Марсоход «Опportunity» открыл шесть метеоритов в ходе своего путешествия по Марсу.

Крупнейший из найденных метеоритов — Гоба (рис. 2.27). Метеорит упал примерно 80 тыс. лет назад в Намибии. Он состоит из 84% железа и 16% никеля с небольшой примесью кобальта. Масса метеорита составляет около 60 т.

Самые известные метеориты, упавшие за последние 10 лет, — перуанский и челябинский. Перуанский метео-

Рис. 2.27

Метеорит Гоба



рит упал 15 сентября 2007 г., оставил кратер диаметром 30 м и глубиной 6 м. Челябинский метеорит взорвался 15 февраля 2013 г. Его диаметр составлял около 20 м, а масса – 13 тыс. т. Самый крупный фрагмент (600 кг) достали со дна озера Чебаркуль.



**Стоимость метеоритов может достигать космических цифр. Самый дорогой метеорит был продан на аукционе за 330 тыс. долл.**

**Резюме.** Кроме Солнца и восьми планет в состав Солнечной системы входит множество других более мелких тел: карликовые планеты, астероиды, кометы, метеоры. Большая часть этих тел находится в главном поясе астероидов, поясе Койпера и облаке Оорта.

При движении Земли по орбите существует вероятность столкновения с астероидом или кометой, поэтому мониторинг ближайшего космического пространства является жизненной необходимостью, связанной с выживанием человечества. Падение более мелких тел не приводит к глобальным разрушениям, так как большая часть метеороидов и космическая пыль полностью сгорают уже на высоте 80 км от Земли.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличаются карликовые планеты от других тел Солнечной системы?
2. Какие тела относятся к малым телам Солнечной системы?
3. Где сосредоточена большая часть астероидов?
4. В чем заключается астероидная опасность?
5. Почему у кометы бывает хвост?
6. В чем отличие состава кометного вещества от вещества большинства астероидов?
7. Чем отличается метеор от метеорита?
8. Какие виды метеоритов вы знаете?
9. Какое из малых тел при столкновении представляет наибольшую опасность для жизни на Земле? Как можно избежать такой катастрофы?

#### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Дайте характеристику малых тел Солнечной системы, заполнив таблицу.

СОЛНЕЧНАЯ  
СИСТЕМА

Определение			
Примеры названий объектов группы			
Характеристика орбит			
Геологические характеристики			
Особенности			

ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Космические способы обнаружения объектов и предотвращение их столкновений с Землей.
2. Характеристики карликовых планет (Церера, Плутон, Хаумея, Макемаке, Эрида).
3. История открытия Цереры.

## 2.8. Солнце

**Основные сведения о Солнце.** *Солнце* — единственная и ближайшая звезда в нашей Солнечной системе, свет от которой достигает Земли за **8** мин. Каждая звезда — гигантский раскаленный плазменный шар, находящийся в равновесии благодаря силам гравитационного сжатия и силам внутреннего газового давления. В нашем Солнце сосредоточено **99,87%** от суммарной массы всей Солнечной системы. Радиус Солнца в **109** раз, а объем в **1300** тыс. раз больше радиуса и объема Земли. Средняя плотность Солнца составляет **1,4 г/см<sup>3</sup>**. Ускорение свободного падения в **28** раз больше, чем на Земле, и вблизи Солнца составляет **274 м/с**. Среднее расстояние от Земли до Солнца принято называть астрономической единицей (а. е.), оно составляет **149,6** млн км. В астрономических единицах часто определяют и расстояния до других тел нашей Солнечной системы, например, расстояние до Меркурия — **0,38** а. е., а до наиболее удаленного от Солнца Нептуна — **30,06** а. е.

Состав Солнца был определен с помощью спектрального анализа. На Солнце обнаружено более **70** химических

элементов, самые распространенные из которых — водород (73 % от массы) и гелий (25 % от массы). Такой химический состав позволяет предполагать, что наше Солнце является звездой второго поколения. Множество тяжелых химических элементов, входящих в состав вещества нашей Солнечной системы, родилось в недрах более массивных, уже взорвавшихся звезд, светивших за миллиарды лет до образования Солнца и планет.



Химический элемент гелий, второй по распространенности элемент в нашей Вселенной, впервые был открыт на Солнце в 1868 г. Изучая солнечный спектр — непрерывный спектр, пересеченный множеством узких темных линий поглощения (линий Фраунгофера), астрономы заметили в нем прежде неизвестные спектральные линии и предположили, что они принадлежат неизвестному на Земле химическому элементу. Н.Локьер предложил назвать его гелием (от греч.  $\eta\epsilon\lambda\iota\omicron\varsigma$  — Солнце). Только через 27 лет после своего первоначального открытия гелий был обнаружен на Земле.

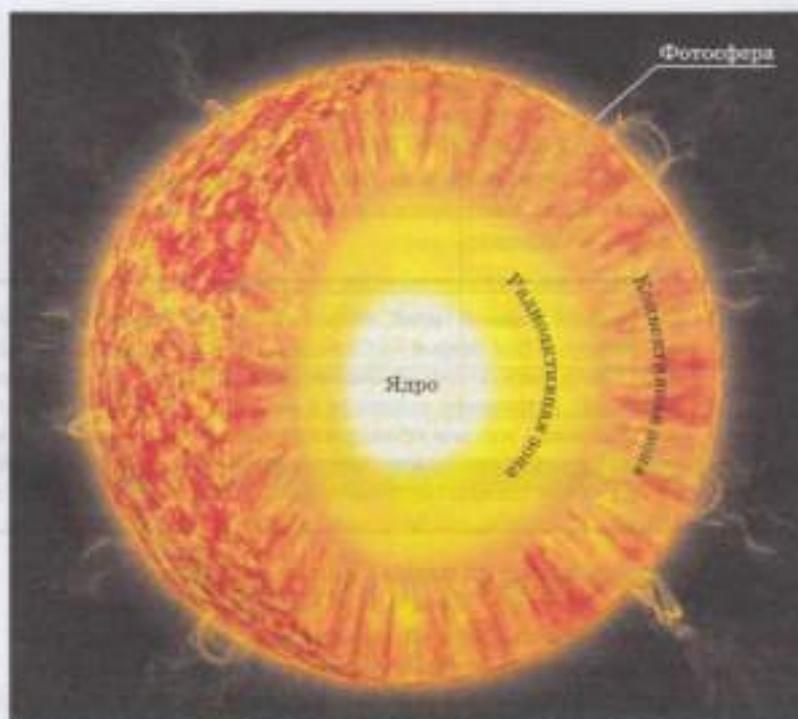
Температура внешних слоев Солнца составляет 6 000 К, а в центре она достигает 15 000 000 К. Источником энергии звезд являются термоядерные реакции, в ходе которых более легкие химические элементы превращаются в более тяжелые с выделением огромной энергии. В недрах Солнца преобладают реакции превращения водорода в гелий. При этом каждую секунду в излучение превращается 4,26 млн т солнечного вещества, однако эта величина не велика по сравнению с массой Солнца —  $2 \cdot 10^{27}$  т, поэтому, как показывают расчеты, о том, что Солнце погаснет, нам не стоит беспокоиться в ближайшие 5 млрд лет. Одним из продуктов этой термоядерной реакции является элементарная частица — нейтрино, обладающая огромной проникающей способностью. Благодаря новым нейтринным обсерваториям, регистрирующим потоки нейтрино, удастся узнать больше о процессах, происходящих внутри Солнца.

Строение Солнца. Солнце состоит из трех областей: ядра, лучистой и конвективной зон (рис. 2.28). В центре находится **ядро**, где при огромной температуре и давлении происходят термоядерные реакции. Далее располагается **лучистая зона**, в которой энергия передается наружу в результате поглощения и испускания квантов слоями солнечной плазмы. В третьей, **конвективной зоне**, энергия переносится самим веществом: нагретая плазма поднимается вверх, затем, охлаждаясь на поверхности, погружается вглубь. Для того чтобы кванты света добрались из центра на поверхность Солнца, понадобятся тысячи лет, процесс протекает очень

Внутреннее строение Солнца

Внутреннее строение Солнца

Рис. 2.28



медленно, так как при своем перемещении они постоянно изменяют направление своего движения.

Сразу за конвективной зоной начинается **солнечная атмосфера**, в которой тоже можно выделить три основных слоя: фотосферу, хромосферу и корону.

Атмосфера Солнца начинается на 200... 300 км ниже видимого края солнечного диска. Этот самый глубокий светящийся слой солнечной атмосферы называют **фотосферой**. Мы воспринимаем его как поверхность Солнца. Более глубокие слои увидеть невозможно, так как фотосфера непрозрачна для всех видов излучений, образующихся в еще более глубоких слоях. Средняя температура фотосферы близка к 6 000 К.

Солнце вращается вокруг своей оси, при этом газ в экваториальной и полярных областях движется неравномерно: на экваторе он делает оборот за 24 дня, на полюсах — за 30 дней. Вертикальный подъем и опускание вещества в конвективной зоне приводят к возникновению на поверхности фотосферы непрерывно появляющихся и исчезающих гранул, похожих на светлые зерна, окруженные более тем-

ными промежутками. Это и есть верхушки конвективных потоков. Время существования гранул — несколько минут.

Иногда на поверхности Солнца наблюдают темные пятна, образования более крупные, чем гранулы. Солнечные пятна могут достигать нескольких тысяч километров, превышая диаметр Земли, и наблюдаются иногда в течение нескольких месяцев. Обычно пятна располагаются группами. Причина появления пятен на Солнце лежит в возникновении областей с магнитным полем, большим в тысячи раз общего магнитного поля Солнца. Сильное магнитное поле замедляет конвекцию плазмы, на поверхность поступает меньше энергии, и образуются более холодные участки с температурой примерно  $4\,000 \dots 4\,300 \text{ К}$ , которые и выглядят как темные пятна на поверхности Солнца (рис. 2.29). Средняя продолжительность цикличности появления пятен составляет примерно 11 лет. Вокруг пятен наблюдают солнечные факелы, так называют яркие поля, окружающие солнечные пятна и имеющие более высокую температуру по сравнению с фотосферой.

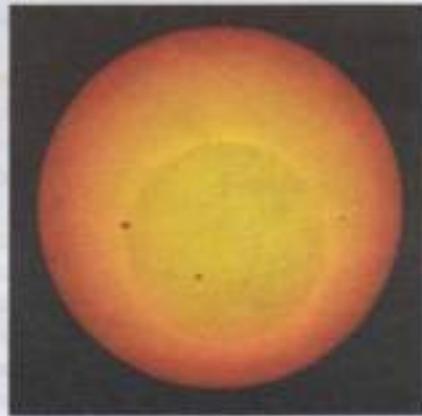


Рис. 2.29

Грануляция и солнечные пятна



В 1611 г. обнаружение пятен на Солнце, божественном и совершенном небесном объекте, привело в ярость генерала ордена иезуитов. «Пятна в твоей трубе или в глазах!» — гневно заявил он профессору математики, также иезуиту, Христофору Шейнеру, когда тот с испугом донес ему об обнаружении пятен на лице великого светила: «Покайся и молись — они исчезнут!»

За фотосферой начинается **хромосфера** — следующий слой солнечной атмосферы толщиной  $10 \dots 15$  тыс. км. Плотность хромосферы невелика, поэтому ее яркость недостаточна для наблюдения в обычных условиях. Но при полном солнечном затмении, когда Луна закрывает яркую фотосферу, расположенная над ней хромосфера становится видимой и светится красновато-фиолетовым цветом. Хромосфера неоднородна и состоит из вытянутых продолговатых образований — спикул. В телескоп ее можно наблюдать в любое время, но только с помощью специальных оптических фильтров. По мере удаления от фотосферы температура хромосферы возрастает до  $20\,000 \text{ К}$ . В хромосфере наблюдаются солнечные вспышки, часто появляющиеся над солнечными

пятнами. Эти взрывные процессы сопровождаются выбросом вещества, а также мощным ультрафиолетовым, рентгеновским и радиоизлучением. Продолжительность вспышек — от нескольких минут до нескольких часов.

**Корона** — последняя внешняя оболочка Солнца; имеет лучистую структуру (рис. 2.30). В ней преобладают про-



Рис. 2.30

Солнечная корона

туберанцы и выбросы солнечной плазмы, извергающиеся на сотни тысяч километров в пространство, образуя солнечный ветер.

**Протуберанцы** — крупные, выступающие, постоянно движущиеся структуры; отличаются от окружающего их вещества повышенной плотностью и пониженной температурой (рис. 2.31).

**Солнечный ветер** в основном состоит из протонов и электронов, в значительно меньшей степени — из других заряженных частиц (ионов). Скорость потоков солнечного ветра в окрестностях Земли может достигать 500 км/с и более. Средняя корональная температура составляет от 1 000 000 до

2 000 000 К. Несмотря на такую высокую температуру, корона видна невооруженным глазом только во время полного солнечного затмения, так как плотность вещества в коро-

Рис. 2.31

Протуберанцы



не мала, потому невелика и ее яркость. Для наблюдения за солнечной короной в любое время используют специальные телескопы — коронографы, в фокусе объектива которого находится непрозрачный диск.

Наблюдения за Солнцем. Самостоятельные наблюдения за Солнцем требуют большой осторожности. Наблюдения за Солнцем невооруженным глазом без урона зрению возможны лишь на восходе или закате. Нельзя смотреть на Солнце не защитив глаза очень темными светофильтрами. Даже при использовании светофильтров рекомендуется наблюдать за солнечной активностью не непосредственно в телескоп, а проецируя изображение Солнца на экран. Профессиональные астрономы используют для наблюдений за Солнцем специальные солнечные обсерватории, расположенные в высокогорных районах Земли или в космосе.

Резюме. Солнце — единственная звезда в Солнечной системе, источник энергии на Земле. Солнце излучает энергию в различных диапазонах электромагнитных волн. Внутри солнечного ядра происходят термоядерные реакции, там температура достигает 15 000 000 К. Температура внешней поверхности близка к 6 000 К. Основные детали видимой нам солнечной поверхности — фотосферы: гранулы, пятна и факелы. В хромосфере и короне наблюдаются и другие проявления солнечной активности — вспышки и протуберанцы. Расширяющаяся солнечная корона образует солнечный ветер.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Из каких химических элементов состоит Солнце?
2. В каком физическом состоянии находится солнечное вещество?
3. Каковы физические характеристики Солнца?
4. Каково внутреннее строение Солнца?
5. Как устроена солнечная атмосфера?
6. Что называется солнечными пятнами?
7. Что такое протуберанцы?
8. Как правильно наблюдать за Солнцем?

#### **ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Составьте свод правил, которыми необходимо руководствоваться при проведении наблюдений за Солнцем.
2. Оцените, какая бы энергия выделилась, если бы Солнце целиком состояло из водорода, который превратился бы в результате термоядерной реакции в гелий.

### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Солнце — естественная астрономическая лаборатория.
2. Современная модель строения Солнца.
3. Значение первых наблюдений Г.Галилея для изучения Солнца.

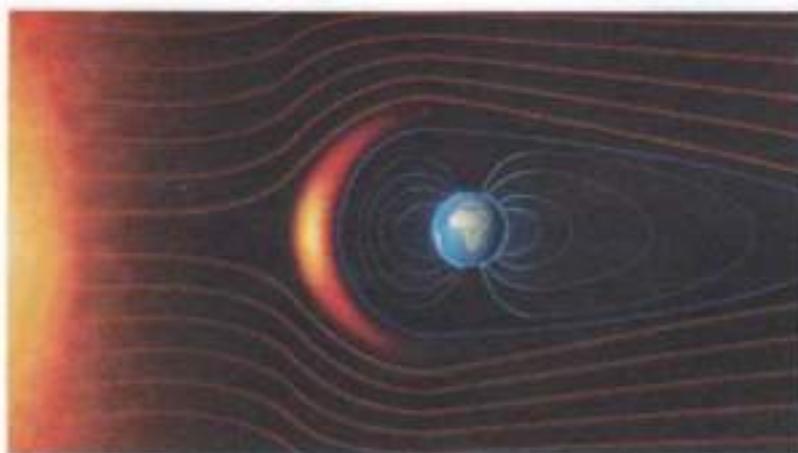
## 2.9. Солнце и жизнь на Земле

Энергия Солнца. Солнце излучает в межпланетное пространство огромное количество энергии. Земля получает одну двухмиллиардную долю солнечного излучения, из которой около трети отражается обратно в космическое пространство. Спектральный диапазон электромагнитного излучения Солнца включает все виды электромагнитных волн — от радиоволн до гамма-лучей, но максимум его интенсивности приходится на видимый свет (желто-зеленую часть спектра).

Нагревание земной атмосферы и поверхности Земли обеспечивает комфортные условия для человека. Благодаря процессу фотосинтеза — сложному циклу реакций синтеза органических веществ из углекислого газа и воды с использованием энергии света, растения выделяют кислород и сами служат пищей для животных. Умеренные дозы ультрафиолетового излучения необходимы живым существам для выработки витаминов группы D, повышения иммунитета. Солнечная энергия используется в гелиотехнических установках (теплицы, опреснители, водонагреватели и т.д.) и солнечных батареях, преобразующих получаемую энергию в электрическую.

Под действием ультрафиолетового и рентгеновского излучений происходит частичная ионизация земной атмосферы на высоте 200... 500 км от поверхности Земли, там образуется особая область — ионосфера, обладающая способностью отражать радиоволны. Благодаря многократному отражению радиосигналов от поверхности Земли и ионосферы осуществляется дальняя радиосвязь (вне видимости передающей антенны) на средних и коротких волнах с длиной волны от 10 до 1000 м. Причем устойчивость радиосвязи зависит от состояния ионосферы, которое в свою очередь определяется состоянием солнечной активности и временем суток.

Земля и солнечный ветер. Из внешней части солнечной короны расходятся потоки ионизированных частиц (в основ-



## СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Взаимодействие  
солнечного ветра  
и магнитного поля  
Земли

Рис. 2.32

ном протонов, электронов и  $\alpha$ -частиц), распространяющихся со скоростью около 400 км/с и образующих солнечный ветер. Во время солнечных вспышек количество выбрасываемого вещества возрастает, скорость частиц увеличивается до 1000 км/с, усиливается электромагнитное излучение Солнца в различных диапазонах. Примерно через 2 сут. потоки плазмы достигают Земли, вызывая кратковременные изменения ее магнитного поля — магнитные бури, влияющие не только на состояние человека, но и на работу электротехнических приборов (рис. 2.32). В это время может ухудшиться или пропасть радиосвязь.

Магнитное поле Земли отклоняет потоки заряженных частиц к полюсам, при торможении их в верхних слоях атмосферы возникает необыкновенно красивое природное явление — полярное сияние (рис. 2.33). Сияние обычно бывает красного или зеленого цвета; именно так светится кислород и азот, основные составляющие атмосферы, при бомбардировке их космическими частицами.



Самый лучший вид на полярное сияние открывается с борта космического корабля (рис. 2.34), поскольку там обзору не мешают ни облака, ни Солнце, ни атмосфера. Космонавты говорят, что из космоса полярное сияние выглядит как яркая, постояннодвигающаяся и меняющаяся область в виде амебы. Полярное сияние наблюдают не только на Земле, но и на других планетах Солнечной системы — Юпитере и Сатурне.

Как правило, заряженные частицы, попадая в магнитное поле Земли, движутся по спирали вдоль силовых линий магнитного поля к высоким широтам, но в годы высокой

Полярное сияние  
(вид с поверхности  
Земли)

Рис. 2.33



солнечной активности полярные сияния иногда наблюдаются и в средних широтах. Полярные сияния различаются по своей форме: однородные полосы и дуги, пульсирующие дуги и поверхности, пятна, всполохи, короны, проблески, лучи и лучистые дуги.

Наблюдения в течение столетий позволили установить, что годы максимума солнечной активности совпадают с появлением на Солнце большого количества темных пятен, вспышек, протуберанцев и имеют в среднем 11-летний цикл. В периоды минимума активности пятен на Солнце очень мало или нет вообще, в то время как в период максимума их может наблюдаться несколько сотен. За последние годы наблюдений максимумы солнечной активности пришлись на 1989, 2000, 2012 гг. В истории Земли существовали периоды, связанные с длительным отсутствием пятен на Солнце.

Рис. 2.34

Полярное сияние  
(вид из космоса)



С 1645 по 1715 г. они не отмечены, и именно в это время наблюдалось снижение среднегодовых температур в Европе, — последний Малый ледниковый период. Предполагают, что это вызвано воздействием солнечной активности на климат Земли. Существует также точка зрения, что глобальное потепление до некоторой степени вызвано повышением уровня солнечной активности во второй половине XX в.

Удивительную связь между солнечной активностью и историческими процессами установил наш соотечественник Александр Чижевский. Анализируя историю от 500 г. до н.э. до 1922 г. н.э. в 72 разных странах, Чижевский обнаружил, что 80 % всех значимых событий, таких как войны, революции, бунты и массовые переселения, происходили во время максимальной солнечной активности.

В своей книге «Земное эхо солнечных бурь», изданной в 1938 г., А. Чижевский показал взаимосвязь между активностью Солнца и частотой несчастных случаев, преступлений, внезапных смертей, стихийных бедствий, катастроф и эпидемий. Благодаря Чижевскому возникло новое направление в науке (биофизике), изучающее влияние изменений активности Солнца на земные организмы, — гелиобиология.



Существуют исследования, связывающие продолжительность жизни человека и период солнечной активности в момент его рождения: люди, родившиеся в годы низкой солнечной активности, живут на несколько лет дольше.

**Резюме.** Энергия Солнца дает жизнь всему живому на Земле. Расширяющаяся солнечная корона — источник солнечного ветра. Благодаря взаимодействию солнечного ветра и магнитного поля Земли возникают геофизические явления: магнитные бури и полярные сияния. Существует связь между частотой их возникновения и солнечной активностью. Еще более глубокая связь отмечена между активностью Солнца и биосферой Земли.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как проявляется влияние Солнца на Землю?
2. Что такое солнечный ветер?
3. Что называется магнитными бурями?
4. В чем причина возникновения полярных сияний?
5. Чем сопровождаются годы солнечной активности?
6. Низкая или высокая солнечная активность наблюдается в настоящее время?

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Достаточно широко распространена информация о влиянии магнитных бурь на организм человека. Реакция отмечена и у других биологических объектов: синхронно с солнечной активностью изменяются уровень воды в закрытых водоемах, ширина годовых колец деревьев. Приведите аргументы (не менее трех), подтверждающие эту информацию. Используйте научные факты.
2. В современном мире важнейшее значение приобретает применение солнечной энергии (гелиотехника). Предложите свой способ применения солнечной энергии.

### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Современные научные центры по изучению земного магнетизма.
2. Значение изучения солнечно-земных связей.
3. Цикл солнечной активности.

Иоганн Кеплер  
(1571-1630)

## 2.10. Небесная механика



**Законы Кеплера.** Длительное время считалось, что движение планет может происходить только по окружности. Однако многолетние наблюдения за планетами заставили усомниться в такой форме планетных орбит. Опираясь на результаты наблюдений пылающего датского астронома Тихо Браге, Иоганн Кеплер, немецкий математик и астроном (рис. 2.35), доказал, что траектории движения планет вокруг Солнца — эллипсы, и стал первооткрывателем законов движения небесных тел.

Первый и второй законы движения небесных тел И.Кеплер опубликовал в 1609 г. в книге «Новая астрономия».

**Первый закон Кеплера:** все планеты движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце (рис. 2.36). *Фокусы* — это две точки, сумма расстояний от которых до любой точки эллипса является постоянной. На рис. 2.36 показана эллиптическая орбита планеты. Солнце находится в одном из фокусов эллипса



Иллюстрация первого закона Кеплера

Рис. 2.36

( $F_1$  или  $F_2$ ). Ближайшая к Солнцу точка траектории называется *перигелием*, точка, наиболее удаленная от Солнца, — *афелием*. Прямая, соединяющая афелий и перигелий, — *большая ось эллипса*. Половина большой оси — среднее расстояние планеты от Солнца. Текущее положение планеты, движущейся по своей орбите вокруг Солнца, отмечено точкой  $M$ .

По эллиптическим орбитам движутся не только планеты, но и их естественные и искусственные спутники. В реальности орбиты планет нашей Солнечной системы не так вытянуты, как показано на рис. 2.36, и близки к круговым. Перигелий Земли составляет 147 098 291 км, афелий — 152 098 233 км. Различие в 5 млн км является очень небольшим по космическим масштабам. В ближайшей к Солнцу точке своей орбиты Земля бывает зимой, а в наиболее удаленной — летом: Земля проходит перигелий 2–5 января, а афелий — между 3 и 7 июля. При современных параметрах земной орбиты влияние на климат наклона оси вращения планеты более значимо, чем расстояние Земли от Солнца. В Северном полушарии Земли наступает лето, когда Северный полюс Земли освещается Солнцем, а Южный полюс планеты располагается в ее тени.



Нарисовать эллипс самым очень легко. Возьмите две кнопки, между ними привяжите нитку с большей длиной, чем расстояние между кнопками. Затем, натягивая карандашом нить, начертите эллипс с фокусами в точках, где находятся кнопки. Поместив в один из фокусов Солнце, определите положение перигелия, афелия, большую полуось гипотетической планеты. Измените расстояние между кнопками и посмотрите, как изменится форма эллипса.

**Второй закон Кеплера:** радиус-вектор планеты описывает равные площади за равные промежутки времени

Иллюстрация второго закона Кеплера

Рис. 2.37



(рис. 2.37). (Под радиус-вектором понимается вектор, проведенный от Солнца к планете.) Это означает, что чем дальше планета от Солнца, тем медленнее она движется. Как показано на рис. 2.37, площади  $S_1$  и  $S_2$  одинаковы, а расстояния, пройденные планетой по своей орбите за одинаковые промежутки времени, различны. Из этого следует, что вблизи перигелия скорость движения планеты должна быть больше, чем в афелии. Для Земли в перигелии орбитальная скорость составляет 30,2 км/с, а в афелии — 29,2 км/с.

**Третий закон Кеплера**, открытый в 1619 г., звучит следующим образом: квадраты периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где  $T_1$  и  $T_2$  — периоды обращения планет;  $a_1$  и  $a_2$  — большие полуоси их орбит.

Как и первые два закона, третий закон Кеплера применяется для описания движения не только планет, но и их естественных и искусственных спутников. Благодаря ему можно было легко вычислить относительные расстояния планет от Солнца (в астрономических единицах), зная их периоды обращения вокруг Солнца. Законы Кеплера, полученные на основе астрономических наблюдений, явились важнейшим этапом в понимании движения планет.



После смерти И. Кеплера осталось одно изношенное платье, две рубашки, несколько медных монет и... 57 вычислительных таблиц, 27 напечатанных научных трудов, огромное рукописное наследие, собранное позже в 22 книгах. Однако самое главное наследство великого ученого — три закона движения планет. В 1774 г. Петербургская академия наук приобрела большую часть архива (18 томов), он и сейчас хранится в Санкт-Петербургском филиале архива РАН.

Теоретическое обоснование этих законов предложил Исаак Ньютон (рис. 2.38), открывший в 1682 г. **закон всемирного тяготения**: все тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению их масс и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{Mm}{R^2},$$

где  $G$  — гравитационная постоянная,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ ;  $M$  и  $m$  — массы Солнца и планеты;  $R$  — расстояние между ними.

Ньютон первый предположил, что гравитационные силы действуют между любыми телами Вселенной и определяют движение планет Солнечной системы и их спутников. Законы Кеплера Ньютон вывел из закона всемирного тяготения. Он доказал, что под действием силы тяготения одно небесное тело может двигаться по отношению к другому по различным траекториям: окружности, эллипсу, параболе и гиперболе.

Ньютон установил, что третий закон Кеплера не совсем точен — в действительности в него входят и массы Солнца и планет:

$$\begin{aligned} T_1^2 (M_0 + m_1) &= a_1^3, \\ T_2^2 (M_0 + m_2) &= a_2^3, \end{aligned}$$

где  $T_1$  и  $T_2$  — сидерические периоды планет;  $M_0$  — масса Солнца;  $m_1$  и  $m_2$  — массы планет;  $a_1$  и  $a_2$  — полуоси орбит планет.

Поскольку движение и масса оказались связаны, эту комбинацию третьего закона Кеплера и закона всемирного тяготения Ньютона используют для определения массы планет и спутников, если известны их орбиты и орбитальные периоды. Использование третьего обобщенного закона Кеплера также позволяет определить массы двойных звезд по элементам их орбит.

**Открытие Нептуна и Плутона.** Движение планет по строго эллиптическим орбитам происходит только под действием притяжения одного тела — Солнца. Однако любая планета испытывает притяжение со стороны других планет, спутников планет, любых других тел, обладающих массой, поэтому ее движение подчиняется законам Кеплера неточно.

Исаак Ньютон  
(1643-1722)



В результате этого возникают отклонения от эллиптической траектории, которые называются возмущениями.

Впервые, еще в XIX в., расчет возмущений планет позволил открыть новые неизвестные тела. В 1781 г. немецкий астроном Вильям Гершель, который был к тому же и композитором, открыл седьмую планету, названную впоследствии Ураном. Примерно через полвека выяснилось, что в движении планеты наблюдаются отклонения от кеплеровской орбиты, не согласующиеся с расчетными даже при учете возмущений со стороны всех известных планет. На основе математических расчетов французского математика Урбена Леверье было вычислено положение новой планеты в пространстве, и в 1846 г. немецкий астроном Иоганн Галле ее обнаружил. Неизвестную ранее планету назвали Нептун. В дальнейшем и в движении Урана и Нептуна были замечены возмущения, которые в 1930 г. увенчались открытием еще одного ранее неизвестного тела — карликовой планеты Плутон.

Из планет наибольшие возмущения в движении тел Солнечной системы вызывает Юпитер. При прохождении вблизи Юпитера астероидов и комет возникают заметные отклонения. Например, если ускорение кометы, вызванное притяжением Юпитера, будет направлено в ту сторону, в которую направлено ее ускорение к Солнцу, комета может развить такую большую скорость, что, двигаясь по гиперболе, навсегда уйдет из Солнечной системы. В противоположном случае — притяжение Юпитера сдерживает комету, ее орбита меняется, а период обращения резко уменьшается.

В настоящее время возмущения учитываются при вычислении положения планет, их спутников и других тел Солнечной системы, а также для расчета траекторий автоматических межпланетных станций.

**Резюме.** Законы небесной механики — три закона Кеплера и закон всемирного тяготения Ньютона — полностью объясняют движения планет, их естественных и искусственных спутников, других космических тел. Открытие Нептуна и Плутона «на кончике пера» доказало справедливость гелиоцентрической системы и законов небесной механики.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1. В чем состоят законы Кеплера?**
- 2. Когда планета находится ближе к Солнцу: в афелии или перигелии?**
- 3. В какой точке орбиты скорость планеты больше?**

4. Какое уточнение в третий закон Кеплера внес Ньютон?
5. Как формулируется закон всемирного тяготения?
6. Что называется возмущениями?
7. Почему наибольшие возмущения в движении тел Солнечной системы вызывает Юпитер?
8. Какие тела Солнечной системы были открыты благодаря их влиянию на орбиты других планет?

#### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Заполните таблицу.

Законы И.Кеплера

Формулировка закона	Графическое изображение
Первый закон:	
Второй закон:	
Третий закон:	
Границы применимости:	
Значение законов:	

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Научная деятельность Тихо Браге.
2. Значение закона всемирного тяготения для открытия планет.
3. Законы небесной механики и научная картина мира.

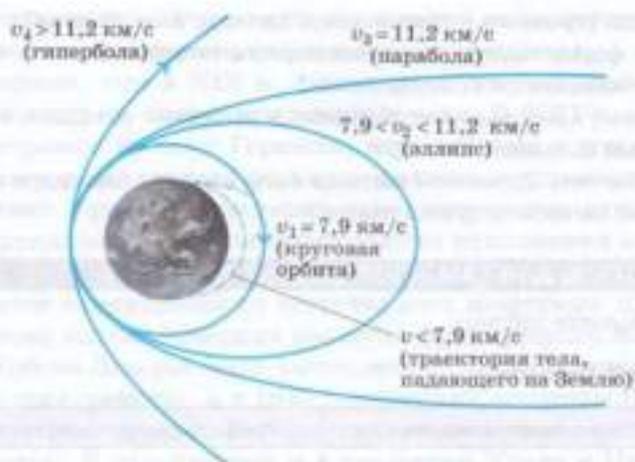
## 2.11. Искусственные тела Солнечной системы

**Искусственными телами Солнечной системы** являются искусственные спутники Земли, Луны и других планет, автоматические межпланетные станции и пилотируемые космические аппараты. Для выведения всех искусственных объектов в околоземное и межпланетное пространство необходимо придание им соответствующих космических скоростей.

**Космические скорости** — характерные критические скорости движения космических объектов в гравитационных полях небесных тел и их систем. Именно от величины

Зависимость формы орбит искусственных небесных тел от скорости

Рис. 2.39



скорости, а не массы запускаемого тела, зависит форма траектории полета космического аппарата и возможность преодоления силы притяжения планеты или иного космического тела (рис. 2.39). Различают четыре космические скорости.



Запуск искусственных небесных тел производится в настоящее время при помощи многоступенчатых ракет, последние ступени которых содержат запускаемый объект. Это может быть или контейнер большего или меньшего размера с научной аппаратурой, или же целый космический корабль, на борту которого находится космонавт. После старта ракета движется некоторое время за счет тяги, создаваемой ее двигателями. На этом активном участке траектории ракеты мы имеем дело еще не с искусственным небесным телом, а просто с реактивным летательным аппаратом.

**Первая космическая скорость** — это минимальная начальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно стало искусственным спутником планеты, т.е. двигалось бы вокруг нее по круговой орбите на небольшой высоте. Первая космическая скорость для орбиты, расположенной вблизи поверхности Земли, составляет 7,91 км/с. Впервые такая скорость была достигнута советским космическим аппаратом 4 октября 1957 г. При меньшей скорости запущенное тело упадет обратно на Землю, при большей, чем первая космическая, и меньшей, чем вторая космическая, будет вращаться вокруг Земли по эллиптической орбите. Сейчас на орбитах разной высоты движется около 1 500 работающих спутников различного назначения с удалением от поверхности Земли от 160 до 36 000 км.

Метеорологические спутники помогают метеорологам прогнозировать погоду или видеть, что происходит на данный момент с атмосферой Земли. Спутники связи необходимы для передачи информации по различным каналам, они обычно выступают как ретрансляторы, т. е. принимают сигналы из одного места на поверхности Земли и передают его в другое место. Широковещательные спутники передают телевизионные сигналы от одной точки к другой (аналогично спутникам связи). Научные спутники, такие как космический телескоп «Хаббл», выполняют всевозможные научные миссии, наблюдая за солнечной активностью, фиксируя все виды электромагнитных волн. Навигационные спутники помогают кораблям и самолетам определять свое положение в пространстве и осуществлять перемещение. Спутники наблюдения Земли проверяют планету на предмет изменений во всем: от температуры, роста растительности до изменения площади ледяного покрова. Военные спутники Земли находятся на орбите, но большая часть фактической информации об их положении остается секретной. Эти спутники могут осуществлять ретрансляцию зашифрованной связи, ядерный мониторинг, наблюдение за передвижениями противника, раннее предупреждение о запуске ракет, подслушивание наземных радиолиний, радиолокационную визуализацию и фотографирование (с использованием, по сути, больших телескопов, которые фотографируют интересные в военном отношении области). Некоторые спутники движутся по геостационарным орбитам, особенностью которых является постоянное нахождение спутника над одной точкой земного шара. Часть спутников имеет несколько целей.

К сожалению, число движущихся объектов на орбите во много раз превышает количество фактически работающих спутников, в основном представляют собой всевозможный космический мусор (разбившиеся, отработанные, потерянные искусственные объекты). Зафиксированы случаи столкновений и разрушений нормально функционирующих аппаратов с этими кусками металла. В будущем проблему утилизации космического мусора еще придется решать.



**Гравитация на орбите почти так же сильна, как и на поверхности Земли, поэтому движение спутников вокруг планеты — это постоянное падение. Все дело в скорости. Они летят ровно с той скоростью (7,9 км/с — для низкоорбитальных спутников), чтобы постоянно падать вдоль изгиба Земли. Если скорость снизится, спутники упадут на Землю, если повысится — улетят в космос.**

**Вторая космическая скорость** — это минимальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы, преодолев силу притяжения планеты (или другого космического тела), оно по параболической траектории навсегда покинуло ее ближайшее пространство. Для Земли значение второй космической скорости составляет 11,2 км/с, с такой скоростью тело покидает окрестности Земли и становится спутником Солнца. Вторая космическая скорость впервые была достигнута советским космическим аппаратом «Луна-1» 2 января 1959 г. (рис. 2.40). Значения первой и второй космических скоростей для различных небесных тел приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6. Значения первой и второй космических скоростей для небесных тел Солнечной системы

Небесное тело	Первая космическая скорость (км/с)	Вторая космическая скорость (км/с)	Третья космическая скорость (км/с)
Луна	0,0123	1,680	2,4
Меркурий	0,0553	3,05	4,3
Венера	0,815	7,356	10,4
Земля	1	7,91	11,2
Марс	0,107	3,546	5,0
Юпитер	317,8	43	59,5
Сатурн	95,2	26	36,5
Уран	14,6	15,6	21,3
Нептун	17,1	16,7	23,5
Солнце	333 000	436,7	617,7

**Третья космическая скорость** — минимальная скорость, которую необходимо сообщить находящемуся вблизи поверхности Земли телу, чтобы оно могло преодолеть притяжение Земли и Солнца и покинуть пределы Солнечной системы. При старте с Земли космический аппарат может достичь третьей космической скорости при благоприятных условиях уже при 16,7 км/с относительно Земли. Наиболее энергетически выгодный старт для достижения третьей космической скорости должен осуществляться вблизи экватора, движение тела должно быть сонаправлено осевому



## СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Советская автоматическая межпланетная станция «Луна-1» была предназначена для изучения Луны и космического пространства

Рис. 2.40

вращению Земли и орбитальному движению Земли вокруг Солнца.

Ни один космический аппарат не покидал окрестностей Земли с третьей космической скоростью. Наибольшей скоростью старта с Земли пока обладал только космический аппарат НАСА «Новые горизонты» — 16,21 км/с. За счет гравитационного маневра (состоявшего в изменении скорости и орбиты движущегося аппарата только под действием гравитации при сближении с другими планетами) достигли третьей космической скорости и уже покинули Солнечную систему «Вояджер-1», «Вояджер-2», «Пионер-10» и «Пионер-11», однако их скорости были существенно меньше третьей космической. Траектория аппарата, достигшего третьей космической скорости, становится гиперболической.



Когда космический аппарат пролетает рядом с планетой, та замедляется, поскольку он слегка ее тормозит своим присутствием. Когда космический аппарат «Вояджер-1» пролетал рядом с Юпитером, он ускорился на 16 км/с, а скорость планеты снизилась на 0,00000000000000000001 м/с.

Для исследования планет, комет и астероидов Солнечной системы было запущено более 225 межпланетных космических аппаратов (см. подразд. 1.5):

- к Меркурию — 2;
- Венере — 33;
- Луне — 97 автоматических и 9 пилотируемых кораблей;

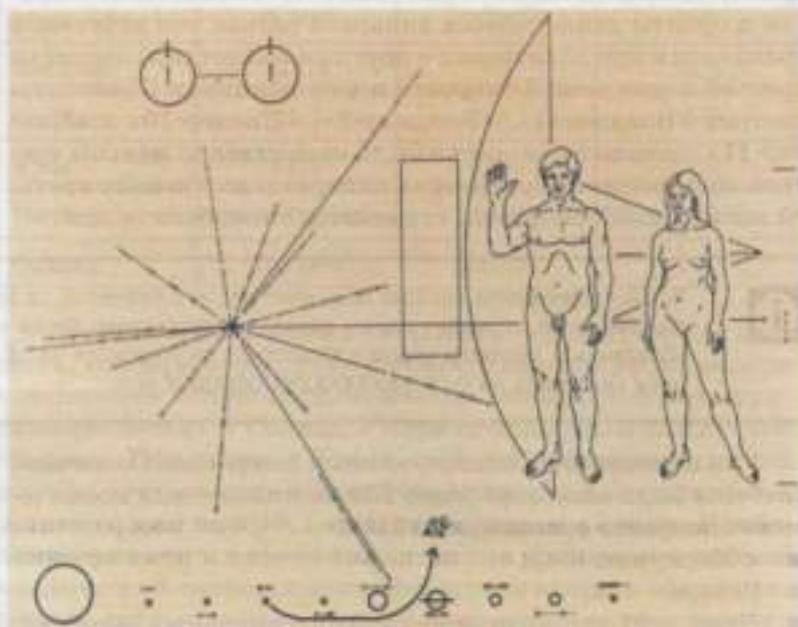
- Марсу — 46;
- Юпитеру — 9;
- Сатурну — 4;
- Урану — 1;
- Нептуну — 1;
- Плутону — 1;
- Церере — 1;
- астероидам и кометам — 24.

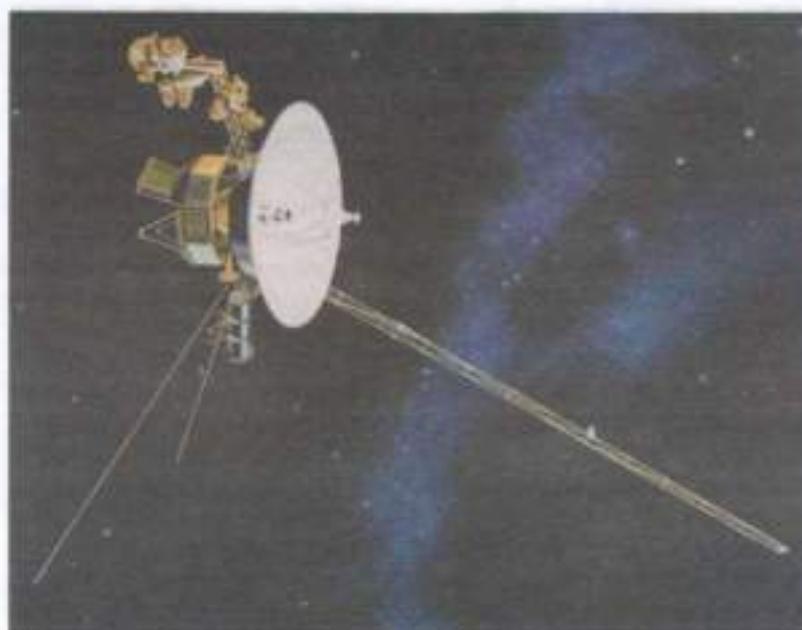
Первой автоматической межпланетной станцией, запущенной для исследования дальних планет Солнечной системы и в перспективе выхода за ее пределы, был «Пионер-10». Его запуск состоялся в 1972 г. На корпусе аппарата «Пионер-10» была установлена анодированная пластинка из прочного алюминиевого сплава (рис. 2.41). Размер пластинки 220 × 152 мм. Автором рисунка является знаменитый американский астрофизик Карл Саган. На пластинке изображены: молекула нейтрального водорода; две человеческие фигуры, мужчины и женщины, на фоне контура аппарата; положение Солнца относительно центра Галактики и 14 пульсаров; схематическое изображение Солнечной системы и траектория аппарата относительно планет.

Одним из самых успешных и результативных в истории межпланетных исследований является проект по ис-

Рис. 2.41

Пластинка из анодированного алюминия на борту космического аппарата «Пионер-10»





## СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Космический аппарат «Вояджер-1»

Рис. 2.42

следования дальних планет Солнечной системы двумя американскими космическими аппаратами, запущенными в 1977 г., — «Вояджер-1» (рис. 2.42) и «Вояджер-2». Оба аппарата впервые передали качественные снимки Юпитера и Сатурна, а «Вояджер-2» впервые достиг Урана и Нептуна. Аппараты этой серии — это высокоавтономные роботы, оснащенные научными приборами для исследования внешних планет, а также собственными энергетическими установками, ракетными двигателями, компьютерами, системами радиосвязи и управления. Общая масса каждого аппарата — около 721 кг.

К борту каждого «Вояджера» прикрепляли круглую алюминиевую коробку, положив туда позолоченный видеодиск. На диске 115 слайдов, на которых собраны важнейшие научные данные, виды Земли, ее континентов, различные ландшафты, сцены из жизни животных и человека, их анатомическое строение и биохимическая структура, включая молекулу ДНК. В двоичном коде сделаны необходимые разъяснения и указано местоположение Солнечной системы относительно 14 мощных пульсаров. Кроме изображений на диске записаны и звуки: шепот матери и плач ребенка, голоса птиц и зверей, шум ветра и дождя, грохот вулканов и землетрясений, шуршание песка и океанский прибой.

Автоматическая межпланетная станция NASA «Новые горизонты» (New Horizons), предназначена для изучения Плутона, его естественного спутника Харона и объектов пояса Койпера

Рис. 2.43



Человеческая речь представлена на диске короткими приветствиями на 55 языках народов мира.

«Вояджер-1» стал первым в истории аппаратом, достигшим границ Солнечной системы и вышедшим за ее пределы, поскольку в 1998 г. он обогнал «Пионер-10», запущенный раньше. Даже на этих огромных расстояниях космические аппараты сохраняли связь с Землей и передавали ценнейшие научные данные. Следующий важный шаг в изучении наиболее удаленных областей Солнечной системы должна сделать автоматическая межпланетная станция «Новые горизонты», запущенная в 2006 г. и успешно выполнившая научную программу во время пролета мимо Плутона и Харона в 2015 г. (рис. 2.43).

**Четвертая космическая скорость** — минимально необходимая скорость тела, позволяющая преодолеть притяжение галактики в данной точке. Четвертая космическая скорость не постоянна для всех точек галактики, а зависит от координаты. По оценкам ученых, в районе нашего Солнца четвертая космическая скорость составляет около 550 км/с.

**Резюме.** При достижении критической скорости тело способно покинуть притяжение Земли и в зависимости от величины набранной скорости или стать искусственным

спутником Земли, или отправиться к другим планетам и даже звездным системам. Информацию об окружающих нас космических телах успешно передают автоматические межпланетные станции. Дистанционно управляемые космические зонды пролетали вблизи всех планет Солнечной системы — от Меркурия до Нептуна, вблизи их спутников, астероидов и комет, четыре аппарата покинули пределы Солнечной системы. И хотя пилотируемых человеком миссий, кроме лунных, пока не было, успехи в освоении космического пространства позволяют надеяться на колонизацию человечеством других частей Солнечной системы в недалеком будущем.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие скорости называют первой, второй, третьей и четвертой космической?
2. Чему равны космические скорости для Земли?
3. Как меняются значения первой и второй космических скоростей у различных тел Солнечной системы?
4. Какие космические аппараты вышли за пределы Солнечной системы?
5. К каким телам Солнечной системы было отправлено больше автоматических межпланетных станций? Почему?
6. Какие объекты в нашей Солнечной системе наиболее перспективны для колонизации? Почему?

#### **ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Составьте список и краткую характеристику основных факторов, определяющих проектирование спутников связи.

#### **ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. Загрязнение космического пространства.
2. Современные космические спутники связи и спутниковые системы.
3. Проекты будущих межпланетных перелетов.



## 3 Глава

# СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

### Прочитав эту главу, вы узнаете:

- о физической природе звезд, их видах и характеристиках;
- звездных системах;
- строении галактик;
- эволюции звезд и галактик.

## 3.1. Расстояние до звезд

**Определение расстояний по годичным параллаксам.** Если посмотреть на любой объект сначала одним, затем другим глазом, можно заметить, что объект смещается на фоне других, более далеких, предметов (рис. 3.1).



**Параллакс** — это угол, на который изменяется видимое положение объекта относительно удаленного фона в зависимости от положения наблюдателя.

Обратите внимание, чем дальше находится объект наблюдения, тем параллакс (угол) становится меньше.



Наблюдение  
параллакса

Рис. 3.1

Используя геометрические методы, можно вычислить расстояние до любого предмета, зная расстояние между двумя точками наблюдения и угол параллакса.

Конечно, в земных масштабах нет необходимости прибегать к геометрическим вычислениям, поскольку расстояния можно просто измерить инструментами. Однако в Солнечной системе и дальнем космосе расстояния имеют совсем другой масштаб. Поэтому и для измерения расстояний до тел Солнечной системы и звезд используется *метод параллакса*.

Вследствие вращения Земли вокруг своей оси возникает суточный параллакс, который практически не влияет на положение звезд из-за их большой удаленности. Нужен более длительный интервал времени и более удаленные точки наблюдения.

Поскольку Земля движется вокруг Солнца, положения звезд на небе должны испытывать параллактические смещения. Для нахождения расстояния до звезд используется *годовой параллакс* — угол, под которым со звезды видна большая полуось земной орбиты, перпендикулярная направлению на звезду (рис. 3.2).

Расстояние до звезды  $r$  можно вычислить по формуле

$$r = \frac{\alpha}{\sin p},$$

где  $\alpha$  — большая полуось земной орбиты;  $p$  — горизонтальный параллакс.



Рис. 3.2

Годичный параллакс

## СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Напомним, что среднее расстояние от Земли до Солнца — 1 астрономическая единица (а. е.):

$$a = 1 \text{ а. е.} = 149\,600\,000 \text{ км.}$$

Угол годового параллакса очень мал (менее угловой секунды). Даже для ближайшей к нам звезды Проксима Центавра его значение составляет 0,77. У других звезд он еще меньше. Кстати, существование годового параллакса звезд является одним из доказательств обращения Земли вокруг Солнца.



Геометрические методы измерения расстояний не исчерпываются годовым параллаксом, в котором видимые угловые смещения звезд сравниваются с перемещениями Земли по орбите. Еще один подход опирается на движение Солнца и звезд друг относительно друга. Представим себе звездное скопление, пролетающее мимо Солнца. По законам перспективы видимые траектории его звезд, как рельсы на горизонте, сходятся в одну точку — радиант. Его положение говорит о том, под каким углом к лучу зрения летит скопление. Зная этот угол, можно разложить движение звезд скопления на две компоненты — вдоль луча зрения и перпендикулярно ему по небесной сфере — и определить пропорцию между ними.

Расстояния до тел Солнечной системы или между телами Солнечной системы обычно выражены в астрономических единицах. Однако для измерения расстояний до небесных тел, которые находятся за ее пределами, астрономическая единица слишком мала. Поэтому в данном случае используют специальные единицы, такие как парсек (образовано от слов «параллакс» и «секунда») и световой год.



Лучевую скорость звезд в километрах в секунду измеряют, используя эффект Доплера, и с учетом найденной пропорции вычисляют проекцию скорости на небосвод в километрах в секунду. Остается сравнить эти линейные скорости звезд с угловыми, определенными по результатам многолетних наблюдений, и расстояние будет известно. Этот способ работает на расстояниях до нескольких сотен парсек, но применим только к звездным скоплениям, поэтому называется методом групповых параллаксов. Так были измерены расстояния до Гиад и Плеяд.

**Парсек** (пк) — расстояние до объекта, имеющего угол параллакса в 1". **Световой год** — расстояние, которое свет проходит за 1 год.

$$1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

$$1 \text{ пк} = 3,26 \text{ светового года.}$$

Свет от Проксимы Центавра идет до нас 4,22 световых года (сравните с временем прохождения света от Солнца, равным 8 световым минутам). Современные телескопы по-

зволяют увидеть объекты, удаленные от Земли на тысячи, сотни тысяч, миллионы и даже миллиарды световых лет! Наблюдая за ними, мы как будто погружаемся в прошлое.



В последние годы все чаще публикуются результаты измерения расстояний до очень компактных источников радиоизлучения — мазеров. Их излучение приходится на радиодиапазон, что позволяет наблюдать их на радиоинтерферометрах, способных измерять координаты объектов с микросекундной точностью, недостижимой в оптическом диапазоне, в котором наблюдаются звезды. Благодаря мазерам тригонометрические методы удается применять не только к далеким объектам нашей Галактики, но и к другим галактикам.

Видимые и абсолютные звездные величины. Различная яркость звезд хорошо заметна. Самые яркие звезды еще в древности называли звездами первой величины. **Видимая звездная величина**  $m$  (часто ее называют просто «звездная величина») указывает поток излучения вблизи наблюдателя, т. е. наблюдаемую яркость небесного источника, которая зависит не только от реальной мощности излучения объекта, но и от расстояния до него.

Древнегреческий астроном Гиппарх (II в. до н.э.) предложил наиболее яркие звезды отнести к звездам первой величины ( $1^m$ ), а едва различимые — к шестой ( $6^m$ ). Позднее астрономы предложили при наблюдении более ярких объектов использовать нулевые ( $0^m$ ) и отрицательные ( $-1^m$ ,  $-2^m$  и т.д.) звездные величины. Видимые только в телескоп наиболее удаленные объекты имеют значения намного больше шестой звездной величины (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Видимые звездные величины некоторых небесных тел

Луна (в полнолуние)	$-12,74^m$
Венера (в максимуме блеска)	$-4,67^m$
Юпитер (в максимуме блеска)	$-2,91^m$
Сатурн	$-1,44^m$
Вега	$0,03^m$
Проксима Центавр	$11,05^m$
Самые слабые объекты, снимки которых получены с помощью телескопа «Хаббл»	$31,5^m$

Древние астрономы предполагали, что все звезды находятся от нас на одном удалении, поскольку, по их мнению, прибиты изнутри к твердому небу. На самом деле различную яркость звезд можно объяснить не только их различной мощностью излучения, но и тем, что они находятся от нас на разном расстоянии. Поэтому в астрономии используется еще одно понятие — абсолютная звездная величина. Под **абсолютной звездной величиной** понимается видимая звездная величина, которую имела бы звезда, удаленная от нас на расстояние 10 пк. Абсолютная звездная величина Солнца составляет  $+4,7^m$ . Абсолютная звездная величина позволяет узнать, какая из звезд излучает больше энергии за секунду, т. е. ее мощность излучения. Как оказалось, звезды сильно отличаются друг от друга по своей мощности. Некоторые звезды излучают энергию в сотни тысяч раз большую, чем Солнце, есть звезды, у которых мощность излучения в десятки тысяч раз меньше.

Резюме. Благодаря движению Земли вокруг Солнца можно наблюдать параллактическое смещение звезд на фоне более далеких объектов. Угол параллакса позволяет определить расстояние до звезд. Из-за большой удаленности любых звезд расстояния до них принято измерять в парсеках и (или) световых годах. Для характеристики блеска звезд используются видимая и абсолютная звездные величины.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется параллаксом?
2. Что такое годичный параллакс?
3. Каким образом измеряют расстояния до звезд?
4. Что называют парсеком и световым годом?
5. Какая звезда ярче: с положительной или отрицательной видимой звездной величиной?
6. В чем различие между видимыми и абсолютными звездными величинами?
7. Как вы думаете, почему звезды имеют разную яркость?

#### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изобразите схему определения годичного параллакса.
2. Запишите единицы измерения расстояний, которые наряду с астрономической единицей используются только в астрономии. Свяжите известные вам единицы измерения расстояний в астро-

ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Определение расстояний до звезд методом годичного параллакса.
2. Учение Гиппарха о звездных величинах.
3. Исследования астрономического спутника «Гиппарх».

## 3.2. Физическая природа звезд

**Цвет, температура, химический состав и спектральные классы звезд.** Каждая звезда — гигантский раскаленный плазменный шар, который излучает в космическое пространство все виды электромагнитных волн. Даже рассматривая небо невооруженным глазом, можно заметить различный цвет звезд. Это происходит потому, что максимум излучения звезд приходится на различные длины волн. Самые горячие звезды имеют голубоватый цвет и температуру фотосферы — 30 000...60 000 К. Температура самых холодных звезд — менее 2 000 К и их цвет — красноватый (табл. 3.2). Такие звезды доступны для наблюдений только в инфракрасном диапазоне электромагнитных волн.

Таблица 3.2. Цвет, температура и спектральный класс звезд

Голубой	30 000...60 000	O	Мицарка
Бело-голубой	10 000...30 000	B	Спика, Ригель
Белый	7 500...10 000	A	Сирнус, Вега, Денеб
Желто-белый	6 000...7 500	F	Прокцион, Канопус
Желтый	5 000...6 000	G	Солнце, Капелла
Оранжевый	3 500...5 000	K	Альдебаран, Арктур
Красный	2 000...3 500	M	Антарес, Ветельгейзе

Изучение химического состава звезд возможно по спектрам поглощения. Подобно спектру нашего Солнца непрерывные спектры звезд пересекают темные линии, которые соответствуют спектрам излучения определенных веществ. Анализируя спектральные полосы, удалось определить химический состав видимых нам звезд. Оказалось, что в ат-

в атмосфере звезд, как и Солнца, преобладают два элемента: водород и гелий. На долю остальных элементов приходится не более нескольких процентов. При невысоких температурах в атмосферах звезд могут существовать нейтральные атомы и простейшие молекулы:  $C_2$ ,  $CN_2$  (циан), оксиды титана, циркония, углерода и др. В спектрах горячих звезд преобладают ионизированные атомы.



Температура и цвет звезды взаимосвязаны. Звезды бывают разного цвета: от красного до белого и голубого. Красный — это самый «холодный» цвет звезд, который указывает, что ее температура менее 3500 К. Желтовато-белые звезды, подобные нашему Солнцу, имеют в среднем температуру 6000 К. Самые горячие звезды — голубые, с температурой порядка 12 000 К.

Сходные между собой по спектру звезды объединяют в семь основных спектральных классов: O, B, A, F, G, K, M (см. табл. 3.2). Каждый спектральный класс подразделяется еще на десять подклассов. Например, наше Солнце относится к классу G2. Как видно из таблицы, самые горячие звезды — классов O, B, A, самые холодные — K и M.

Благодаря развитию средств наблюдения в последние десятилетия удалось обнаружить нетипичные звезды, для них пришлось ввести дополнительные спектральные классы:

- W — очень тяжелые яркие звезды с температурой порядка 70 000 К (звезды Вольфа — Райе);
- L — коричневые карлики с температурой 1500... 2000 К и соединениями металлов в атмосфере;
- T — метановые коричневые карлики с температурой 700 ...1500 К;
- Y — очень холодные (метано-аммиачные) коричневые карлики с температурой ниже 700 К;
- C — углеродные звезды-гиганты с повышенным содержанием углерода;
- S — циркониевые звезды;
- Q — новые звезды;
- P — планетарные туманности.

Светимость звезд. Для характеристики общей мощности излучаемой звездой энергии используется понятие **«светимость звезд»**. Эта важнейшая характеристика определяется с помощью закона Стефана — Больцмана, согласно которому она прямо пропорциональна квадрату радиуса звезды и четвертой степени температуры ее фотосферы. Светимость звезды связана с ее абсолютной звездной величиной и при



Сравнение  
размеров звезд

Рис. 3.3

необходимости легко вычисляется. У большинства звезд светимость сравнима или меньше светимости Солнца. Однако есть и такие звезды, светимость которых в сотни или даже тысячи раз больше. Например, у звезды Альдебаран ( $\alpha$  Тельца) светимость в 160 раз превышает солнечную, а у Ригеля ( $\beta$  Ориона) — в 80 000 раз!

**Радиус, масса и средняя плотность звезд.** По своим размерам звезды также сильно отличаются друг от друга. Если радиус превышает радиус Солнца в сотни раз, звезды называют *сверхгигантами*. Например, Антарес ( $\alpha$  Скорпиона) имеет радиус в 750 раз больше солнечного. *Гигантами* называют звезды, которые по радиусу превышают Солнце в десятки раз, например Поллукс ( $\beta$  Близнецов) (рис. 3.3). Наше Солнце и звезды с меньшими размерами относят к *карликам*, среди которых есть звезды меньше Луны.



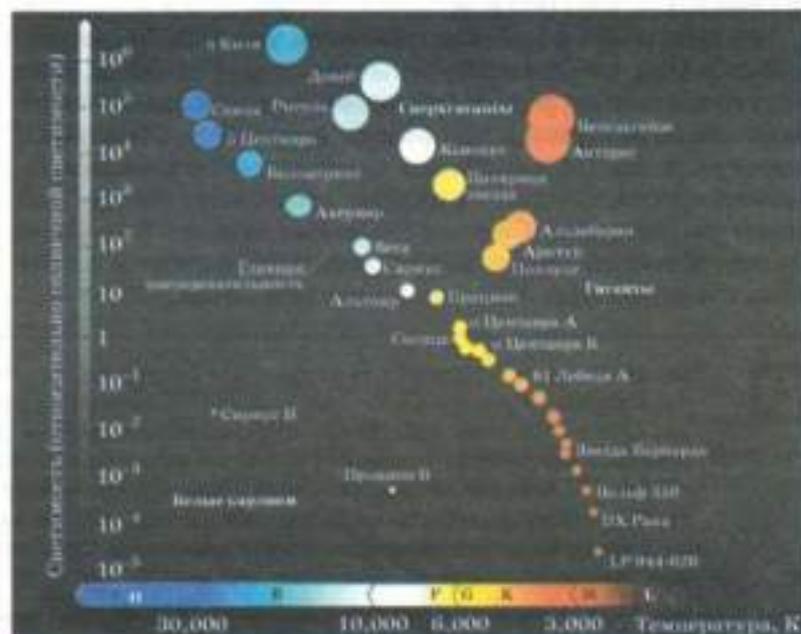
Масса определяет температуру звезды: чем больше масса, тем больше должно быть ядро звезды, а значит, тем больше выделяется энергии в результате термоядерной реакции внутри этого ядра. Следовательно, больше энергии достигнет поверхности звезды и увеличит ее температуру. Однако есть интересное исключение из этого правила — красные гиганты. Обычный красный гигант может просуществовать все фазы своей жизни в виде белой звезды, имея массу, сопоставимую с Солнцем. Но ближе к концу своей жизни красный гигант становится ярче, поэтому он выглядит неестественно коричневым.

Массы звезд находятся в более узких пределах — от 6% массы Солнца до нескольких десятков солнечных масс. Это объясняется тем, что у гигантов и сверхгигантов очень мала средняя плотность. Например, плотность супергиганта Бетельгейзе ( $\alpha$  Ориона) —  $10^{-8}$  кг/м<sup>3</sup>. Плотность желтого карлика нашего Солнца — 1400 кг/м<sup>3</sup>, что в миллион раз больше. Самые плотные звезды имеют небольшие размеры. Плотность небольших звезд белых карликов достигает огромных значений  $10^{10}$ ...  $10^{11}$  кг/м<sup>3</sup>. Попробуйте представить, что 1 см<sup>3</sup> вещества такой звезды имеет массу 100 тонн.

**Диаграмма «спектр—светимость».** В 1910 г. астрономами Эйнарсом Герцшпрунгом (Дания) и Генри Расселом (США), независимо друг от друга, была обнаружена связь между спектрами звезд и их светимостями. Полученную ими зависимость назвали *диаграммой Герцшпрунга—Рассела* (рис. 3.4). По горизонтальной оси диаграммы отложены спектральные классы (или температуры звезд), по вертикальной — их светимости (за 1 принята светимость Солнца). Каждой звезде соответствует определенная точка. Точки группируются в нескольких областях — последовательностях. Около 90% звезд находятся вблизи диагонали — *главной последовательности*. Их светимость обусловлена термоядерными реакциями превращения водорода

Рис. 3.4

Диаграмма  
Герцшпрунга—Рассела



в гелий. Кроме этого, вверху выделяются области гигантов и сверхгигантов, в которых происходит горение гелия и более тяжелых элементов. В левой нижней части диаграммы расположена область белых карликов, звезд, находящихся на заключительной стадии своей эволюции.

Звезды проводят большую часть своей жизни в области главной последовательности. Срок такого стабильного существования непосредственно зависит от положения в диаграмме. Чем выше и левее звезда, тем она ярче и горячее, поэтому в ней быстрее выгорает водород. Время жизни менее яркой звезды, располагающейся ниже по диаграмме, больше, эти звезды могут существовать десятки миллиардов лет.

Солнце находится примерно посередине главной последовательности, первые 5 млрд лет его жизни уже прошли, но примерно столько же лет еще впереди. После этого у Солнца, как и у других небольших звезд, выгорит водород, энергии станет меньше и силы тяготения будут сильнее сжимать ядро звезды. Из-за этого в ядре звезды начнутся термоядерные реакции, связанные со слиянием гелия, звезда расширится в десятки раз. Какое-то время ее светимость будет сильнее, а затем звезда остынет до красного цвета. Наше Солнце превратится в красного гиганта, покинув главную последовательность диаграммы Герцшпрунга—Рассела, перейдя в область гигантов. Когда в его недрах закончится гелий, гравитация сожмет ядро в маленькую плотную звезду, белого карлика, который будет постепенно остывать, располагаясь внизу диаграммы, в области белых карликов.

Звезд покрупнее ждет куда более интересная судьба. Гелия в них достаточно, чтобы продолжать термоядерную реакцию. После сгорания гелия в реакцию вступит углерод, затем — магний. Рано или поздно звезда достигнет критической массы, после которой взорвется, превращаясь в сверхновую. Казалось бы, звезды, имеющие большее количество водорода для горения, должны расходовать его дольше, но это не так, потому что они используют свои ресурсы быстрее. Поэтому более массивные звезды живут меньше.

Резюме. Звезды имеют различные физические характеристики: температуру, светимость, массу, размер, плотность. Схожие по виду излучения звезды объединены в спектральные классы. Между различными физическими характеристиками существует связь, например между спектром и светимостью. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела используется для классификации звезд и соответствует современным представлениям о звездной эволюции.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как связаны между собой цвет и температура звезд?
2. Что такое спектральные классы?
3. К каким спектральным классам относятся самые горячие и самые холодные звезды?
4. Что такое светимость?
5. Назовите диапазоны звездных масс, радиусов и плотностей.
6. Определите, в каких созвездиях находятся звезды, перечисленные в табл. 3.2. Найдите их на звездной карте
7. Что называют диаграммой Герцшпрунга — Рассела?
8. Какие области выделяют на диаграмме?
9. В какой области находится наибольшее количество звезд?
10. В каком месте диаграммы располагается наше Солнце?
11. Покажите по диаграмме Герцшпрунга — Рассела жизненный путь Солнца.

#### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

В Интернете найдите диаграмму Герцшпрунга—Рассела, построенную по данным измерений параметров 41 704 ближайших звезд, проведенных с помощью аппаратуры, установленной на спутнике «Гиппарх», и сравните ее с диаграммой, представленной в учебнике. Укажите отличия.

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Особенности звезд одного из спектральных классов (по выбору).
2. Особенности звезд новых спектральных классов.
3. Жизнь и смерть звезд главной последовательности.
4. Жизнь и смерть массивных звезд.

### 3.3. Виды звезд

**Желтые карлики.** Наблюдаемые звезды принято разделять на несколько видов.

**Желтый карлик** — тип небольших звезд главной последовательности диаграммы Герцшпрунга—Рассела, имеющих массу от 0,8 до 1,2 массы Солнца и температуру поверхности — 5 000... 6 000 К. Время жизни желтого карлика составляет в среднем 10 млрд лет.

**Красные гиганты.** **Красный гигант** — это крупная звезда красноватого или оранжевого цвета. Образование этих звезд возможно как на стадии звездообразования, так и на поздних стадиях эволюции звезд после выгорания во-

дорода в их недрах. Когда запасы водорода подходят к концу, гелий начинает преобразовываться в другие элементы. При этом происходит повышение внутренней температуры ядра, что приводит к расширению и остыванию внешней поверхности звезды, благодаря чему звезда приобретает красный цвет.

СТРОЕНИЕ  
И ЭВОЛЮЦИЯ  
ВСЕЛЕННОЙ



Крупнейшая известная звезда UY Щита — звезда (гипергигант) в созвездии Щита. Она находится на расстоянии 2900 пк от Солнца. По оценкам ученых, радиус UY Щита равен 1708 радиусам Солнца, диаметр — 2,4 млрд км (15,9 а.е.).

Звезда гигант имеет сравнительно низкую температуру поверхности, от 3 000 до 5 000 К, огромный радиус, достигающий 800 солнечных, и за счет таких больших размеров — огромную светимость. Максимум излучения приходится на красную и инфракрасную области спектра, потому их и называют красными гигантами.

Размеры красных гигантов в сотни раз больше размеров обычных звезд. Крупнейшие из гигантов могут превратиться в красных супергигантов. Красный гигант выбрасывает внешние слои газа, образуя тем самым планетарные туманности (рис. 3.5), а ядро сжимается в маленький, плотный белый карлик.



Красным сверхгигантом является Бетельгейзе в созвездии Ориона. Эта звезда в 20 раз превышает массу Солнца и при этом в 1000 раз его больше.



Рис. 3.5

Ближайшая планетарная туманность (650 световых лет), расположенная в созвездии Водолея

Белые карлики. **Белый карлик** — это ядро обычной звезды с массой, не превышающей 1,4 солнечной массы, после того, как она проходит стадию красного гиганта. Большинство звезд завершает свою эволюцию превращением в белых карликов. Звезда уменьшается в размере в сотни раз, обретая огромную плотность. По размеру белый карлик становится меньше Земли, но массу его можно сравнить с массой Солнца. Температура молодых белых карликов достигает 100 000 К и более, однако достаточно быстро падает за счет излучения с поверхности. Из-за отсутствия водорода термоядерная реакция в ядре таких звезд не происходит. Они сияют за счет своей оставшейся энергии, но со временем она заканчивается, и звезда остывает, превращаясь в черного карлика.



Самый большой белый карлик располагается в центре планетарной туманности M27 (NGC 6853), которая больше известна как туманность Гантель. Она находится в созвездии Лисички, на расстоянии около 1360 световых лет от нас. Ее центральная звезда больше, чем любой другой известный белый карлик.

Красные карлики. **Красный карлик** — маленькая и относительно холодная звезда главной последовательности. Эти звезды являются самыми распространенными объектами звездного типа во Вселенной. Масса красных карликов не превышает трети солнечной массы (нижний предел массы — 0,08 солнечной), температура поверхности достигает 3 500 К. Звезды этого типа испускают очень мало света, иногда в 10 000 раз меньше Солнца. Ближайшая к Солнцу звезда Проксима Центавра — красный карлик.

Низкая светимость не позволяет увидеть ни один из красных карликов с Земли. Из-за низкой скорости сгорания водорода красные карлики имеют очень большую продолжительность жизни — от десятков миллиардов до десятков триллионов лет (красный карлик с массой 0,1 массы Солнца будет гореть 10 трлн лет). В красных карликах невозможны термоядерные реакции с участием гелия, поэтому они не могут превратиться в красные гиганты. Со временем они постепенно сжимаются и всё больше нагреваются, пока не израсходуют весь запас водородного топлива.

Коричневые карлики. Если в процессе формирования молодой звезды (протозвезды) ее масса составляет лишь 1/10 массы Солнца, ее сияние будет недолгим, после чего она быстро гаснет. После нее остается **коричневый карлик**, который представляет собой массивный газовый

шар, слишком большой, чтобы быть планетой, и слишком маленький, чтобы стать звездой. Он меньше Солнца, но в несколько раз больше Юпитера. Температура коричневых карликов лежит в промежутке от 300 до 3 000 К. Коричневые карлики на протяжении своей жизни постоянно остывают, при этом чем крупнее карлик, тем медленнее он остывает.



Небесное тело является звездой только тогда, когда в ее недрах протекает термоядерный синтез, т.е. горение водорода. Необходимая температура для «старта» — 3 000 000 К. Достигается она сжатием под воздействием гравитации: сжимаясь, увеличивается плотность газового шара. Выше плотность — выше температура. Когда плотность достигает своего предела, происходит воспламенение водорода, т.е. термоядерный синтез.

**Черные карлики.** *Черные карлики* — остывшие белые карлики, которые представляют собой конечную стадию эволюции белых карликов. Масса черного карлика, подобно массе белого карлика, не более 1,4 массы Солнца.

**Сверхновые звезды.** *Сверхновыми* становятся звезды, масса которых в 8—10 раз превышает солнечную. Ядра таких звезд, исчерпав водород, переходят к термоядерным реакциям с участием гелия. Исчерпав гелий, ядро переходит к синтезу все более тяжелых элементов. В конечной стадии своей эволюции такая звезда превращается в «слоеный» сверхгигант. В каждом слое происходит свой тип термоядерного синтеза.

Когда топливо для термоядерных реакций заканчивается (заключительный этап сопровождается синтезом железа), звезда взрывает, при этом ее светимость за несколько дней может возрасти в сотни миллионов раз. Взрыв сопровождается выбросом значительной массы вещества из внешней оболочки звезды в межзвездное пространство (рис. 3.6).

Из оставшейся части вещества ядра взорвавшейся звезды, как правило, образуется компактный объект — *нейтронная звезда*, если масса звезды до взрыва составила более 8 солнечных масс, либо черная дыра — при массе звезды свыше 20 солнечных масс.

Расширяющаяся с огромной скоростью (примерно 2000 ... 3000 км/с) внешняя оболочка содержит продукты термоядерного синтеза, происходившего на протяжении



Рис. 3.6

Светящаяся туманность —  
остаток взрыва  
сверхновой звезды

всей жизни звезды. Именно благодаря взрывам сверхновых звезд происходит насыщение межзвездной среды тяжелыми элементами. В этой среде впоследствии рождаются новые звезды, планеты и наша углеродная форма жизни.



В древности, когда на небе внезапно загоралась яркая звезда, люди предполагали, что возникла новая звезда, родившаяся в этот момент. Теперь известно, что на самом деле звезда в этот момент не рождается, а взрываясь, умирает, завершая свой жизненный цикл. Однако название таких звезд осталось прежним — сверхновые звезды.

**Нейтронные звезды.** *Нейтронная звезда* — это звезда, сжатие ядра в которой не прекращается до тех пор, пока протоны, захватывая электроны, не превратятся в нейтроны.

Масса нейтронной звезды больше солнечной в 1,4—3 раза, при этом ее диаметр составляет 10... 20 км. Плотность таких звезд чрезвычайно высока, она близка к плотности атомного ядра: 1 см<sup>3</sup> будет весить примерно 100 000 000 т! Сила тяжести на поверхности нейтронной звезды примерно в 100 млрд раз выше, чем на Земле. Благодаря наличию магнитного поля и быстрому вращению звезды происходит направленное излучение электромагнитных волн в различных диапазонах. На Земле фиксируют импульсы излучения различных нейтронных звезд с периодом от нескольких секунд до нескольких миллисекунд.



**Черные дыры.** *Черная дыра* является конечным этапом эволюции массивных звезд при условии, что масса остатков звезды более 3 солнечных масс. Когда объект такой массы сжимается до размеров нескольких километров, поле тяготения оказывается настолько сильным, что вторая космическая скорость, необходимая для того, чтобы преодолеть притяжение звезды, становится больше скорости

света. Вблизи звезды никакие объекты, движущиеся со скоростью света, не способны преодолеть силы ее притяжения, в том числе и сам свет. Граница, из которой не могут вырваться объекты даже со скоростью света, называется *горизонтом событий*. Никто не знает наверняка, как выглядит черная дыра, но скорее всего, что вещество, летящее к ее

Рис. 3.7

Черная дыра  
(в представлении  
художника)

поверхности, разгоняется и разогревается и, перед тем как нырнуть за горизонт событий, должно светиться. Поэтому выглядеть она будет не как круглый черный диск, а как сияющий ореолом объект (рис. 3.7).



Чтобы Земля стала черной дырой, ее надо сжать до размеров горошины. Для превращения Солнца в черную дыру его нужно уменьшить до 3 км.

Резюме. Современные астрономы знакомы со многими видами звезд. Приведенный перечень не исчерпывает всего возможного многообразия звезд во Вселенной. Среди перечисленных конечными стадиями эволюции звезд различной массы являются белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие виды звезд вы знаете?
2. Какие звезды называют желтыми карликами?
3. Дайте определение белым карликам.
4. Расскажите о красных карликах.
5. Что вы знаете о коричневых карликах?
6. Какие звезды называют красными гигантами?
7. Расскажите о сверхновых звездах.
8. Что такое нейтронная звезда?
9. Какие звезды называют черными дырами?
10. Почему Солнце не может вспыхнуть, как сверхновая звезда?
11. Что такое горизонт событий?

#### **ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Составьте сравнительную таблицу нейтронных звезд и черных дыр и заполните ее.

#### **ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. Описание жизни коричневых карликов.
2. Планетарные туманности и остатки сверхновых звезд, запечатленные на фотографиях звездного неба.
3. История исследования нейтронных звезд.
4. История открытия черных дыр.
5. Удивительные свойства пространства-времени вблизи черных дыр.

### 3.4. Звездные системы

**Двойные и кратные звездные системы.** Звездные системы могут состоять из одной, двух или более звезд. Самым распространенным типом (на них приходится примерно 50 % наблюдаемых звезд) являются двойные звездные системы, когда две звезды, гравитационно связанные друг с другом, обращаются вокруг общего центра масс.

Еще около 20 % — кратные звездные системы, состоящие из трех и более звезд. Бывают случаи, когда более десятка звезд образуют систему. В таком случае они называются *звездным скоплением*. Если такая звездная система не слишком удалена от Земли, то в телескоп удастся различить отдельные звезды. Например, Мицар, яркая звезда в середине ручки ковши Большой Медведицы, имеет менее яркий спутник — Алькор. Наблюдения в мощные телескопы показали, что обе эти звезды входят в состав шестикратной звездной системы.

Наиболее известная Полярная звезда входит в состав тройной системы. Третья по яркости звезда на небе —  $\alpha$  Центавра — на самом деле состоит из двух желтых карликов, похожих на Солнце ( $\alpha$  Центавра А,  $\alpha$  Центавра В), и красного карлика — Проксима Центавра (рис. 3.8). Это — ближайшая к нам звездная система. На данный момент Проксима находится немного ближе к Солнечной системе, чем остальные звезды в этой тройной системе.

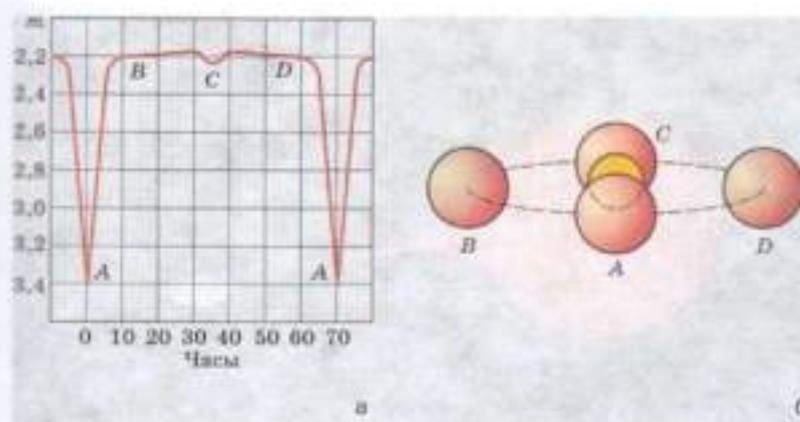
Если же расстояние до звезд значительное, то определить, звезда это или звездная система, можно по косвенным признакам. Некоторые двойные звездные системы удалось обнаружить по периодическому изменению их блеска. Если направление от наблюдателя на центр масс двойной звезды проходит вблизи плоскости их орбиты, то наблюдатель видит затмения, при которых одна звезда на время заслоняет другую. Одна из самых известных затменно-двойных звезд —



Рис. 3.8

Сравнительные размеры Солнца и звезд в тройной звездной системе  $\alpha$  Центавра





## СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Звезда Алголь  
( $\beta$  Персея):  
а — кривая блеска  
звезды;  
б — взаимное  
расположение  
элементов этой  
двойной звездной  
системы

Рис. 3.9

Алголь ( $\beta$  Персея), ее арабское название означает «Глаз дьявола». С четкой периодичностью в 69 ч ее яркость падает до третьей видимой звездной величины ( $3^m$ ), но через 7 ч она вновь возрастает до второй ( $2^m$ ). На рис. 3.9, а изображена кривая блеска звезды Алголь, на рис. 3.9, б — взаимное расположение элементов этой двойной звездной системы.

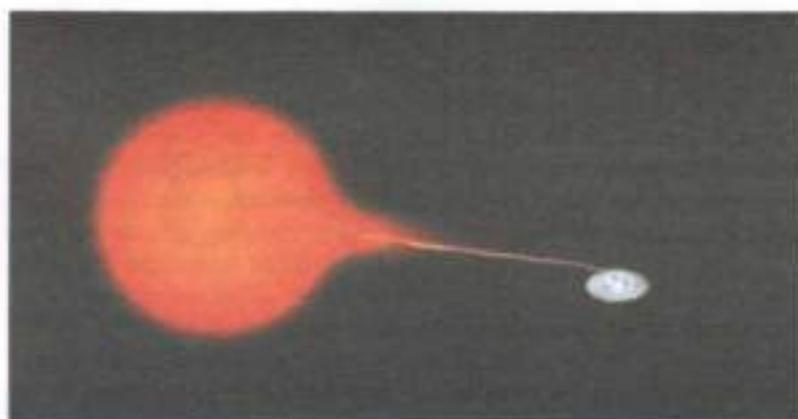
Из анализа изменения блеска с течением времени для затменно-двойных звезд астрономы могут определить ряд важных физических характеристик: радиусы и массы этих звезд. Еще один способ определения двойных звездных систем — по спектральным линиям звезд, которые смещаются в синюю часть спектра по мере приближения одной звезды этой системы к наблюдателю или в красную часть спектра по мере удаления светила от наблюдателя.

**Новые звезды.** *Новая звезда* представляет собой двойную систему, состоящую из белого карлика и звезды-компаньона, обычно находящейся на главной последовательности (рис. 3.10). В таких системах газ со звезды постепенно перетекает на белый карлик и периодически там взрывается, увеличивая яркость звездной системы в тысячи, а иногда и в сотни тысяч раз. Наблюдатели с Земли называют это явление *рождением новой звезды*. До этого тусклый, возможно, и невидимый для земного наблюдателя объект приобретает заметную яркость. Как правило, максимума яркости такая вспышка достигает всего за несколько дней, а затухать может годами. Также вокруг новой звезды можно наблюдать расширяющуюся газовую оболочку.

Если при движении потоков звездного вещества от одного элемента звездной системы к другой масса принимающей вещество звезды превысит определенный предел (примерно

Сильное гравитационное притяжение белого карлика притягивает вещество из звезды-компаньона (в представлении художника)

Рис. 3.10



три солнечных массы), происходит более грандиозное и редкое событие — вспышка сверхновой звезды.

Особый интерес вызывают двойные системы, компонентами которых являются черные дыры или нейтронные звезды. Астрономы наблюдали звездные системы, в которых один из компонентов двойной системы является обычной звездой, а второй — очень массивным и невидимым объектом, имеющим источник мощного рентгеновского излучения. Можно предположить, что второй элемент представляет собой черную дыру, которая притягивает вещество второй звезды благодаря чудовищному тяготению. Двигаясь по спирали с огромной скоростью, потоки звездного газа разогреваются, выделяя перед исчезновением в дыре энергию в виде рентгеновского излучения.



Многие звезды рождаются в парах. Это — двойные звезды, где два светила вращаются по орбите вокруг общего центра тяжести. Есть и другие системы с тремя, четырьмя и даже большим количеством участников. Только подумайте, какие красивые восходы можно увидеть на планете в четырехзвездной системе.

**Цефеиды.** Существует особый вид звезд с переменной светимостью — **цефеиды**. Это — желтые яркие гиганты или сверхгиганты спектральных классов F и G, блеск которых изменяется с периодом от 1 до 200 сут. Одной из наиболее известных цефеид является Полярная звезда. Первая открытая астрономами звезда переменного типа —  $\delta$  Цефея. В честь нее этот класс звезд и получил свое название. Период колебаний для  $\delta$  Цефея составляет 5,4 дня. При этом спектральный класс звезды меняется в ходе цик-

ла от G2 в минимуме (как у Солнца) до F5 в максимуме (рис. 3.11). Причиной изменения блеска цефеид является пульсация их внешних слоев, что приводит к периодическим изменениям радиуса и температуры их фотосфер. Звезда становится то больше и холоднее, то меньше и горячее. Наибольшая светимость достигается при наименьшем диаметре (рис. 3.12).

Цефеиды обычно изменяют свою светимость в начале жизни и при ее завершении. Светимость цефеид напрямую зависит от периода их пульсации: чем больше период, тем интенсивнее светимость звезды. Астрономы называют цефеиды маяками Вселенной. Обнаруживая цефеиды в далеких звездных системах и измеряя период их пульсаций, можно вычислить расстояние до этих систем, даже если они находятся в других галактиках. Это важно, потому что годичный параллакс для столь далеких объектов невозможно измерить.

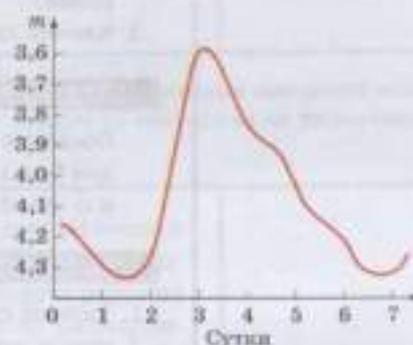


Рис. 3.11

Кривая блеска звезды Б Цфеид



Светимость цефеид напрямую зависит от периода их пульсации: чем больше период, тем интенсивнее светимость звезды. Большинство цефеид можно увидеть невооруженным глазом. Многие из них удалены от Земли на расстоянии свыше 60 млн световых лет.

**Резюме.** Большинство звезд во Вселенной (70%) является частью звездных систем: двойных или кратных. В результате перемещения вещества от одной звезды к другой могут наблюдаться катастрофические вспышки новых и сверхновых звезд. Развитие современных методов исследования привело к открытию планет у других звезд — экзопланет. Наша Солнечная система оказалась не уникальна, множество звезд обладают планетными системами.

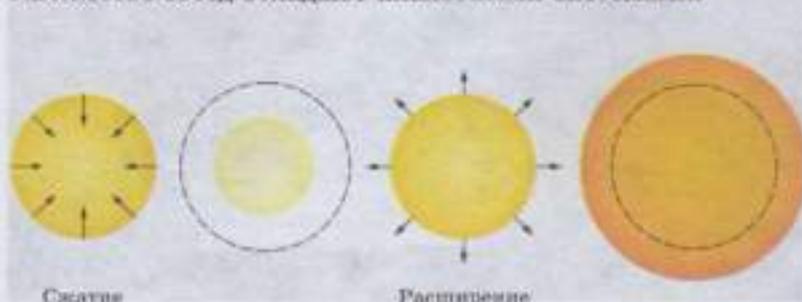


Рис. 3.12

Пульсация цефеид

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие звездные системы называются двойными и кратными?
2. К какому типу принадлежит ближайшая к Земле звездная система?
3. Какими процессами сопровождается рождение новых звезд?

#### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Покажите на звездной карте звезды Мицар и Алькор в созвездии Большой Медведицы, Полярную звезду в Малой Медведице и  $\alpha$  Центавра в созвездии Центавра.

#### ТЕМЫ ДЛЯ ДОКЛАДОВ

1. Тройная система Полярной звезды.
2. Новые звезды.
3. Цефеиды — маяки Вселенной.

### 3.5. Наша Галактика — Млечный Путь

**Млечный Путь.** Вдали от городов в безоблачную и безлунную ночь на небе хорошо заметна полоса светло-молочного цвета (рис. 3.13). При наблюдении в бинокль или телескоп становятся видны отдельные звезды, из которых она состоит. Загадочная и величественная полоса представляет

Рис. 3.13

Млечный Путь



собой область, в которой сосредоточена большая часть звезд нашей Галактики — гигантской звездной системы с поэтическим названием Млечный Путь. Все звезды, которые мы видим невооруженным глазом, включая Солнце, принадлежат этой Галактике.

**В 1609 г. Г. Галилей провел первые телескопические наблюдения звездного неба. Он первым увидел, что свет Млечного Пути исходит от множества не различимых невооруженным глазом звезд.**

Опоясывающий небо Млечный Путь проходит по созвездиям Возничего, Персея, Кассиопеи, Цефея, Стрельца, Ориона, Тельца и др. Эта полоса имеет неодинаковую ширину и яркость на различных участках, границы ее размыты. В созвездии Стрельца полоса Млечного Пути достигает наибольшей ширины. Именно в этом направлении находится центр ядра нашей Галактики с очень высокой концентрацией звезд. По современным оценкам, она содержит от 200 до 400 млрд звезд.

Молодые звезды и звездные скопления, возраст которых не превышает нескольких миллиардов лет, концентрируются вблизи плоскости диска.



**Звездные скопления — это гравитационно-связанные группы звезд, которые имеют общее происхождение.**

Звездные скопления движутся как единое целое и могут быть как рассеянными, так и шаровыми.

*Рассеянные звездные скопления* имеют неправильную форму и клочковатый вид, содержат от нескольких десятков до нескольких тысяч молодых звезд и видны вблизи Млечного Пути. Ближайшие к нам рассеянные звездные скопления — Плеяды (рис. 3.14) и Гиады — находятся в созвездии Тельца.

*Шаровые звездные скопления* имеют форму сферы или эллипсоида (рис. 3.15), они насчитывают от десятков тысяч до миллионов старых звезд. Одно из самых ярких и больших — шаровое скопление NGC 5139 в созвездии Центавра.

Кроме звезд в состав Галактики входят тысячи гигантских облаков газа и пыли, скоплений и туманностей. Газ вблизи плоскости диска Галактики распределен неравно-

Рассеянное звездное  
скопление — Плеяды

Рис. 3.14



мерно, образуют многочисленные газовые облака — от неоднородных по структуре гигантских (протяженностью свыше нескольких тысяч световых лет) (рис. 3.16) до небольших облаков (размером не больше 1 пк) (рис. 3.17).

В межзвездном пространстве пыль всегда сопутствует газу. На ее долю приходится около 1% от массы газа. Пылинки имеют различную форму и состоят из различных химических веществ (силикатов, графита, льда), некоторые покрыты сверху оболочкой из замерзших газов. За миллионы лет даже при низкой температуре в пылинках

Рис. 3.15

Шаровое скопление  
в созвездии Центавра



происходят сложные химические процессы с образованием молекул воды, этилена, синильной кислоты, этилового спирта и др. Зарегистрировано около 90 типов молекул, некоторые из них содержат до 13 атомов.

Пылевые облака состоят из мельчайших твердых частиц, которые попадают в межзвездную среду за счет расширения оболочек новых и сверхновых звезд, планетарных туманностей, холодных красных гигантов и сверхгигантов. Концентрация газа в облаках составляет несколько десятков атомов на  $1 \text{ см}^3$  и по крайней мере в 100 раз меньше в пространстве между облаками.

Если бы газовые и пылевые облака не перекрывали нам обзор, мы видели бы больше звезд, галактический центр сиял бы ярче полной Луны и ночью было бы намного светлее.

Мелкая космическая пыль не только ослабляет свет звезд, но и меняет его цвет. Частицы такого размера сильнее всего поглощают синие лучи. В результате этого происходит покраснение света звезд, прошедших через межзвездную среду.

Кроме газовых и пылевых облаков межзвездное пространство включает в себя межзвездные электромагнитные поля, космические лучи, а также гипотетическую темную материю.



**Рис. 3.16**

Столпы Творения — скопления межзвездного газа и пыли в туманности Орел (примерно 7 тыс. световых лет от Земли)



**Рис. 3.17**

Туманность Канская Голова — часть газопылевого облака в созвездии Орион



Рис. 3.18

Виртуальное изображение Млечного Пути

Рис. 3.19

Виртуальное изображение Млечного Пути

Виртуальное изображение Млечного Пути

Космические лучи представляют собой потоки элементарных частиц и ядер различных атомов, движущихся со скоростями, близкими к скорости света. Они пронизывают все межпланетное и межзвездное пространство. На площадку в  $1 \text{ м}^2$  ежесекундно попадает в среднем около 10 тыс. различных частиц.

**Строение Галактики.** Большая часть газопылевой материи сосредоточена в огромных спиральных рукавах, отходящих от шарообразного вадутия — утолщения в центре Галактики. Конечно, мы не можем увидеть нашу Галактику со стороны, однако получено ее виртуальное изображение (рис. 3.18).

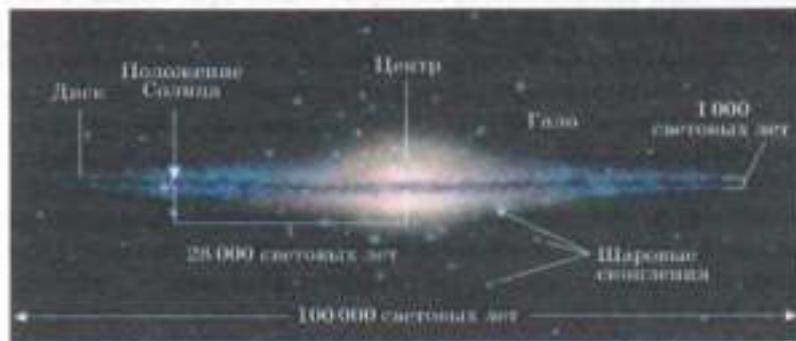
На схеме, представленной на рис. 3.19, а, показано расположение четырех спиральных рукавов и темной зоны — невидимой с Земли области, заслоняемой ядром Галактики. Желтым кружком отмечено положение нашей Солнечной системы.

Солнце находится примерно на равном расстоянии от двух спиральных ветвей — рукавов Стрельца и Персея, названных по имени созвездий, в которых обнаруживаются их участки. Расстояние до них составляет 3 тыс. световых лет.

В строении Галактики (рис. 3.19, б) выделяют три подсистемы:

1) относительно тонкий диск со спиральной структурой из звезд, газа и пыли диаметром 100 тыс. световых лет и толщиной несколько тысяч световых лет;





Строение нашей Галактики и положение Солнечной системы: а — схематическое представление; б — фотографии

Рис. 3.19

2) сферическое гало, состоящее в основном из очень старых, неярких и немассивных звезд, встречающихся как поодиночке, так и в виде шаровых скоплений. Гало окружает очень разреженная и большая по размерам (50 ... 60 кпк) внешняя часть Галактики — корона;

3) центральная область Галактики — балдж и его ядро. Балдж представляет собой сферическое утолщение в центральной части диска, в нем находятся в основном старые звезды.

Для центральных участков Галактики характерна сильная концентрация звезд — несколько тысяч в одном кубическом парсеке, что в десятки и сотни раз меньше, чем расстояние между звездами в окрестностях Солнца. В центре

Галактики предполагается существование сверхмассивной черной дыры.

Горячие молодые звезды содержатся в рукавах Галактики, являющихся областями формирования звезд. В спиральных рукавах, где много пыли и газа — в зонах повышенной плотности, происходит активное звездообразование.

Наше Солнце расположено ближе к краю диска, именно поэтому большая часть звезд нашей Галактики видна нам в виде полосы Млечного Пути.



Каждый год в Галактике появляется до 7 новых звезд, а каждые 50 лет одна из крупных звезд взрывается, образуя сверхновую звезду.

Вид ковш  
в созвездии  
Большая Медведица  
100 тыс. лет назад (а),  
в настоящее время (б)  
и через  
100 тыс. лет (в)

Рис. 3.20

**Вращение Галактики.** Впервые движение звезд друг относительно друга было замечено в 1718 г. английским астрономом Э. Галлеем. Сравнивая наблюдавшиеся в его время положения звезд с теми, которые были приведены в каталогах Гиппарха (II в. до н. э.), он заметил смещение ярких звезд Сириуса и Прочнона на  $0,7^\circ$ , Арктира более чем на  $1^\circ$ . Благодаря собственному движению звезд относительно Солнца происходит постоянное изменение вида звездного неба (рис. 3.20).

Изменение относительного расположения звезд происходит очень медленно, в течение тысячелетий. Анализируя значения скорости движения звезд, удалось установить, что наша Галактика вращается вокруг центрального уплотнения. Вместе с другими звездами Солнце тоже движется вокруг центра Галактики со скоростью примерно 230 км/с, совершая один оборот за 225—250 млн земных лет.



Период времени, за который Солнечная система совершает один оборот вокруг центра нашей Галактики, называется **галактическим годом**.

За все время своего существования Солнце совершило не более 30 оборотов вокруг центра Галактики.

Резюме. Наша Галактика Млечный Путь — это огромная гравитационно-связанная система миллиардов звезд и тысяч газопылевых облаков, которая включает звезды различных типов и межзвездную среду, в том числе магнитные поля и космические лучи. Все звезды диска Галактики обращаются вокруг ее ядра по орбитам, близким к круговым.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое Млечный Путь?
2. Через какие созвездия проходит Млечный Путь?
3. Как устроена наша Галактика?
4. Чем отличаются звезды диска Галактики от звезд гало?
5. Каковы особенности вращения нашей Галактики?

#### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Найдите в словаре значение слов «галактика», «гало», «балдж».

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Млечный Путь в мифах и легендах народов мира.
2. Методы определения пространственных скоростей звезд.
3. Наша Галактика: форма и состав газовых туманностей и молекулярных облаков.
4. Межзвездная пыль: природа и свойства.

## 3.6. Другие галактики

Типы галактик. Наша Галактика Млечный Путь, конечно, не единственная во Вселенной. Крупнейшие современные телескопы способны увидеть множество других галактик (рис. 3.21), каждая из которых состоит из миллиардов звезд. Предполагают, что в видимой части Вселенной находится около 100 млрд галактик. Среди наблюдаемых галактик есть напоминающие нашу, но попадаются и совершенно отличные.



Не так давно астрономы обнаружили 26 новых черных дыр в соседней галактике Туманность Андромеды. На сегодняшний день это самое большое скопление черных дыр, обнаруженных в галактиках, не считая Млечный Путь.



Скопление галактик

Рис. 3.21



Свет от самых далеких галактик идет к нам около 13,4 млрд лет. Самая близкая галактика Большое Магелланово Облако (рис. 3.22) находится на расстоянии 163 тыс. световых лет. Большое и Малое Магеллановы Облака являются карликовыми галактиками, спутниками нашей.



Магеллановы Облака названы в честь Фернана Магеллана, наблюдавшего эти галактики в виде туманных пятен в 1519 г. во время кругосветного путешествия. Магеллан использовал их для навигации как альтернативу Полярной звезде, не видимой в южных широтах. Большое Магелланово Облако занимает область неба Южного полушария в созвездиях Золотая Рыба, Малое Магелланово Облако — в созвездии Тулан, и с территории России они никогда не видны.

Рис. 3.22

Большое  
Магелланово Облако





Туманность  
Андромеды —  
ближайшая  
спиральная галактика

Рис. 3.23

Ближайшей крупной по размерам галактикой, похожей на нашу, считается спиральная галактика Туманность Андромеды (рис. 3.23). Она находится на расстоянии примерно 2,5 млн световых лет от нас. Расстояние между нашей Галактикой и Туманностью Андромеды постепенно сокращается. Они приближаются друг к другу со скоростью примерно 100...140 км/с, но встретятся только через 4 млрд лет.



Невероятно тусклое скопление 1 тыс. звезд, которое вращается вокруг Млечного Пути, — самая легкая по массе галактика, из когда-либо открытых. Эта карликовая галактика была обнаружена в созвездии Овна в 2007 г. и получила название Segue 2. Ее материал удерживается вместе благодаря небольшому скоплению темной материи. Эта галактика всего в 900 раз ярче Солнца, тогда как (для сравнения) Млечный Путь в 20 млрд раз ярче нашей звезды.

Галактики очень отличаются друг от друга размерами, формой, светимостью, числом входящих в них звезд. Для обозначения галактик используются разные каталоги, например, каталог Мессье (M) и Новый общий каталог (New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars — NGC), в которых одни и те же галактики имеют разные номера. В 1926 г. американский астроном Э. Хаббл предложил свою классификацию галактик, в которой он разделил их на три основных типа: эллиптические (E), спиральные (S) и неправильные (Ir) (рис. 3.24). В современной классификации к ним добавили линзовидные (S0). Различные типы галактик расположены таким образом, что содержание пыли и молодых звезд увеличивается слева направо.

Классификация  
галактик Э. Хаббла

Рис. 3.24



**Эллиптические галактики** — класс галактик с четко выраженной сферической структурой и уменьшающейся к краям яркостью (рис. 3.25). Во Вселенной именно эллиптические галактики являются самыми большими. Они сравнительно медленно вращаются, заметное вращение наблюдается только у галактик со значительным сжатием. В связи с этим они подразделены на восемь подклассов — от E0 (шаровая форма, сжатие отсутствует) до E7 (наибольшее сжатие). Эллиптические галактики состоят в основном из старых красных и желтых гигантов, красных, желтых и белых карликов. Образование звезд в галактиках этого типа не идет уже несколько миллиардов лет, потому что холодного газа и космической пыли в них почти нет. В центре эллиптических галактик находится сверхмассивная черная дыра.

Примерно половина всех наблюдаемых галактик имеет спиральную структуру. К **спиральным галактикам** относятся Млечный Путь и Туманность Андромеды. Все спиральные галактики вращаются со значительными скоростями, поэтому звезды, пыль и газы сосредоточены у них в узком диске (рис. 3.26). Пылевая материя видна как темные полосы на непрерывном фоне звезд галактики. Обилие газовых и пылевых облаков и присутствие ярких голубых



Эллиптическая  
галактика M87  
в созвездии Девы

Рис. 3.25

гигантов говорят об активных процессах звездообразования, происходящих в спиральных рукавах этих галактик. Центральная выпуклость по центру спиральной галактики содержит старые звезды, подобно эллиптической галактике. В самом центре практически всегда присутствует огромная черная дыра, масса которой соответствует миллионам масс Солнца. Диск спиральных галактик погружен в разреженное слабосветящееся облако звезд — гало, которое содержит шаровые скопления старых звезд.

Различают два типа спиральных галактик:

- Sa, Sb, Sc, Sd — спиральные галактики, состоящие из балджа (сферическое утолщение в центре галактики)



Рис. 3.26

Спиральная галактика  
Сомбрера  
в созвездии Девы

Спиральная галактика  
Вертушка

Рис. 3.27



и внешнего диска, содержащего рукава (рис. 3.27). Буква в обозначении галактики показывает, насколько плотно расположены рукава;

- SBa, SBb, SBc, SBd — спиральные галактики с яркой перемычкой (баром), пересекающей центральный балдж, от которого отходят рукава (рис. 3.28). Наша

Рис. 3.28

Спиральная галактика  
с перемычкой  
в созвездии Золотая Рыбка



Галактика также относится к спиральным галактикам с перемычкой.

В классификации Хаббла присутствует еще один тип галактик — S0, промежуточный тип между E7 и спиральными Sa. Они отличаются от эллиптических, поскольку имеют выпуклость и тонкий диск, но не похожи на Sa, потому что не имеют спиральной структуры. Такие галактики называют *линзовидными* (рис. 3.29). Активное звездообразование в этих галактиках не идет, так как межзвездного вещества почти нет.

*Неправильные галактики* — это галактики, которые не обнаруживают ни спиральной, ни эллиптической структуры. Такие галактики имеют хаотичную форму без ярко выраженного ядра и спиральных ветвей (рис. 3.30 и 3.31). Неправильные галактики содержат много газа (в основном



**Рис. 3.29**

Верелена —  
линзовидная  
галактика  
в созвездии Дракон

Неправильная  
галактика NGC 1427A  
в созвездии Эридан

**Рис. 3.30**



нейтрального водорода) — до 50% их общей массы и имеют низкую светимость. Они составляют примерно четверть от наблюдаемых галактик.

В прошлом считалось, что Большое и Малое Магеллановы Облака относятся к неправильным галактикам. Однако позже было обнаружено, что они имеют спиральную структуру с баром.

**Рис. 3.31**

Неправильная  
галактика NGC 4449  
в созвездии  
Гонимые Псы





Активное ядро  
галактики,  
выбрасывающее  
газовые струи —  
джеты

Рис. 3.32

**Активные ядра галактик.** Центральная часть любой галактики — ее ядро, которое всегда отличается своей яркостью. В ядрах некоторых наблюдаемых галактик происходит колоссальное выделение энергии, которое нельзя объяснить излучением или взрывами обычных звезд. Такие галактики получили название *галактики с активными ядрами*.

Формы проявления активности ядер галактик различны. Большое количество энергии может выделяться в инфракрасной, видимой или рентгеновской области спектра. Причем мощность излучения меняется за сравнительно небольшое время: от нескольких дней до нескольких лет. При этом в ядре может наблюдаться движение газа со скоростью около 1000 км/с. Иногда газ образует длинные прямолинейные газовые струи — *джеты* (рис. 3.32). Мощные потоки электронов и протонов высокой энергии движутся из ядра в противоположных направлениях, создавая радиоизлучение. Наиболее вероятная гипотеза, объясняющая активность ядер, предполагает наличие массивной черной дыры в центре галактики.

Один из типов наблюдаемых галактик с активными ядрами — *радиогалактики* (рис. 3.33 и 3.34). Они обладают мощным радиоизлучением, превосходящим их излучение в оптическом (видимом) диапазоне.



Рис. 3.33

Гигантская  
эллиптическая  
радиогалактика  
NGC 1316  
в созвездии Печь

Линзовидная  
радиогалактика  
Центавр А (NGC 5128)  
в созвездии Центавр

Рис. 3.34



В начале 60-х гг. XX в. ученые открыли самые мощные источники видимого и инфракрасного излучения во Вселенной — *квазары*. Это очень компактные и в то же время очень яркие объекты, излучающие энергии в десятки раз больше, чем крупные галактики (рис. 3.35). Название «квизар» (*quasar*) — сокращение употребившегося ранее термина «звездообразный радиисточник» (*quasi-stellar radio source*), хотя теперь известно, что многие квазары не очень активны в радиодиапазоне.

Квизары являются самыми отдаленными объектами в известной нам Вселенной. Это удалось определить по зна-

Рис. 3.35

Квизар, окруженный  
диском газа



чительному смещению спектральных линий в их спектрах в красную область, означающему, что квазары удаляются от нас с огромной скоростью.

**Взаимодействующие галактики.** Между близкорасположенными галактиками астрономы иногда наблюдают полосу светящейся материи, состоящей из газа и горячих молодых звезд. Благодаря близкому соседству взаимная гравитация влияет на форму галактик, движение вещества и звезд, процессы звездообразования и обмен веществом между ними. Такие галактики называют *взаимодействующими* (рис. 3.36 и 3.37).



Удивительное изображение двух сталкивающихся галактик было получено с помощью космического телескопа «Хаббл». Две галактики напоминают пингвина, который склонился над яйцом. Обе эти галактики расположены в районе созвездия Гидра на расстоянии 326 млн световых лет от Земли.

Часто встречается взаимодействие крупной дисковой галактики с небольшим спутником. Гравитация спутника



**Рис. 3.36**

Группа взаимодействующих галактик в созвездии Андромеды, находящаяся на расстоянии 300 млн световых лет от Земли

Взаимодействующие  
галактики Милки

Рис. 3.37



может деформировать форму диска и нарушить структуру спиральных ветвей. Большая галактика в свою очередь может притянуть часть вещества спутника. Галактика Водоворот (M51), наблюдаемая на фоне созвездия Гончие Псы (рис. 3.38), состоит из большой спиральной галактики, на конце одного из рукавов которой находится галактика-спутник. Галактика расположена на расстоянии 23 млн световых лет.

Иногда встречаются целые группы взаимодействующих галактик. Кантегг Стефана — группа из пяти галактик в созвездии Пегаса, четыре из которых взаимодействуют друг с другом (рис. 3.39). Взаимодействующие галактики имеют

Рис. 3.38

Галактика  
Водоворот (M51)  
и ее спутник  
NGC 5195





СТРОЕНИЕ  
И ЭВОЛЮЦИЯ  
ВСЕЛЕННОЙ

Квиплет Стефана – группа из четырех взаимодействующих галактик

Рис. 3.39

желтоватую окраску, искривленные петли и хвосты, форма которых обусловлена влиянием разрушительных приливных гравитационных сил. Голубоватая галактика, расположенная на рис 3.39 сверху слева, находится гораздо ближе остальных, всего в 40 млн световых лет от нас, и не является членом взаимодействующей группы.

Наша Галактика тоже является взаимодействующей. В настоящий момент она поглощает карликовую эллиптическую галактику, находящуюся на противоположной от нас стороне галактического диска. Через несколько миллиардов лет наша Галактика поглотит Магеллановы Облака, а через 4 млрд лет столкнется с Туманностью Андромеды. При этом вероятность того, что будут сталкиваться отдельные звезды очень мала, так как они удалены одна от другой на расстояния, в сотни миллионов раз превышающие их диаметр. Предполагается, что около 2 млрд лет назад

**СТРОЕНИЕ  
И ЭВОЛЮЦИЯ  
ВСЕЛЕННОЙ**

уже происходило столкновение Млечного Пути с другой галактикой.

**Резюме.** Галактики — гигантские гравитационно-связанные системы звезд и межзвездного вещества, расположенные за пределами Млечного Пути. По внешнему виду и структуре галактики классифицируются на эллиптические, спиральные, неправильные и линзовидные. Квазары — самые мощные по электромагнитному излучению объекты во Вселенной, они считаются активными ядрами далеких галактик. Астрономические наблюдения подтверждают, что взаимодействие и столкновения галактик представляют собой довольно распространенное явление во Вселенной.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. К какому типу относится наша Галактика?
2. Как называется ближайшая спиральная галактика?
3. На какие типы можно разделить галактики? В чем их особенности?
4. Что называется активными ядрами галактик?
5. Каковы особенности излучения радиогалактик и квазаров?
6. Какие явления наблюдаются при взаимодействии галактик?
7. К чему может привести столкновение галактик друг с другом?

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Заполните таблицу.

Классификация космических систем по основным физическим характеристикам

Космические системы (звезды, планеты и системы)	Масса	Блеск	Скорость (км/с)	Состав	Прочие
<b>Активные галактики</b>					
<b>Нормальные галактики:</b>					
неправильные					
линзовидные					
спиральные					
эллиптические					

Окончание таблицы

Галактические скопления (или группы галактик)	M87	M49	M31	M32	M111
Галактические скопления:					
взаимодействующие галактики					
группы галактик					
скопления галактик					
сверхскопления галактик					

ТЕМЫ ДЛЯ ДОКЛАДОВ

1. Наша Галактика.
2. Происхождение и эволюция галактик.
3. Взаимодействующие галактики.

### 3.7. Метагалактика

**Метагалактика и ее строение.** Наблюдения показывают, что галактики редко встречаются поодиночке, большинство из них образуют гравитационно-связанные группы — **скопления галактик**. Размеры скоплений достигают десятков миллионов световых лет. Млечный Путь и Туманность Андромеды образуют Местную группу галактик, в которую входит около 50 других объектов, в том числе и галактика Треугольник, третья по размеру в нашей группе (рис. 3.40).



Международный исследовательский проект **The Six Degree Field Galaxy Survey** открыл наличие в Метагалактике (наблюдаемой части Вселенной) огромных космических пустостей. Новая сверхгигантская пустыня диаметром около 3,5 млрд световых лет поражает воображение даже выдавших виды специалистов. Но главное, ее существование противоречит общепринятой теории, ведь с момента возможного Большого взрыва прошло 14 млрд лет, а этого времени явно недостаточно для создания пустоты таких размеров.

Местная группа галактик сравнительно невелика, более крупные скопления содержат тысячи галактик. В космосе встречаются протяженные цепочки из скоплений галактик, гигантские плоские поля, усеянные такими скоплениями

Галактика  
Треугольника —  
спиральная галактика  
в созвездии  
Треугольник

Рис. 3.40

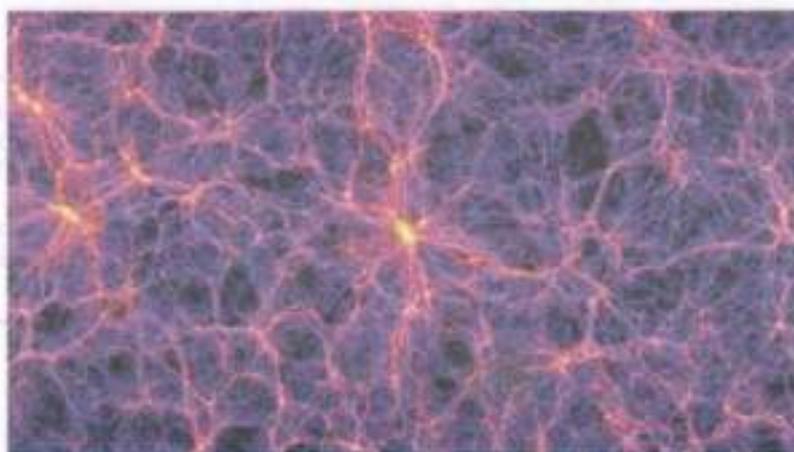


и одиночными галактиками. Скопления галактик образуют еще большие группы — *сверхскопления*, которые включают до двадцати галактических скоплений, расположенных в галактических нитях или улах их пересечения. Размеры сверхскоплений достигают сотен миллионов световых лет.

По современным представлениям, для наблюдаемой части Вселенной характерна *ячеисто-сотовая структура*. На рис. 3.41 показаны отдельные галактики (едва заметные вкрапления) и скопления галактик (более крупные и яркие вкрапления). Между условными «стенками» ячеек находятся гигантские пустоты размером около 100 Мпк при толщине стенки всего 3...4 Мпк.

Рис. 3.41

Ячеисто-сотовая  
структура Вселенной



Наблюдаемую часть Вселенной принято называть Метагалактикой. Возможно, мы видим почти всю Вселенную, а может быть лишь ее малую часть. По мере совершенствования телескопов и получения новой информации становится понятно, что размеры Метагалактики намного больше, чем представлялось ранее. Свет от самых далеких областей шел к Земле около 13,6 млрд лет. За горизонтом видимости могут располагаться загадочные внеметагалактические объекты.

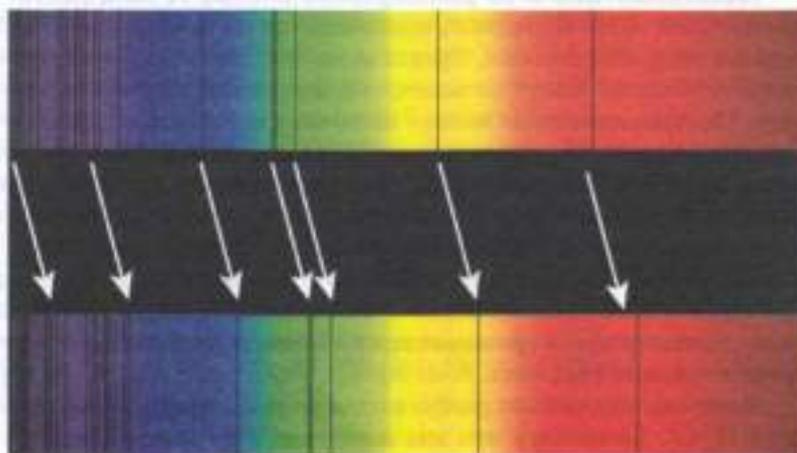


Млечный Путь вместе со всем скоплением Девы перемещается в пространстве со скоростью 600 км/с в сторону неизвестного объекта под названием Великий Атрактор, его масса превышает массу нашей Галактики в десятки тысяч раз.

Практически всю историю человечества звездное небо, считалось статичным, т. е. неизменным во времени. Но в XVIII в. было открыто движение звезд в нашей Галактике, а в 1912—1914 гг. американский астроном В. Слайфер обнаружил, что спектральные линии у далеких галактик сдвинуты в длинноволновую (красную) часть спектра (рис. 3.42). Оказалось, что в спектре движущегося источника они смещаются на величину, пропорциональную скорости его при-



Сдвиг спектральных линий в фиолетовую (коротковолновую) часть спектра называется синим смещением. Такое смещение наблюдается в спектрах звезд и галактик, которые с огромной скоростью приближаются к нам. Соответственно, по синему смещению можно определить скорость приближения объекта к Земле.



**Рис. 3.42**

Красное смещение спектральных линий далеких галактик

ближения или удаления, и по положению спектральных линий можно вычислить скорость этого объекта. Красное смещение можно объяснить тем, что галактики удаляются от нас со скоростью сотен километров в секунду.

В 1929 г. американский ученый Э. Хаббл определил расстояния до некоторых галактик и их скорости. Оказалось, что чем дальше находится галактика, тем с большей скоростью она от нас удаляется. Закон всеобщего разбегания галактик назвали **законом Хаббла**. Согласно ему на каждый 1 млн пк расстояния до объекта скорость убегания увеличивается приблизительно на 75 км/с. Эту величину — коэффициент пропорциональности между скоростью удаления внегалактических объектов и расстоянием до них — назвали **постоянной Хаббла**.

Математическая запись закона Хаббла выглядит так:

$$v = Hr,$$

где  $v$  — скорость отдаляющегося объекта, км/с;  $H$  — постоянная Хаббла,  $H = 75$  км/(с • Мпк);  $r$  — расстояние до объекта, Мпк.

Численное значение постоянной Хаббла продолжает уточняться.

Закон Хаббла наиболее точно выполняется для далеких галактик и их скоплений и применяется, когда другие методы определения расстояний использовать невозможно. Этот закон имеет свои границы применимости, он выполняется точно только для далеких галактик, расстояние до которых превышает 5... 10 Мпк. Ближайшие к нам галактики, взаимодействуя между собой, могут как удаляться, так и приближаться к Млечному Пути.

Метагалактика и ее расширение. В 1922 г. наш соотечественник А.А.Фридман, основываясь на теории относительности А.Эйнштейна, предсказал, что расстояния между галактиками не могут оставаться постоянными, потому что сама Метагалактика не может быть стационарной и должна либо расширяться, либо сжиматься, в зависимости от средней плотности материи в ней. К сожалению, теоретические выводы Фридмана не принимались во внимание учеными до тех пор, пока Э. Хаббл не опубликовал результаты своих исследований. Из открытого Хабблом закона следовало, что Метагалактика расширяется. Именно поэтому, чем дальше от нас находится астрономический объект, тем больше его относительная скорость.

Конечно, галактики разбегаются во все стороны от Млечного Пути, не потому что мы находимся в центре Метага-

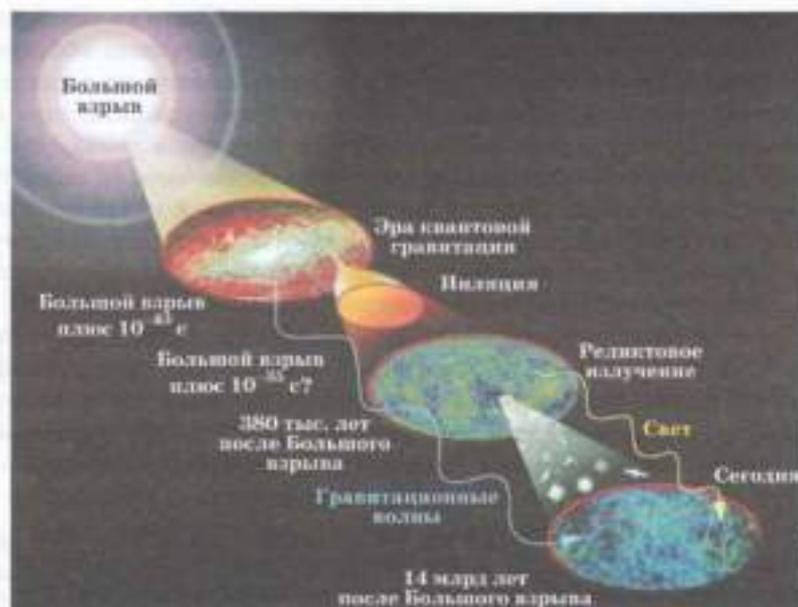
лактики, точно такая же картина разбегающихся галактик будет наблюдаться в любой ее точке. Все галактики убегают друг от друга со скоростями от сотен до десятков тысяч километров в секунду, потому что расширяется само пространство, в котором они находятся. Причем в расширении не участвуют гравитационно-связанные между собой звезды и звездные системы в масштабах одной галактики. Расширение Метагалактики проявляется только на уровне скоплений и сверхскоплений галактик.

Если сейчас галактики разбегаются, то в далеком прошлом они были расположены намного ближе друг к другу. Г.А.Гамов, ученик А.А.Фридмана, в 1946 г. выдвинул гипотезу о том, что вещество во Вселенной на начальных стадиях расширения имело бесконечно большую плотность и высокую температуру. Впоследствии, в 1965 г., эту гипотезу подтвердили американские астрофизики А. Пензиас и Р. Вильсон, открывшие электромагнитное излучение, равномерно заполняющее космическое пространство, которое называли *реликтовым излучением*. За свое открытие в 1978 г. А. Пензиас и Р. Вильсон получили Нобелевскую премию. Существование реликтового излучения было теоретически предсказано Г. А. Гамовым в рамках общепринятой теперь космологической модели расширения Вселенной — теории Большого взрыва.

Согласно этой теории в начальный момент вся материя находилась в *космологической сингулярности* — состоянии, обладающем бесконечной плотностью и температурой. Затем пространство и первичная материя начали расширяться и охлаждаться. Причем расширение Вселенной нельзя рассматривать как расширение бывшей сверхплотной материи в окружающую пустоту, пустоты вокруг просто не было. Вещество Вселенной с самого начала однородно заполняло все существующее на тот момент пространство. Что явилось причиной расширения Вселенной, современная наука ответить не может. Однако разработана поэтапная физическая картина эволюции вещества с момента Большого взрыва до настоящего времени (рис. 3.43) Примерно через 3 мин после Большого взрыва начался процесс соединения протонов и нейтронов в составные ядра. Через 380 тыс. лет после Большого взрыва температура снизилась настолько, что оказалось возможным существование атомов водорода. При этом материя стала прозрачной для излучения, которое, свободно распространяясь в пространстве, дошло до нас в виде реликтового излучения.

Эволюция  
Металлактинки  
от Большого взрыва  
до настоящего  
времени

Рис. 3.43



Величина, обратная постоянной Хаббла, равна примерно 13,8 млрд лет. Возможно, это указывает на то количество времени, которое прошло с момента начала расширения Вселенной, а значит, вполне вероятно, определяет и ее возраст.

**Ускоренное расширение Вселенной.** В 2011 г. за открытие ускоренного расширения Вселенной посредством наблюдения дальних сверхновых звезд двум независимым группам ученых из США и Австралии была присуждена Нобелевская премия по физике. Они обнаружили, что существует отклонение от закона Хаббла, которое значительно превышает погрешности измерения. Наблюдаемое ускорение Вселенной порождает так называемая *темная материя* — неизвестный ранее вид материи, обладающий свойством антигравитации. Таким образом, подтвердилась гипотеза Эйнштейна о наличии во Вселенной материи, которая создает не притяжение, а отталкивание, или антигравитацию. Кроме того, оказалось, что существенная доля вещества во Вселенной должна приходиться на темную материю, которая не испускает электромагнитного излучения и напрямую не взаимодействует с ним.

В настоящее время ученые пришли к выводу, что большая часть массы Вселенной приходится на долю *тем-*

*ной энергии*, которая практически однородна, в отличие от обычной энергии и темной материи, которые распределены в космическом пространстве неоднородно, образуя звезды, галактики и другие объекты. Считается, что темная энергия — это свойство самого пространства.

Будущее Вселенной. Существуют две теоретические модели будущего Вселенной: закрытая и открытая. Согласно закрытой модели Вселенная может испытывать множество эволюционных циклов. Цикл расширения сменяется циклом последующего сжатия до возвращения в сингулярное состояние, затем следует новый взрыв, и все начинается снова. Полный цикл расширения и сжатия Вселенной занимает примерно 100 млрд лет. Каждый раз, возвращаясь к сингулярности, Вселенная теряет «память» о прошлом состоянии и может снова «родиться» с совершенно новым набором физических констант.

Согласно открытой модели должна произойти тепловая смерть Вселенной, связанная с остыванием звезд вследствие прекращения в них термоядерных реакций, когда закончится все ядерное топливо. По предварительным расчетам, это может произойти через  $10^{14}$  лет.



**Знакомое всему миру название теории о расширении Вселенной «Большой взрыв» было невольно заимствовано у ее противника Ф. Хойла, который так обозначил теорию, альтернативную его собственным взглядам. Он считал эту теорию «совершенно неудовлетворительной» и отстаивал гипотезу о независимости появления материи и расширения Вселенной. После публикации его тематических лекций термин стал очень популярным.**

Резюме. Млечный Путь, туманность Андромеды и другие ближайшие галактики формируют скопление — Местную группу галактик. Скопления и сверхскопления галактик образуют видимую нам часть Вселенной — Метагалактику, имеющую ячеисто-сотовую структуру. Спектральные линии в излучении далеких галактик заметно смещены в сторону красного конца спектра, что позволяет определить их скорость. Согласно закону Хаббла — чем дальше от нас галактика, тем быстрее она от нас удаляется. Закон Хаббла позволил выяснить, что Метагалактика расширяется одинаково во всех направлениях. Ускорение расширения Метагалактики доказывает факт наличия в пространстве трех видов материи: обычной материи, темной материи и темной энергии.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется скоплением и сверхскоплением галактик?
2. Что такое Метагалактика? Какова ее структура?
3. В чем состоит закон Хаббла?
4. Какие открытия служат подтверждением теории Большого взрыва?
5. В чем причина ускорения расширения Метагалактики?
6. На долю какой материи приходится большая часть вещества во Вселенной?
7. Что понимается под закрытой и открытой моделями будущего Вселенной?

#### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Составьте перечень методов определения расстояний до галактик по схеме: название метода, суть метода, достоинства, недостатки.
2. Подготовьте небольшой сценарий для ролика «История открытия закона Хаббла» или буктрейлер по тексту статьи Дмитрия Самина «Тайны Вселенной. Закон Хаббла».

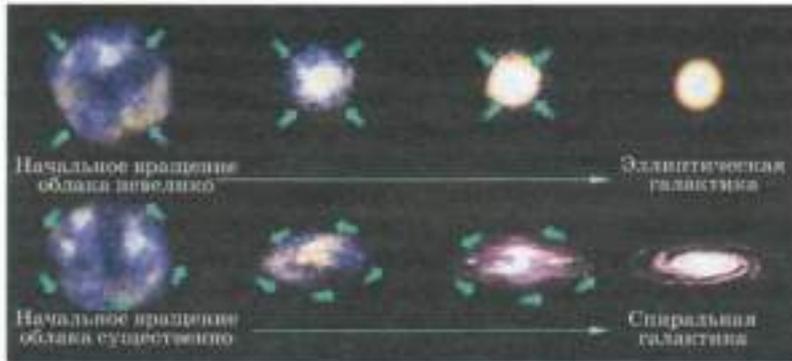
#### ТЕМЫ ДЛЯ ДОКЛАДОВ

1. Вселенная Фридмана.
2. Теоретические модели будущего Вселенной.
3. Темная материя и темная энергия – особые виды существования материи.

## 3.8. Эволюция галактик и звезд

Эволюция галактик. На современных фотографиях галактик мы видим их такими, какими они были миллионы и миллиарды лет назад. Ведь именно столько времени потребовалось свету, чтобы достичь Земли. Благодаря этому мы как будто перемещаемся в прошлое, где изменяющиеся галактики приобретали структуру, которая наблюдается сегодня. Такое ретроспективное «путешествие» позволяет астрономам получить представление об эволюции галактик.

Согласно теории Большого взрыва вначале наша Вселенная имела однородную структуру. Незначительные колебания плотности подтолкнули некоторые частицы перемещаться под действием силы тяжести, в результате притяжения они объединились в более крупные структуры.



Образование  
эллиптической  
и спиральной  
галактик

Рис. 3.44

Вид будущей галактики в этот момент зависит от наличия момента вращения у протогалактики, а интенсивность процесса звездообразования — от ее плотности.

Если вращение у протогалактики отсутствовало, то формировалась эллиптическая галактика. При этом все вещество поглощалось в процессе формирования звезд, так как отсутствовали центробежные силы, действующие на межзвездное вещество. При наличии собственного момента вращения формировался галактический диск. Если скорость звездообразования небольшая, то часть вещества оставалась и формировала спиральные рукава (рис. 3.44).



По одной из версий, квазары представляют собой результат слияния крупных галактик в ранней Вселенной, когда они располагались намного ближе, чем сейчас, и их столкновения случались намного чаще. Сверхмассивные черные дыры в ядрах при слиянии галактик формировали колоссальную черную дыру, которая начинала активно поглощать окружающее вещество.

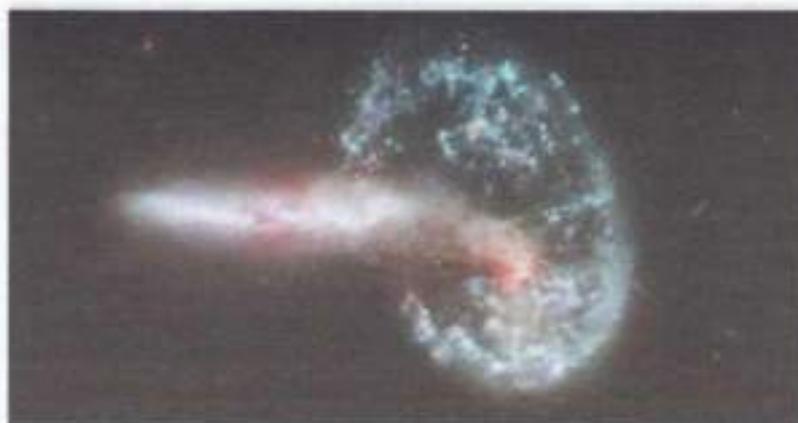
Если изначальная плотность протогалактики достаточно велика для быстрого поглощения вещества в процессах звездообразования, то образовывалась линзовидная галактика.

Под действием сил притяжения галактики притягивались друг к другу, поглощая и разрывая более мелкие карликовые галактики, благодаря чему более крупные становились еще больше (рис. 3.45).

Млечный Путь уже поглотил несколько карликовых галактик и преобразовал их в шлейф звезд, вращающихся вокруг ядра галактики. В настоящее время внутрь затягивается карликовая галактика в Стрельце (рис. 3.46). Похожая участь ждет карликовые галактики Большое и Малое Магеллановы Облака, поскольку гравитационное взаимо-

Столкновение  
галактик  
на расстоянии  
500 млн световых лет  
от Земли

Рис. 3.45



действие с Млечным Путем уже сейчас разрушает их спиральные структуры.

В результате слияния двух больших галактик разрушается их спиральная структура и образуется гигантская эллиптическая галактика. В какой-то момент это произойдет с Млечным Путем, когда он встретится с Туманностью Андромеды.



Когда процесс роста звезды за счет окружающих газа и пыли прекращается, она еще не является собственно звездой и называется «звездой до главной последовательности». Основным источником энергии такого объекта является процесс гравитационного сжатия, в ходе которого звезда разогревается. Только когда в ее недрах начнутся термоядерные реакции, она может считаться полноценной звездой.

Рис. 3.46

Карликовая  
эллиптическая  
галактика в Стрельце



Таким образом, эволюция галактик уже длится миллиарды лет и в обозримом будущем она не прекратится. Галактики всегда будут взаимодействовать между собой, эволюционировать и видоизменяться.

**Рождение звезд.** Звезды образуются путем гравитационного сжатия облаков газа, при этом происходит их разогрев. Когда в центре сжатого водородного облака вещество достигает плотности и температуры, достаточных для протекания термоядерных реакций, рождается звезда. При этом ее сжатие прекращается, потому что сила внутреннего давления газа уравнивает силу тяготения. Чем больше масса звезды, тем выше температура, при которой достигается равновесие. Поэтому самые большие светимости наблюдаются именно у массивных звезд. Чтобы пройти эту самую раннюю стадию своей эволюции, протозвездам нужно сравнительно немного времени. Для протозвезды с массой больше солнечной нужно всего лишь несколько миллионов лет, а если масса меньше — несколько сотен миллионов лет.



Значительная часть вещества в процессе звездообразования превращается в долгоживущие звезды малой массы. Звезда с массой, равной солнечной, превращается в белый карлик, а более массивная — в нейтронную звезду.

Часть протозвезд с небольшой массой, к которым относятся коричневые карлики, не достигает достаточной для реакций термоядерного синтеза температуры. Такие звезды умирают, постепенно остывая за несколько сотен миллионов лет.

Время эволюции протозвезд сравнительно невелико, поэтому самую раннюю фазу развития звезд обнаружить сложно. В настоящее время астрономы наблюдают за образованием звезд и звездных систем в межзвездных газопылевых облаках с помощью космических инфракрасных телескопов, способных увидеть рождение звезды даже за непрозрачными туманностями (рис. 3.47). В туманностях, где образуются звезды, водород находится не в атомарном, а в молекулярном ( $H_2$ ) виде, в таких случаях туманность называют *молекулярным облаком*. Наблюдения свидетельствуют, что в холодных облаках, как правило, появляются звезды с небольшой массой, которые сначала видны в инфракрас-



Рис. 3.47

Рождение звезды в протопланетной системе в туманности Ориона

ном спектре внутри облака, а когда облако рассеивается, то и в видимом спектре (рис. 3.48, 3.49). В огромных и более теплых молекулярных облаках могут образовываться звезды любой массы.



Первая наблюдаемая новорожденная звезда, чей возраст составлял 10 млн лет, была обнаружена на расстоянии 10,4 млрд световых лет, тогда возраст Вселенной составлял 3,3 млрд лет.



**Рис. 3.48**

Молекулярное облако газа и пыли, отделившееся от туманности Киля. Вблизи видны недавно сформированные звезды, их изображения окрашены в красный цвет, так как излучение синего цвета хорошо рассеивается пылью.

Согласно теории Большого взрыва в эллиптической галактике рождение всех звезд происходит почти одновременно. Поэтому в них все звезды приблизительно одинакового возраста, т. е. очень старые. Поскольку весь водород был исчерпан сразу же в самом начале существования галактики, то из оставшегося небольшого количества межзвездного вещества новые звезды уже не могут возникать.

В спиральных галактиках на каждый атом межзвездного газа действуют две силы: гравитационная, притягивающая его к центру галактики, и центробежная, выталкивающая его по направлению от оси вращения. В результате газ сжимается в галактической

плоскости в относительно тонкий слой. Множество звезд рождается на каждом этапе сжатия межзвездного газа во все более утончающемся диске. Поэтому в нашей Галактике можно найти как старые звезды, возникшие примерно 10 млрд лет назад, так и звезды, родившиеся относительно недавно в спиральных рукавах. Подтверждением этого служат наблюдения за молодыми звездами и распределением газопылевых облаков в спиральных ветвях Галактики. Наибольшая плотность межзвездного газа наблюдается на внутренних краях спиралей. Процесс образования звезд из межзвездной газовой-пылевой среды происходит и сейчас.

Новые исследования космоса дают богатый материал для создания и других гипотез эволюции галактик, альтернативных теории Большого взрыва.



Самая близкая черная дыра находится на расстоянии 20 тыс. световых лет от Земли. Удивительно, но около черной дыры время течет медленнее, чем на Земле. За несколько минут нахождения рядом с этим объектом пройдет несколько лет или десятилетий на нашей планете.



Образование звезды,  
ставшей видимой  
после рассеивания  
молекулярного облака

Рис. 3.49

**Эволюция звезд.** Когда протозвезда становится звездой, она оказывается на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга—Рассела (см. рис 3.4). При этом главная последовательность представляет собой как бы геометрическое место точек, характеризующих стационарное состояние звезды с длительным и устойчивым излучением. Большинство наблюдаемых звезд принадлежит главной последовательности.

Время пребывания звезды на главной последовательности определяется массой звезды. Более массивные звезды имеют большую мощность излучения, поскольку светимость звезды пропорциональна примерно четвертой степени ее массы. Крупные звезды, массы которых в несколько раз больше массы Солнца, находятся в стационарном состоянии только несколько миллионов лет, а звезды, подобные Солнцу, — миллиарды лет.



Ежесекундно из ядра Солнца высвобождается энергия, эквивалентная 100 млрд взрывов атомных бомб.

Как показывают расчеты, из-за слабой интенсивности термоядерных реакций красные карлики, звезды с массой менее половины массы Солнца, могут существовать от десятков миллиардов до десятков триллионов лет.

Напомним, что конечная стадия жизни звезды также определяется ее массой (см. подразд. 3.3, 3.4). Звезды с не-

большой массой после выгорания водорода и образования гелиевого ядра сильно увеличиваются в размерах и превращаются в красного гиганта или даже сверхгиганта. Внешние слои такой звезды постепенно расширяются, образуют планетарные туманности, а на месте гиганта остается маленькая компактная горячая звезда — белый карлик. Через сотни миллионов лет, остывая, они превратятся в невидимые черные карлики.

Совершенно другая судьба у более массивных звезд, превышающих массу Солнца в 8—10 раз. В конце своей жизни они теряют устойчивость и взрываются как сверхновые, выбрасывая в межзвездную среду множество тяжелых химических элементов. После взрыва они катастрофически сжимаются до шаров радиусом в несколько километров, превращаясь в нейтронные звезды или, при большей массе, в черные дыры (рис. 3.50).



Нейтронные звезды настолько плотные, что если теоретически поместить составляющие материалы нейтронной звезды в банку, то ее масса будет больше, чем масса Луны.

Рис. 3.50

Жизненный цикл звезд





## СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Активная область  
звездообразования —  
туманность Киля  
(в инфракрасном  
диапазоне)

Рис. 3.51

Звезды первого поколения состояли большей частью из водорода. В ходе термоядерных реакций внутри этих звезд рождались более тяжелые атомы. В недрах звезд может образоваться до 30 химических элементов, а во время взрыва сверхновых — остальные элементы Периодической системы химических элементов. В процессе эволюции звезды первого поколения возвращали в межзвездное пространство значительную часть всей массы, обогащая тяжелыми элементами межзвездную среду. Из этого газа стали образовываться более молодые звезды, звезды следующего поколения (рис. 3.51).

В звездах второго поколения примесь тяжелых элементов более заметна, так как они образуются из уже обогащенного тяжелыми элементами первичного газа. Именно поэтому о возрасте звезды можно судить по ее химическому составу, который устанавливается с помощью спектрального анализа. Наше Солнце — тоже звезда второго поколения звезд. Таким образом, большинство атомов (тяжелее атома водорода) в наших телах и в окружающей среде были рождены в недрах давно умерших звезд.



Часто возникает неправильное представление о размере Вселенной: его сравнивают с ее же возрастом, который составляет 13,8 млрд лет. При этом не учитывается, что Вселенная расширяется с ускорением. По приблизительным подсчетам, диаметр видимой Вселенной составляет 93 млрд световых лет.

Резюме. Галактики и их скопления, взаимодействуя между собой, могут эволюционировать и изменяться. Звезды образуются в результате гравитационного сжатия вещества из газопылевых облаков. В зависимости от массы звезды в процессе эволюции проходят стадии от протозвезд до белых карликов, нейтронных звезд или черных дыр. В ходе эволюции звезд в результате термоядерных реакций и взрывов происходит образование химических элементов тяжелее водорода.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как возникли галактики и скопления галактик?
2. Что определяет форму галактики?
3. Как происходит рождение звезд?
4. От какой характеристики зависит результат эволюции звезд?
5. Чем отличаются звезды первого и второго поколения?

#### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изобразите графически механизмы возникновения спиральных рукавов в галактиках.
2. Составьте хронологию изучения молекулярных облаков.
3. Составьте классификацию альтернативных теорий эволюции галактик и обоснуйте состоятельность предложенной классификации.

#### ТЕМЫ ДЛЯ ДОКЛАДОВ

1. Самые красивые планетарные туманности в нашей Галактике.
2. Какими элементами богаты молекулярные облака?

## 3.9. Жизнь и разум во Вселенной

Единство природы. Человек XXI в., живущий в условиях динамично меняющегося мира — мира высоких технологий, должен знать о подлинном единстве Природы. Важно понимать, что существует единое основание, на котором построено все разнообразие объектов, явлений и процессов Природы, ее законов, связывающих микро- и макромиры, Землю и Космос, астрономические, физические, химические и биологические явления, Жизнь и Разум.

Изучая отдельно каждую из естественных наук (астрономию, физику, химию, биологию и т.д.), невозможно осо-

знать, что Природа — это единое целое. Каждая наука в отдельности — это лишь одна ступень к познанию Природы во всей ее целостности и представлению современной естественно-научной (квантово-космологической) картины мира.

**Основные цели изучения комплекса естественных наук.**

1. Познание Вселенной, места и роли человека 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 естественно-научной картины мира.

Проблема объяснения происхождения жизни на Земле и существования внеземных цивилизаций является одной из глобальных проблем человечества. Термин «глобальные проблемы» стал появляться в научной литературе в конце 60-х гг. прошлого века. Так ученые охарактеризовали и новые проблемы, появившиеся на стыке промышленной и информационной эпох, и старые, существовавшие в системе «Человек — Природа — Общество», усугубившиеся и обострившиеся в современных условиях.



В 1876 г. российский ученый Э. Неовиус в книге «Величайшая задача нашего времени» сформулировал проблему установления связи с внеземными цивилизациями, рассмотрел технические возможности первого контакта и предложил язык космической связи на принципах математической логики.

**Гипотезы о существовании жизни и разума во Вселенной.** Жизнь — одно из сложнейших явлений природы. Со времен глубокой древности она казалась таинственной и непознаваемой, вопрос ее происхождения всегда вызывал острую борьбу между материалистами и идеалистами. По современным представлениям, жизнь — это процесс существования сложных систем, состоящих из больших органических молекул и неорганических веществ, способных самовоспроизводиться, саморазвиваться и поддерживать свое существование в результате обмена энергией и веществом с окружающей средой.

Советский физикохимик и биофизик Н. В. Волькенштейн сформулировал одно из лучших определений: «Жи-

вые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, самоорганизующиеся и самовоспроизводящие системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот».

Советский ученый в области радиофизики и радиоастрономии В.С.Троицкий определил разум как «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».



**О необходимости установления телефонного сообщения между Землей и Марсом  
К.Фламарион заявлял в 1892 г. (до изобретения радио).**

Клетки коры головного мозга (нервные клетки) имеют наивысшую 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 обусловлены одним из важнейших свойств Метагалактики — антропным принципом.

*Антропный принцип* — один из фундаментальных принципов современной космологии, который фиксирует связь между крупномасштабными свойствами нашей Вселенной (Метагалактики) и существованием в ней человека, наблюдателя. Термин «антропный принцип» предложил английский математик Б.Картер (1973): «То, что мы ожидаем наблюдать, должно быть ограничено условиями, необходимыми для нашего существования как наблюдателей». Формулировка сильного антропного принципа по Картеру гласит: «Вселенная (и следовательно, фундаментальные параметры, от которых она зависит) должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе эволюции допускалось существование наблюдателей».

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 воз-

никает 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 и идет в направлении уменьшения возможных наборов элементов, определяющих структуру и функционирование сложных систем. Наборы с наименьшим числом элементов легче восстанавливаются, передаются и тиражируются.

**Гипотезы о происхождении жизни на Земле** можно разделить на несколько групп:

- 1) креацианизм — религиозная гипотеза о божественном происхождении жизни;
- 2) гипотеза самопроизвольного зарождения жизни, которая основывается на идее многократного возникновения жизни из неживого вещества;
- 3) панспермия — жизнь возникла в космосе и затем была занесена на Землю.

Согласно первой группе гипотез, которые имеют самую длинную историю, создание жизни есть акт божественного творения. Свидетельством этому является наличие в живых организмах особой силы, души, управляющей всеми жизненными процессами. Эта гипотеза навеяна религиозными воззрениями и к науке отношения не имеет.

Гипотеза самопроизвольного зарождения жизни была выдвинута в Древних Китае и Индии как альтернатива креационизму. Представления этой гипотезы поддерживали мыслители Древней Греции (Платон, Аристотель), а также ученые периода Нового времени (Г.Галилей, Р.Декарт, Ж.-Б. Ламарк). Согласно этой гипотезе живые организмы (низшие) могут появиться путем саморождения из неживого вещества, содержащего некое активное начало. Так, например, по Аристотелю, насекомые и лягушки при определенных условиях могут заводиться в иле и сырой почве, черви и водоросли — в стоячей воде, а личинки мух — в протухшем мясе при его гниении.



В 1900 г. Парижская академия наук учредила премию для первого человека, вступившего в контакт с представителями внеземных цивилизаций, живущих на других планетах, помимо Марса, поскольку в существовании высокоразвитой марсианской цивилизации почти никто не сомневался.

Однако уже с начала XVII в. такое понимание происхождения жизни стало подвергаться сомнению. Ощутимый удар по этой гипотезе нанес итальянский естествоиспытатель и врач Ф. Реди, который в 1688 г. раскрыл сущность появления жизни в гниющем мясе. Ф. Реди сформулировал свой принцип: «Все живое — от живого» и стал основоположником концепции биогенеза, утверждавшей, что жизнь может возникнуть только из предшествующей жизни.

Французский микробиолог Л. Пастер своими опытами с вирусами окончательно доказал несостоятельность идеи спонтанного самозарождения жизни. Однако, опровергнув эту гипотезу, он не предложил свою, не пролил свет на вопрос о возникновении жизни.

Гипотеза панспермии — о неземном происхождении жизни путем занесения «зародышей жизни» из космоса на Землю — впервые была высказана немецким биологом и врачом Г. Рихтером в конце XIX в.

Концепция панспермии (от греч. *pan* — весь, *sperma* — семя) допускает возможность происхождения жизни в разное время в разных частях Вселенной и переноса ее различными путями на Землю (метеориты, астероиды, космическая пыль).

Для обоснования панспермии в научно-популярной литературе приводятся факты о неопознанных летающих объектах, прилете инопланетян на Землю, наскальные топологические рисунки

Существует идея о возникновении жизни на Земле почти с момента ее образования. Как известно, Земля образовалась около 5 млрд лет назад. Значит, жизнь могла зародиться во время образования Солнечной системы, т.е. в космосе. Поскольку длительность эволюции Земли и жизни на ней различается незначительно, то существует версия, что жизнь на Земле — это продолжение вечного ее существования.

Эта позиция близка к теории вечного существования жизни во Вселенной. В масштабе глобального эволюционного процесса можно полагать, что возникновение жизни на Земле может, по-видимому, совпадать с образованием и существованием материи.

Академик В. И. Вернадский разделял идею вечности жизни не в контексте ее перераспределения в космосе, а в смысле неразрывности и взаимосвязанности материи и жизни. Он писал, что «жизнь и материя неразрывны, взаимосвязаны и между ними нет временной последовательности».

Одним из приверженцев четвертой группы гипотез является академик А.И.Опарин. Согласно его теории процесс, приведший к возникновению жизни на Земле, может быть разделен на три этапа:

- 1) возникновение органических веществ;
- 2) возникновение белков;
- 3) возникновение белковых тел.

Астрономические исследования показывают, что как звезды, так и планетные системы возникли из газопылевого вещества. Наряду с металлами и их оксидами в нем содержались водород, аммиак, вода и органическое вещество, простейший углеводород — метан.

Ни одна из рассмотренных гипотез не получила достаточных доказательств ее справедливости.

В настоящее время ученые придерживаются следующих позиций:

- 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).

Внеземные цивилизации. 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 внеземны-



**К.Э.Циолковский в 1934 г. писал: «В ближайшем будущем короткие радиоволны пронизут нашу атмосферу и станут основным средством межзвездной связи».**

ми цивилизациями (ВЦ), авторами которых были К. Гаусс, Й.И. фон Литтров и др.

Вопрос о внеземных цивилизациях имеет свою научную постановку, которая существенно отличается от его трактовки массовым, обыденным, вненаучным сознанием. В представлениях современной науки **внеземные цивилизации** — общества разумных существ, которые могут возникать и существовать вне Земли (на других планетах, космических телах, в иных вселенных, средах и др.).

Предположение о возможности существования внеземных цивилизаций имеет объективные основания:

- представления о материальном единстве мира;
- понятие развития, эволюции материи как всеобщем ее свойстве;
- данные естествознания о закономерном, естественном характере происхождения и эволюции жизни, а также происхождения и эволюции человека на Земле;
- астрономические данные о том, что Солнце — типичная, рядовая звезда нашей Галактики и нет оснований для ее выделения среди множества других подобных звезд;
- большое разнообразие физических условий в космосе, что может привести к возникновению самых разнообразных форм высокоорганизованной материи.

Великая астрономическая революция XX в., возникновение и развитие радиоастрономии и космонавтики сделали проблему 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 др. Секция «Поиски сигналов внеземных цивилизаций» Научного совета по комплексной проблеме «Радиоастрономия» Академии наук 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 Российской академии наук; ее председателем является академик Н. С. Кардашев.

Метод измерения технологического развития цивилизации, основанный на количестве энергии, которое цивилизация может использовать для своих нужд, был предложен Н.С.Кардашевым в виде шкалы в работе «Передача инфор-

мации внеземными цивилизациями», опубликованной в «Астрономическом журнале» в 1964 г.:

- *цивилизация типа I* контролирует энергетические ресурсы целой планеты. Эта цивилизация способна управлять погодой, предотвращать землетрясения, внедряться в глубины земной коры и пользоваться дарами океанов. Она уже завершила исследование своей солнечной системы;
- *цивилизация типа II* контролирует энергию самого Солнца. И это не просто пассивное ее использование: цивилизация данного типа осваивает Солнце. Ее энергетические потребности настолько велики, что мощность Солнца эксплуатируется непосредственно для приведения в действие машин. Эта цивилизация начнет колонизацию местной солнечной системы;
- *цивилизация типа III* контролирует энергию всей галактики. Источником энергии ей служат миллиарды звездных систем. Вероятно, представители этой цивилизации уже освоили уравнения Эйнштейна и могут по своему желанию манипулировать пространством-временем.

Шкала использовалась для поиска астрономами цивилизаций в соседних галактиках. Были предложены также расширения шкалы до еще более гипотетических цивилизаций типа IV, способных использовать ресурсы целой Вселенной, и типа V, управляющих произвольным множеством вселенных (мультиверсумом). Количественный критерий энергопотребления был дополнен такими качественными показателями, как «владение в совершенстве» планетой, системой или галактикой (достижение полного контроля над происходящими в них процессами). К. Саган дополнил классификацию тем, что предложил рассматривать помимо количества утилизируемой энергии количество контролируемой цивилизацией информации.

За рубежом (в основном в США) работы по поиску ВЦ вели ученые Ф.Крик, К.Таунс, Дж. Платт, К.Флэннери, Ф.Дрейк, Дж.Коккони, Ф.Моррисон, К. Саган и многие другие.

Для решения проблем поиска ВЦ 26 марта 1992 г. был создан Научно-культурный центр SETI (НКЦ SETI, Search for Extraterrestrial Intelligence), образованный решением Президиума Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского (сейчас Российская академия космонавтики им. К.Э.Циолковского — РАКЦ). Позднее соучредителями его выступили Государственный астрономический институт

имени П.К. Штернберга (ГАИШ) и Астрокосмический центр Российской академии наук (АКЦ ФИАН).

В начале 1960-х гг. 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 радиоисточника, практически совпадающего с похожей на Солнце звездой.



**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.



**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».**

Для молодых цивилизаций, желающих вступить в контакт, изолированных в пространстве или находящихся в критическом положении, существует возможность всенаправленной односторонней передачи информации.

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 высокоорганизованным цивилизациям.

Нерелятивистские полеты возможны лишь к ближайшим звездам, но даже и в этом случае они требуют особой подготовки (сон-гибернация для постоянного экипажа; смена поколений внутри корабля; полет в один конец без возвращения).

Направления поисков внеземных цивилизаций. Одним из направлений является 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 до постройки искусственных биосферных систем на поверхности планетных тел с целью наиболее полного использования энергии Солнца. Аналогичные объекты могут быть обнаружены в космосе.

Поиск следов посещения Земли представителями ВЦ можно вести по таким направлениям, как 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.Н. и Б.Н.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 типа II существует техногенная зона, поэтому от 3 до 15% продуктов их космической деятельности рассеивается в межзвездной среде.



Человеку всегда хотелось найти где-нибудь на других космических телах существа, подобные себе. Именно поэтому не раз и не два в истории науки случалось, что те или иные данные о планетах (особенно о Марсе) рассматривались как доказательство их обитаемости. Выдвигались даже проекты того, как человечество могло бы заявить о своем существовании. Так, например, немецкий математик Гаусс предлагал прорубить в лесах Сибири гигантские просеки в форме треугольника и других геометрических фигур, чтобы марсиане узнали о наличии на нашей планете разумных обитателей.

Следы посещения Земли в относительно близком историческом прошлом можно вести на основе изучения памятников материальной и духовной культуры. Доказательства

посещения Земли в отдаленном прошлом ведутся путем 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, он обладает высокой информационной емкостью, устойчивостью к помехам и доступен для прочтения лишь на высоком уровне развития местной цивилизации.

Еще одним направлением является изучение аномальных явлений (АЯ) и неопознанных летающих объектов (НЛО), исходящее из допущения, что часть их представляет исследовательские устройства ВЦ (автоматические межзвездные зонды или даже пилотируемые космические летательные аппараты).

Поиск сигналов ВЦ. Очень важен выбор оптимального диапазона электромагнитных волн, который должен иметь минимум принципиально неустранимых помех и ослаблений сигнала под действием различных факторов.

Контакт при помощи средств связи выполняется в следующей последовательности:

- 1) прием позывных ВЦ, способных привлечь внимание получателя, облегчая для него обнаружение сигнала, указывающих на его искусственное происхождение (необычный спектр, особенности поляризации, временные изменения и т.д.) и несущих определенное минимальное количество полезной информации, ключ к передаче основного сообщения (указание на полосу частот, способ кодирования и т.д.);
- 2) прием основного сообщения, расшифровка, обработка и осмысление полученной информации;
- 3) послание ответного сигнала и вступление в двусторонний (многосторонний) контакт с ВЦ.

Контактирующие стороны должны предложить хотя бы минимальные информационные гарантии того, что взаимодействие между ними не будет связано с серьезными потенциальными опасностями.



В сентябре 2001 г. к шести 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.

2. Используя произведения научной фантастики И.А.Ефремова, А.Кларка, С.Лема, А.Н. и Б.Н.Стругацких, К.Саймака, подготовьте рефераты по темам:
- 1) Первый контакт;
  - 2) Посещали ли представители внеземных цивилизаций Землю?
  - 3) Загадки НЛО.

#### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ И СООБЩЕНИИ

1. Что такое жизнь?
2. Теории о происхождении жизни на Земле.
3. Где искать жизнь во Вселенной?
4. Где и как искать внеземные цивилизации?
5. История поиска внеземных цивилизаций.
6. Программы SETI и SETI.
7. Поиск внеземных цивилизаций российскими учеными.

## 3.10. Перспективы развития астрономии и космонавтики

**Фундаментальные проблемы, решаемые астрономией.** Астрономия — наука наблюдательная, главное в ней — открытия, в результате которых происходит изменение старых представлений о мире, эволюции Вселенной, месте в ней человеческой цивилизации.

Прежде всего человек должен понимать природу тех объектов и явлений, которые его окружают. В ходе познания используются новые, более совершенные инструменты, открывающие новые горизонты и вызывающие новые вопросы у ученых.

Фундаментальных вопросов, которые важны для человечества, довольно много, основными являются формирование звезд и планетных систем, образование и эволюция галактик, а также активные процессы, происходящие на звездах, в частности механизмы звездных и солнечных вспышек, процессы, приводящие к взрыву звезд.

Не менее актуальная задача — изучение темной материи, которая существует, но никто пока не знает, из чего она состоит. И конечно, большой интерес вызывают физические процессы, связанные с гигантским выделением энергии сверхновыми звездами, источниками гамма-всплесков, активными ядрами галактик и другими аспектами.

Важно также понять, как происходящие в космосе процессы влияют на жителей Земли. Например, вспышки на Солнце воздействуют на земную атмосферу и опосредованно — на живые организмы. Существует научное направление, которое так и называется — «Солнечно-земные связи». В г. Троицк (ТиНАО Москвы) есть Центр космической погоды, где разрабатывают конкретные прогнозы относительно ожидаемых вспышек на Солнце и их последствий. Сильные вспышки могут навредить не только людям на Земле, но и космическим аппаратам и самим космонавтам, которые не защищены земной атмосферой во время пребывания в космосе.

Считается, что Вселенная возникла около 14 млрд лет назад и с тех пор продолжает непрерывно расширяться. Вместе с тем специалисты утверждают, что рано или поздно в мире наступит глобальная темнота, поскольку существующие сейчас звезды в конечном итоге окончат свой жизненный путь, при этом новые не образуются. Возникают вопросы дальнейшего существования человечества и оправданности теории Большого взрыва, но самый главный: возможен ли конец света с астрономической точки зрения? Вероятно, в дальнейшем на этот вопрос вы сможете ответить сами с достаточной степенью достоверности.

**Астрономия в реальной жизни.** Астрономия всегда играла большую роль в практической жизни людей. Исторически астрономия оказала колоссальное влияние на развитие цивилизации, что проявилось в разработке методов навигации по звездам и в формировании систем счета времени, календарных систем. Сегодня астрономия также задействована в работе систем навигации, которая уже работает с помощью навигационных спутников.

**Астероидная опасность.** Астрономические данные помогают в предупреждении астероидной опасности. Человечество пока не способно предотвратить столкновение астероидов с Землей, но вполне вероятно, что через десятилетия



Одним из наиболее крупных астероидов является 270-метровый Апофис, или 2004 MN4. Ранее считалось, что вероятность столкновения его с Землей в 2029 г. равна 2,7%. В случае удара взрыв причинил бы огромные разрушения на территории площадью в тысячи квадратных километров. Однако после того как в 2013 г. Апофис прошел мимо нашей планеты на расстоянии 14,46 млн км, НАСА практически полностью исключило такую возможность.

мы научимся отводить такие опасные объекты от нашей планеты. И это далеко не единственная из прикладных задач, решаемых с использованием астрономии.

Специалисты Всероссийского центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера МЧС России «Антистихия» выяснили, сколько астероидов сблизится с Землей до 2050 г. В ближайшие 32 года крупные астероиды (диаметром до 1 км) более 10 раз могут приблизиться к Земле на опасные расстояния. Отмечается, что наибольшую опасность представляет астероид Апофис (диаметром 393 м), который, как ожидается, приблизится 13 апреля 2029 г к нашей планете на расстоянии 38,4 тыс. км.

Так, центр «Антистихия» отмечает, что в 2017 г. более 730 астероидов подошли к Земле на расстояние менее 10 млн км. Из них астероиды диаметром свыше 100 м опасно сближались с планетой почти 100 раз.

На Земле известно около 120 очень крупных астероидных кратеров. В России самый большой из них — Попигайская котловина на севере Сибирской платформы; диаметр его внутреннего кратера — 75 км, внешнего — 100 км.



**26 февраля 2011 г. астероид 2011 AG5 диаметром около 140 м пролетел на минимальном расстоянии от Земли. В следующий раз этот астероид окажется близко к Земле в 2040 г, по оценкам ученых, расстояние до Земли составит всего 1975 км. 7 сентября 2014 г. астероид 2014 RC диаметром 20 м пролетел на расстоянии от Земли примерно 40 тыс. км.**

В настоящее время ученые из разных стран рассматривают два варианта отражения астероидной угрозы: увод астероида с траектории столкновения с Землей или разрушение астероида на более мелкие обломки. Первый способ сложен тем, что увод требует новых дорогостоящих технологий, которые должны находиться в постоянной готовности, например, космических буксиров или сверхмощных лазеров для испарения вещества астероида и создания реактивной тяги. Разрушение проще, так как предполагает использование мощных ракет для доставки к астероиду термоядерных боеголовок. Такие технологии уже есть, они используются в стратегическом ядерном оружии.

Ученые до сих пор пытаются найти способ остановить хотя бы небольшие астероиды. Группа ученых из Московского физико-технического института (МФТИ), Института кос-

мических исследований Российской академии наук и двух институтов Госкорпорации «Росатом» — Российского федерального ядерного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» и Троицкого института инновационных и термоядерных исследований провела исследование, которое позволяет оценить противoaстероидную эффективность термоядерных бомб.



**29 января 2008 г. 250-метровый астероид 2007 TU24 сблизился с Землей до расстояния в 1,5 раза большего, чем до Луны.**

Чтобы оценить эффективность ядерного оружия для разрушения астероидов, российские ученые провели сложное моделирование, в котором небольшая модель астероида обстреливалась из лазера, имитирующего воздействие сверхвысоких температур и ударной волны термоядерного взрыва. Например, модель диаметром 8... 10 мм и лазерный импульс мощностью 500 Дж имитировали астероид диаметром 200 м и термоядерный заряд мощностью 6 Мт. Эксперименты и моделирование показали, что для разрушения астероида диаметром 200 м на обломки безопасного размера (20 м и менее) необходима боеголовка мощностью более 3 Мт. Это намного меньше самой мощной в истории советской термоядерной «Царь-бомбы», которая в тротиловом эквиваленте имела мощность более 58 Мт. При этом более эффективным является один мощный взрыв, а не несколько последовательных меньшей мощности. Также эффективность разрушения растет, если подрыв проводить не на поверхности, а после заглубления заряда.

Подобные технологии существуют, и уже сейчас можно создать ракеты, которые будут нести дежурство с мощными проникающими термоядерными зарядами на борту. Однако для такого проекта необходимо международное сотрудничество.

В настоящее время российские ученые планируют провести серию экспериментов с разными моделями, а также попытаться найти способ изменения траектории астероидов.

Экзопланеты и суперземли. Долгое время задача обнаружения планет возле других звезд оставалась неразре-



**Экзопланеты — это планеты, которые находятся вне пределов Солнечной системы и обращаются вокруг своих собственных светил (рис. 3.52).**



Рис. 3.52

Система экзопланет  
на орбите вокруг  
красного карлика

шенной, так как планеты чрезвычайно малы и тусклы по сравнению со звездами, а сами звезды находятся далеко от Солнца. Первые экзопланеты были обнаружены в конце 1980-х гг.

На сегодняшний день их открыто более 3 тыс. Большинство из них — газовые гиганты и больше похожи на Юпитер, чем на Землю. Объясняется это тем, что легче обнаружить массивные планеты с небольшим периодом обращения. Некоторые экзопланеты входят в состав двойных звездных систем. Они могут вращаться вокруг только одного компаньона двойной звездной системы или огибать сразу два компонента.

Впервые внесолнечная система была найдена в 1988 г. канадскими учеными Б. Кэмпбеллом, Г. Уолкером и С. Янгом у двойной звезды  $\gamma$  Цефея (45 световых лет от Солнца), но ее существование было подтверждено только в 2003 г., когда планета  $\gamma$  Цефея Ab была обнаружена методом доплеровской спектроскопии. В дальнейшем с помощью других методов было найдено несколько сотен экзопланет.



Первой попыткой обнаружить экзопланеты можно считать наблюдения за положением близкой к Солнцу красной тусклой звезды в созвездии Эмееносец американским астрономом Э.Бернардом. Он обнаружил, что эта звезда достаточно быстро перемещается по небу относительно других звезд. Астрономы назвали ее Летящей звездой, или звездой Бернарда. Так как эта звезда мала (в 7 раз меньше Солнца), следовательно, влияние на нее возможных планет должно быть достаточно заметным. Но в 1973 г. Дж. Гейтвуд опроверг наличие планет, так как определил, что звезда движется без колебаний, а значит, звезда Бернарда планет иметь не может.

Для поиска экзопланет в 2009 г. на орбиту был выведен космический телескоп «Кеплер». В нем использовался метод, называемый транзитным: измерялось затемнение звезды во время прохождения перед ней космического объекта. В течение четырех лет своей работы «Кеплер» выявил множество различных типов экзопланет.

Помимо газовых гигантов и тел земной группы телескоп помог установить существование нового класса экзопланет — суперземель.



**Суперземля (или сверхземля)** — это класс планет, масса которых превышает массу Земли, но значительно меньше массы газовых гигантов (рис. 3.53).

Под суперземлей понимают планету массой 1...10 масс Земли. Планеты этого типа были обнаружены сравнительно недавно у других звезд.

Первую суперземлю обнаружили в 1991 г. около звезды Глизе 876. Последнюю, вращающуюся вокруг оранжевого карлика GJ 536, открыла международная научная группа в 2017 г.

GJ 536 b — это небольшая суперземля, массой всего в 5 раз больше Земли, которая является частью группы самых маленьких планет с измеренной массой. Она находится не в зоне обитаемости своей звезды, однако ее относительно близкая орбита и яркость звезды делают эту планету перспективным объектом для изучения. Исследования проводились специалистами Канарского института астрофизики (Испания) и Женевской обсерватории (Швейцария). Данные поступали от инструментов HARPS и HARPS-N, смонтированных на 3,6-метровом телескопе в обсерватории Ла-Силья в Чили и на 3,6-метровом телескопе Ла-Пальма в Испании. Они объединялись с фотометрическими данными от обзора неба ASAS (All Sky Automated Survey) в Чили и Мауи.

Исследовательская группа опиралась на измерение радиальной скорости звезды, чтобы различить присутствие планеты, а также данные по спектрографическим наблюдениям звезды за 8,6 лет. При всем этом они не только обнаружили экзопланету с подходящей массой, но и получили информацию о самой звезде, которая имеет период обращения около 44 дней и магнитный цикл, длящийся более 3 лет.

Для сравнения: наше Солнце имеет период обращения вокруг своей оси 25 дней и магнитный цикл около 11 лет, которые характеризуются изменениями в уровнях солнечного излучения, испускаемого им, корональными выбросами массы и появлением солнечных пятен.



Рис. 3.53

Виртуальное представление суперземли



Ученые в «Сколково» рассматривают перспективы 3D-печати человеческих органов в космосе. Особенность метода заключается в том, что для его работы необходимо отсутствие гравитации. По этой причине ученые рассматривают в качестве площадки для апробации «формативного» производства российский сегмент МКС. Ученые также обсудят возможность печати в космосе чувствительных к радиации тканей и органов. Это необходимо для оценки неблагоприятного воздействия космического пространства на организм космонавтов при полетах на Луну и Марс.

Это открытие всего лишь последнее в длинной череде открытий суперземель около красных карликов М-класса с низкой массой, низкой светимостью. Сейчас ученые заняты поисками других планет, вращающихся вокруг этой звезды.

**Новые космические двигатели.** Специалисты Европейского космического агентства (ЕКА) разработали и успешно испытали уникальный прямоточный космический двигатель, который использует в качестве топлива молекулы воздуха (рис. 3.54).

В настоящее время срок службы спутников на орбите зависит в основном от запаса топлива для поднятия орбиты. Сложнее всего ситуация с низкоорбитальными спутниками, которые постоянно испытывают торможение в атмосфере и требуют постоянного включения двигателя для удержания высоты.

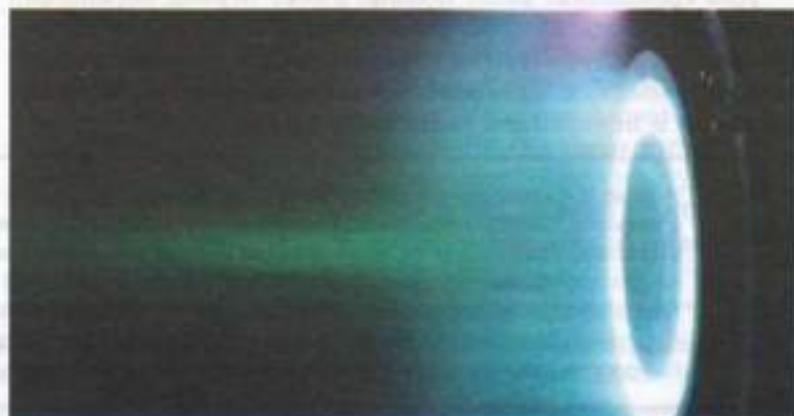
Низкоорбитальные спутники все более востребованы, так как на геостационарных орбитах уже слишком тесно. К тому же такие спутники могут обеспечить новые услуги, в том числе глобальный беспроводной Интернет. Однако сопротивление атмосферы, даже разреженной на высотах более 100 км, сильно тормозит спутники. В итоге они быстро расходуют топливо на удержание на орбите и неизбежно падают, сгорая в атмосфере.

Инженеры ЕКА предложили идеальное решение: ракетный двигатель, которому для работы нужно лишь электричество. С ним спутники могут оставаться на заданной орбите многие годы.

Новый двигатель от ЕКА использует в качестве топлива молекулы воздуха, которые втягиваются в воздухозаборник

Рис. 3.54

Прямоточный  
космический  
двигатель  
(вечный двигатель)





Космический аппарат  
«Трей Гас Орбитер»  
миссии  
«ЭкзоМарс-2016»

Рис. 3.55

спутника и используются в качестве топлива для ионного двигателя. Поскольку спутник движется очень быстро — со скоростью 7,8 км/с, воздухозаборник, даже на высоте 200 км, успевает набрать достаточно молекул для создания тяги.

Конструкция двигателя очень простая, в нем нет движущихся частей, а используются лишь нерегулируемый воздухозаборник, катушки и электроды, ионизирующие воздух. Электричество может поступать от солнечных панелей или другого источника электроэнергии. Двигатель компактный и достаточно мощный, чтобы удерживать космические аппараты на низкой орбите минимум несколько лет.

Новый двигатель уже успешно испытан в вакуумной камере. Вероятно, в ближайшие годы будет создан космический аппарат, использующий новую технологию.

Такой вечный двигатель невероятно полезен не только на околоземной орбите, но и при исследовании других планет. Зонды получают возможность работать на низких орбитах, например Марса и Венеры, во много раз дольше, собирая подробные научные данные с низких орбит.

**Первые цели миссии «ЭкзоМарс-2016».** Проект «ЭкзоМарс» — совместный проект Роскосмоса и Европейского космического агентства по исследованию Марса, его поверхности, атмосферы и климата с орбиты и на поверхности планеты (рис. 3.55).

Космический аппарат «Трей Гас Орбитер» (ТГО) миссии «ЭкзоМарс-2016» в марте 2017 г. начал этап торможения в атмосфере. Это позволило аппарату уменьшить период об-

ращения и высоту апоцентра. Итоговая орбита должна быть круговой, высотой около 400 км над поверхностью Марса и периодом обращения 2 ч.

С учетом ориентации спутника в первые недели после необходимых тестов и калибровок российский спектрометрический комплекс АЦС сразу же перейдет к климатологическим надирным измерениям. Прибор ФРЕНД, для которого надирная ориентация является основной рабочей, начнет измерения водорода в грунте Марса в обычном режиме.

С конца апреля 2018 г. ТГО начнет регулярно проводить измерения в режиме солнечных затмений (не менее восьми в день), которые позволят измерить состав марсианской атмосферы с рекордной точностью, а прибор ФРЕНД продолжит измерения нейтронного потока на орбите, что позволит создать карты распространения водорода в грунте Марса высочайшего разрешения.

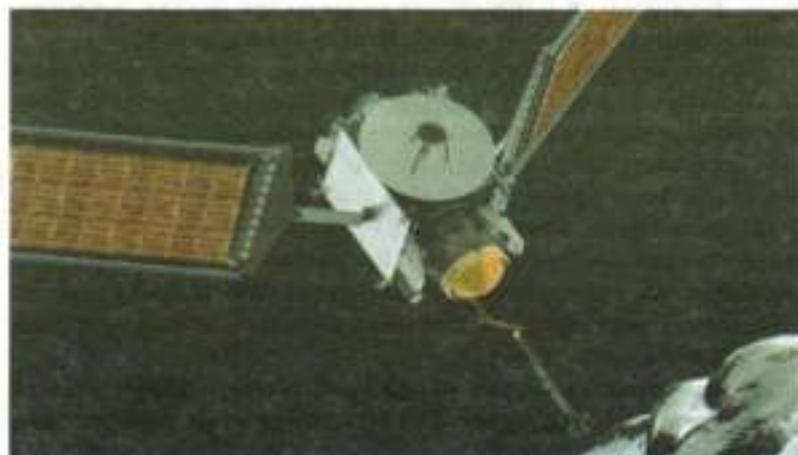
**Планируемые миссии НАСА.** В конце 2018 г. НАСА (США) примет решение о финансировании одной из двух роботизированных космических миссий Планетологического института США. Оба исследования важны для понимания истории Солнечной системы.

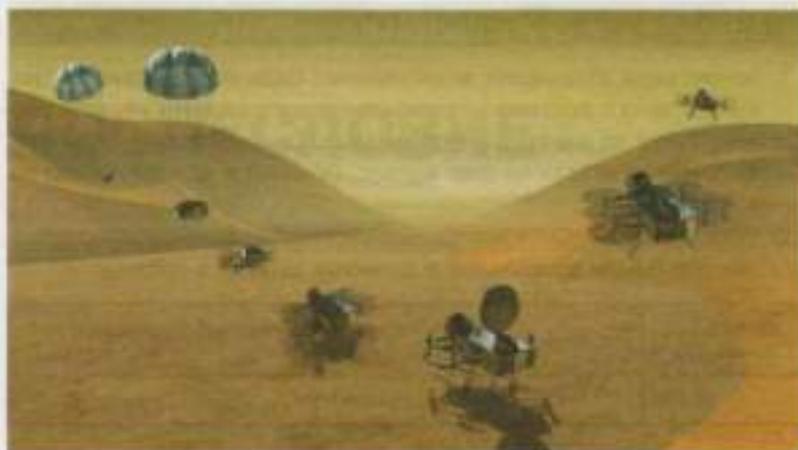
Ученые Планетологического института США (PSI) представят НАСА свои варианты проведения двух роботизированных космических миссий для изучения Солнечной системы. Одна из них предполагает забор образцов из ядра кометы 67P/Чурюмова — Герасименко (рис. 3.56), а вторая будет изучать геологию Титана.

В ходе миссии «Цезарь» (CAESAR — Comet Astrobiology Exploration Sample Return) планируется получить образец

Рис. 3.56

Концепция миссии  
«Цезарь» к комете  
67P/Чурюмова —  
Герасименко





#### СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Уникальная миссия «Стрекоза», в которой будет использоваться мультикоптер для ведения воздушной разведки

Рис. 3.57

ядра кометы 67P/Чурюмова—Герасименко и безопасно вернуть его на Землю. Кометы состоят из вещества древних звезд, межзвездных облаков и элементов, существовавших при зарождении нашей Солнечной системы. Полученный образец покажет, как это вещество способствовало формированию ранней Земли, включая образование океанов и жизни.

Миссия «Стрекоза» направлена на изучение геологических процессов на Титане и определение вероятности существования жизни на этом спутнике Сатурна (рис. 3.57). Планируется изучить геологию Титана с особым упором на процессы образования кратеров и вулканов. При этом ученые уделят внимание процессам, которые уже завершились и которые происходят в настоящее время.



Российский президент заверил, что на Луне есть чем заняться. К тому же со спутника Земли можно начать исследование других планет и далекого космоса. Россия уже в 2019 г. запустит миссию на Марс. В рамках нового исследования Луны россияне намерены осуществить высадки на полюса.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите фундаментальные проблемы, которые решает астрономия.
2. Какие угрозы несет человечеству астероидная опасность?
3. Что называют экзопланетами?
4. Перечислите планируемые миссии НАСА.
5. Каковы первые цели миссии «ЭкзоМарс-2016»?

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Зачем люди открывают экзопланеты? Ведь путешествие до них займет много времени, а при нынешнем развитии науки и техники полет до них просто невозможен. Сформулируйте свою точку зрения в ответе на этот вопрос. Обоснуйте все аргументы за и против.
2. По материалам СМИ составьте список семи потенциально опасных для Земли астероидов и занесите данные в таблицу.

Название астероида	Фото	Особенности астероида	Описание потенциальной угрозы

### ТЕМЫ ДОКЛАДОВ

1. Методы поиска экзопланет.
2. Суперземля (или сверхземля).
3. Способы защиты от астероидной опасности.

## ПОСЛЕСЛОВИЕ

Мы дети Галактики,  
Но самое главное —  
Мы дети твои,  
Дорогая Земля.

*Р.И.Рожественский*

Астрономия — это не только увлекательная наука, с которой человеческая цивилизация во многом связывает свое будущее. Это наука, которая объединяет всех людей мира и помогает осознавать свою сопричастность ко всем событиям, происходящим в нем. Все вместе мы должны беречь планету Земли и понимать, что все мы — дети Галактики, и в поисках новых цивилизаций, в процессе освоения ближнего и дальнего космоса, подавая сигналы о земной цивилизации, разумно представлять не одну какую-нибудь космическую державу, а все человечество.

Об этом задумывались многие. Дж. У. ван Кирк одним из первых разработал свой дизайн флага мира (рис. П.1) в 1913 г. и с этим флагом дважды провел марши мира через Европу.

До высадки астронавтов на Луну существовало мнение, что первым людям на спутнике следует оставить там не американский флаг, а флаг, представляющий все человечество. Хотя эти немногочисленные голоса не были услышаны, в 1970 г. они подтолкнули Дж. Кэдла к созданию флага Земли (рис. П.2). По замыслу Кэдла, флаг следует использовать для представления человечества в целом, без деления на страны, организации или личности. Дж. Кэдл посвятил свою жизнь популяризации флага и рассылал его всем желающим. Перед смертью он передал флаг Земли в общественное достояние.



Рис. П.1

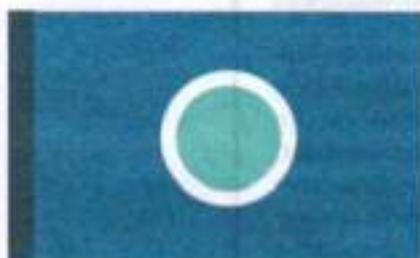
Флаг мира  
Дж. У. ван Кирк



**Рис. П.2**  
Флаг Земли Дж. Козло

Еще один вариант был предложен Э. К. Ренхеду примерно в 2000 г. Флаг, представлявший собой синее полотнище, в центре которого расположен голубой круг с окружающим его белым кольцом, символизирующим Землю, должен был символизировать идею мира и сосуществования (рис. П.3). Простота дизайна флага преследовала цель удобства его изготовления для всех желающих.

В 2006 г. П. Карролл предложил вариант всемирного флага, символизирующий глобализацию современного мира (рис. П.4). Флаг П. Карролла представляет собой прямоугольное полотнище, в центре которого расположены карта мира и флаг ООН, окруженные флагами 216 стран и территорий.



**Рис. П.3**  
Всемирный флаг  
Э. К. Ренхеде

В 2015 г. шведский художник О. Пернефельд предложил дизайн Международного флага планеты Земля (рис. П.5). По замыслу Пернефельда, этот флаг должен использоваться в будущих космических экспедициях (в частности, в полете на Марс) и предназначен для выполнения двух основных целей: представление планеты Земля в космосе и как напоминание людям Земли, что все они — ее жители, независимо от национальных границ, и должны заботиться друг о друге и о планете, на которой живут.

Флаг представляет собой изображение семи колец, пересекающихся друг друга, на темно-синем фоне. Изображения пересекающихся колец образуют в середине цветок, символизирующий жизнь на Земле, а пересечение колец означает, что все на Земле прямо или косвенно связано. Темно-синий фон олицетворяет океан и важность воды для жизни на Земле.



**Рис. П.4**  
Всемирный флаг  
П. Карролла

Флаг Организации Объединенных Наций (ООН), утвержденный 7 декабря 1946 г., представляет собой изображение официальной эмблемы ООН, расположенной в центре полотнища голубого цвета — цвета ООН (рис. П.6). Эта эмблема белого цвета изображена на обеих сторонах полотнища. Флаг ООН использовался для демонстрации единства мирового сообщества, хотя технически представляет только саму ООН. Широкая известность этого флага делает его

достаточно представительным для выражения интересов планеты в целом.

«Наша Солнечная система — это не уникальное место, и при выполнении схожих условий в другом месте обязательно должна появиться жизнь. Сейчас можно с абсолютной уверенностью сказать, что жизнь, разум — вещь рядовая во Вселенной, и в ближайшие десятилетия ученые откроют места в нашей Галактике, где эта жизнь есть. И она будет поразительно похожа на ту, которую мы здесь представляем» — это слова Андрея Финкельштейна, знаменитого советского и российского астронома. Возможно, что это пророчество в ближайшее время сбудется, а флаги, посланные землянами жителям внеземных цивилизаций, помогут формировать не только единство мирового сообщества на планете Земля, но и сообщество всех цивилизаций, а сама жизнь будет считаться фундаментальным свойством Вселенной, так же как темная материя, сверхновые звезды и черные дыры.

Астрономия как наука будет, безусловно, развиваться за счет научных исследований, проводимых в космосе, которые охватывают различные разделы четырех наук: астрономии, физики, геофизики и биологии. Отметим, что такое разграничение наук зачастую носит условный характер.

Иосиф Самуилович Шкловский — основатель современной астрофизики, отвечая на вопрос о будущем астрономии, выделял несколько направлений в астрономии XXI в.

1. Развитие радиоастрономии на основе использования квантовых усилителей в приемной аппаратуре (для получения долгожданной информации об удаленных уголках Вселенной и, видимо, разрешим давно уже наболевший вопрос о характере ее расширения).

2. Расцвет «астрономии невидимого», т. е. исследований космических излучений, лежащих по обе стороны от видимого диапазона электромагнитных волн (светового диапазона) за счет развития ракетной астрономии.

3. Развитие так называемой гамма-астрономии (исследования самых жестких гамма-лучей, которые, несомненно, должны испускаться некоторыми космическими телами).

4. Возникновение и развитие нейтринной астрономии. Такой астрономии пока еще нет, но есть все основания по-

ПОСЛЕСЛОВИЕ

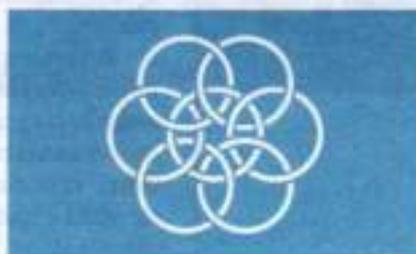


Рис. П.5

Международный флаг планеты Земля  
О.Пернефельда



Рис. П.6

Флаг Организации Объединенных Наций

## ПОСЛЕСЛОВИЕ

лагать, что в ближайшем будущем она возникнет. Нейтрино — элементарная частица, испускаемая некоторыми ядрами при бета-распаде.

5. Возникновение принципиально нового направления в астрономии, так называемой экспериментальной астрономии.

Благодаря новым направлениям в астрономической науке, безусловно, во Вселенной будут обнаружены новые явления, о существовании которых мы сейчас не можем даже догадываться. Возникнут новые грандиозные проблемы, решать которые будет призвана астрономическая наука конца XXI столетия.

# СЛОВАРЬ

## А

**Абсолютная звездная величина** — величина, характеризующая светимость астрономического объекта. Для разных типов объектов используются разные определения абсолютной величины. Для звезд определяется как видимая звездная величина, которую имела бы звезда, удаленная от нас на расстояние 10 пк.

**Астеризм** — легко различимая группа звезд, имеющая исторически устоявшееся самостоятельное название, например, Большой Ковш, находящийся в созвездии Большая Медведица. Различают астеризмы-указатели и навигационные астеризмы.

**Астеризмы-указатели** — пары звезд, которые по условной линии, проведенной между ними, указывают на ночном небе направление на другие звезды.

**Астероид** — относительно небольшое небесное тело Солнечной системы. Двигается по орбите вокруг Солнца подобно планетам, но уступает им по массе и размерам, часто имеет неправильную форму, лишен атмосферы. Термин «астероид» («подобный звезде») введен У.Гершелем.

**Астрометрия** — раздел астрономии, главной задачей которого является изучение геометрических и кинематических свойств небесных тел.

**Астрономия** — наука о Вселенной, изучающая движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем.

**Астрофизика** — раздел астрономии, который изучает важнейшие физические характеристики и свойства космических объектов, процессов и явлений.

## Б

**Балдж** — элемент структуры спиральных галактик в виде центрального сгущения. Внешне балдж выглядит как утол-

щение диска, в центре которого обычно имеется очень плотное ядро.

**Белый карлик** — звезда малой светимости с массой порядка солнечной и размером, сравнимым с размером Земли; представляет собой сжавшееся ядро нормальной звезды на заключительном этапе ее эволюции.

**Ближний космос** — зона космического пространства, которая начинается над околоземным пространством и заканчивается на границе нашей Солнечной системы.

**Болид** — очень яркий метеор. Имеет вид огненного шара, который оставляет за собой след. В некоторых случаях это явление можно наблюдать не только ночью, но даже днем. Болиды могут сопровождаться звуковыми явлениями.

## В

**Венера** — планета земной группы, вторая по удаленности от Солнца и самая горячая планета Солнечной системы. Отличается обратным вращением вокруг своей оси, отсутствием спутников и колец. Утренняя звезда и Вечерняя звезда — два имени одной самой яркой планеты. Для наблюдателя на Земле ярче Венеры только Луна.

**Взаимодействующие галактики** — две или несколько пространственно близких галактик, находящихся под действием взаимной гравитации, которая влияет на форму галактик, движение вещества и звезд, процессы звездообразования и обмен веществом между ними. Большое количество газа, попадающего в центр галактики, стимулирует активность ядра, поэтому среди сильно взаимодействующих галактик чаще встречаются галактики с активными ядрами.

**Внеземные цивилизации** — общества разумных существ, которые могут возникать и существовать вне Земли (на других планетах, космических телах, в иных галактиках, средах и др.).

**Вселенная** — весь окружающий мир.

**Вторая космическая скорость** — минимальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы, преодолев силу притяжения планеты (или другого космического тела), оно навсегда ее покинуло по параболической траектории. Пределы действия земного тяготения тело покидает со скоростью 11,2 км/с и, попадая в гравитационное поле Солнца, становится спутником Солнца.

## Г

**Галактики** — гигантские гравитационно-связанные системы звезд и межзвездного вещества.

**Галактики с активными ядрами** — активные галактики, в центре которых находятся источники с колоссальным выделением энергии. Предположительно, такое количество энергии могут давать сверхмассивные черные дыры.

**Галактический год** — период времени, за который Солнечная система совершает один оборот вокруг центра нашей Галактики.

**Гало галактики** — сферическое облако разреженного горячего газа и звезд, окружающее спиральную галактику.

**Гигант** — звезда, которая по светимости и размеру значительно превосходит большинство звезд того же спектрального класса. По радиусу превышает Солнце в десятки раз.

**Главная последовательность** — узкая диагональная полоса на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла, в которой определенным образом сгруппировано подавляющее большинство звезд (в направлении от ярких и горячих в верхнем левом углу к тусклым и относительно холодным в нижнем правом Углу).

**Годичный параллакс** — угол, под которым со звезды видна большая полуось земной орбиты, перпендикулярная направлению на звезду.

## Д

**Дальний космос** — зона космического пространства за пределами Солнечной системы.

**Диаграмма Герцшпрунга—Ресселла** — диаграмма, выражающая зависимость «спектральный класс—светимость» для звезд различного типа.

## /lv

**Желтый карлик** — небольшая звезда, принадлежащая центральной части главной последовательности диаграммы Герцшпрунга—Ресселла. Типичный представитель — Солнце.

**Жизнь** — процесс существования сложных систем, состоящих из больших органических молекул и неорганических веществ и способных самовоспроизводиться, саморазвиваться и поддерживать свое существование в результате обмена энергией и веществом с окружающей средой.

Закон Хаббла — установленная зависимость между скоростью, с которой удаляются от нас далекие галактики, и расстоянием до них: чем дальше находится галактика, тем с большей скоростью она удаляется.

Звезда — небесное тело, светимость которого поддерживается протекающими в его недрах термоядерными реакциями.

Звездные скопления — группы звезд, связанных силами тяготения и имеющих общее происхождение. Различают шаровые (десятки и сотни тысяч звезд) и рассеянные (несколько десятков или сотен звезд) скопления.

Земля — третья по удаленности от Солнца и пятая по величине и массе среди планет Солнечной системы. Уступая по размерам газовым и ледяным гигантам, занимает первую позицию по плотности. Это — крупнейшая планета земного типа. Сферическая форма Земли обусловлена гравитационным полем, прочно удерживающим атмосферу. Обладает мощным магнитным полем. Отличительная особенность — наличие гидросферы. Условия благоприятны для существования жизни.

Зенит — точка пересечения небесной сферы с отвесной линией над головой наблюдателя.

## К

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

Карликовая планета — небесное тело, которое вращается вокруг Солнца, имеет достаточную массу, чтобы стать почти круглой, но не может расчистить свой орбитальный путь от других объектов. В настоящее время Церера, Плутон, Эрида, Макемаке, Хаумеа официально признаны карликовыми планетами.

Квезары — очень компактные и в то же время очень яркие объекты, излучающие в десятки раз больше энергии, чем крупные галактики.

Кометы — малые тела Солнечной системы, состоящие из льда и космической пыли. Обращаясь по вытянутым орбитам, неоднократно приближаются к Солнцу. По мере приближения к Солнцу у кометы образуется газовый хвост, уменьшающийся при удалении от Солнца. Разрушаясь, комета оставляет за собой мелкие частицы, которые в атмосфере Земли сгорают, как метеоры.

**Контакт космических цивилизаций** — любое взаимодействие между предполагаемыми цивилизациями.

**Конфигурация** — характерное взаимное расположение Солнца, планет, других тел Солнечной системы на небесной сфере. Различают конфигурации верхних и нижних планет.

**Коричневый карлик** — массивный газовый шар, слишком большой, чтобы быть планетой, и слишком маленький, чтобы стать звездой.

**Космические объекты** — космические тела и космические системы.

**Космические процессы** — совокупность физических процессов, лежащих в основе возникновения, существования и развития космических объектов. Примеры космических процессов: образование, существование и эволюция звезд, планет, галактик и всей Вселенной.

**Космические системы** — то, что состоит из космических тел. Основные типы космических систем: планетные и звездные системы, галактики, Метагалактика и вся Вселенная.

**Космические скорости** — характерные критические скорости движения космических объектов в гравитационных полях небесных тел и их систем. Различают четыре космические скорости.

**Космические тела** — все физические тела, которые являются структурными элементами Вселенной. Основные типы космических тел: планетные тела, звезды, туманности и космическая среда.

**Космические явления** — физические явления, возникающие при взаимодействии космических тел и протекании космических процессов. Например, существование спутников у массивных космических тел, движение планет, солнечная активность и т. д.

**Космическое пространство** — пространство за пределами земной атмосферы, в котором движутся космические объекты. Космическое пространство пронизано потоками космических лучей и электромагнитным излучением.

**Космогония** — раздел астрономии, который изучает происхождение и развитие космических объектов и их систем.

**Космология** — раздел астрономии, который исследует происхождение, основные физические характеристики, свойства и эволюцию Вселенной.

**Красный гигант** — крупная звезда красноватого или оранжевого цвета, максимум излучения которой приходится на красную и инфракрасную область спектра.

**Красный карлик** — маленькая и относительно холодная звезда главной последовательности, диаметр которой не превышает трети солнечного. Это самые распространенные объекты звездного типа во Вселенной.

#### Л

**Линзообразные галактики** — тип галактик, промежуточный между эллиптическими и спиральными. Это — дисковые галактики с ярким и сильно сжатым центральным сгущением (балджем), похожим на линзу; ветви прослеживаются слабо или отсутствуют вовсе.

**Луна** — естественный и единственный спутник Земли. После Солнца второй по яркости объект на земном небосводе.

**Лунное затмение** — явление потемнения яркого диска Луны при ее попадании в тень Земли.

#### М

**Малые тела Солнечной системы** — объекты Солнечной системы, к которым относятся метеороиды, астероиды и кометы.

**Марс** — четвертая от Солнца и самая похожая на Землю планета. Марсианский год длиннее земного почти в два раза. Как и все планеты земной группы, имеет твердую поверхность, что делает наземные оптические наблюдения мало информативными. В Солнечной системе Красная планета, как еще называют Марс, наиболее подробно изучена с помощью космических аппаратов. У Марса есть два крохотных естественных спутника — Фобос и Деймос.

Межзвездная **пыль** — примесь твердых микроскопических частиц в межзвездном газе.

Межзвездный **газ** — разреженная газовая среда, заполняющая все пространство между звездами.

**Меркурий** — планета земной группы, первая от Солнца и самая маленькая планета Солнечной системы.

**Метагалактика (видимая Вселенная)** — часть наблюдаемой Вселенной, доступная для изучения современными астрономическими методами.

**Метеор** — явление, вызываемое торможением влетающих на огромных скоростях в атмосферу Земли метеороидных тел. Явление представлено на ночном небе в виде яркого светящегося следа от раскаленных метеороидов, так называемых падающих звезд.

**Метеориты** — так называемые небесные камни, которые представляют собой остатки крупных метеоритов, достигающих Земли.

**Метеороиды (метеорные тела)** — небольшие небесные объекты (гораздо меньше астероидов) в пространстве Солнечной системы, которые движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам.

**Молекулярное облако** — область повышенной плотности вещества в межзвездной среде, имеющая в основном молекулярный состав, главная составляющая которого — молекулы водорода.

## Н

**Навигационные звезды** — звезды, с помощью которых в авиации, мореплавании и космонавтике определяют местонахождение и курс транспортного средства.

**Надир** — точка небесной сферы, в которой ее пересекает нижняя часть отвесной линии.

**Небесная механика** — раздел астрономии, который исследует движение космических объектов под действием сил гравитации с учетом действия давления излучения, сопротивления среды, изменения массы и других факторов.

**Небесная сфера** — воображаемая сферическая поверхность произвольного радиуса с наблюдателем в центре, на которую проецируются небесные светила.

**Нейтронная звезда** — звезда, в которой сжатие ядра не прекращается до тех пор, пока протоны, захватывая электроны, не превратятся в нейтроны.

**Неправильные галактики** — галактики, которые не обнаруживают ни спиральной, ни эллиптической структуры. Характеризуются отсутствием центральных уплотнений и симметричной структуры, а также низкой светимостью.

**Нептун** — восьмая планета по удаленности от Солнца. По составу слагающего ее вещества близка к Урану. Самая маленькая из планет-гигантов; обладает спутниками и слабо выраженной системой колец.

**Новая звезда** — звезда, у которой внезапно и значительно увеличивается светимость.

## О

Оптическая астрономия — раздел наблюдательной астрономии, инструментами которой являются телескопы, способные воспринимать видимый свет.

**Отвесная линия** — вертикальная линия, которая пересекает небесную сферу в точках зенита и надира.

## П

**Параллакс** — угол, на который смещается видимое положение объекта относительно удаленного фона в зависимости от положения наблюдателя.

**Парсек** — расстояние до объекта, имеющего угол параллакса в 1".

**Первая космическая скорость** — минимальная скорость, которую необходимо сообщить телу для выведения его на круговую орбиту. Чтобы тело превратилось в искусственный спутник Земли, ему надо придать скорость **7,91** км/с.

**Планетезималь** — зародыш планеты, возникающий на последней стадии формирования планеты из допланетного газопылевого вещества.

**Планеты-гиганты** — самые большие после Солнца тела Солнечной системы (Юпитер и Сатурн (газовые гиганты), Уран и Нептун (ледяные гиганты)). Значительно превосходят Землю по массе и объему, но, по сравнению с Солнцем, они совсем невелики. Их плотность близка к средней солнечной. Расположены за пределами пояса астероидов, обладают мощными атмосферами, быстрым вращением, а также кольцами. Отличаются большим числом спутников.

**Плутон** — крупнейшая карликовая планета Солнечной системы. Долгое время считался девятой планетой Солнечной системы. У Плутона, как и у Венеры с Ураном, обратное направление вращения вокруг своей оси. Его поверхность сильно неоднородна. Плутон состоит в основном из камня и льда. Его масса примерно в шесть раз меньше массы Луны. Имеет пять спутников.

**Постоянная Хаббла** — коэффициент пропорциональности между скоростью удаления внегалактических объектов и расстоянием до них.

**Протозвезда** — звезда на завершающем этапе своего формирования.

## Р

Радиогалактики — один из типов наблюдаемых галактик с активными ядрами. Максимум излучения приходится на радиодиапазон.

Реликтовое **излучение** — фоновое космическое радиоизлучение, которое образовалось на ранних стадиях развития Все-

ленной; является уникальным источником информации о ее прошлом. Термин «реликтовое излучение» ввел астрофизик И. С. Шкловский.

Рефлектор — зеркальный оптический телескоп, в котором в качестве светособирающего элемента используется вогнутое зеркало. Работа телескопа основана на явлении отражения света.

Рефрактор — линзовый оптический телескоп, в котором для собирания света используется линза (или система линз), называемая объективом. Работа телескопа основана на явлении преломления света в линзе.

## С

Сатурн — шестая планета по удаленности от Солнца и вторая в Солнечной системе по размерам после Юпитера, на которой очень похожа. Среди всех планет Солнечной системы выделяется средней плотностью, которая меньше плотности воды и составляет  $0,7 \text{ г/см}^3$ . Среди планет-гигантов отличается наиболее выраженной системой колец (знаменитые кольца Сатурна).

Сверхгигант — звезда, светимость и размер которой еще больше, чем у гиганта. По радиусу превышают Солнце в сотни раз.

Сверхновая звезда — массивная звезда, взрывающаяся в конечной стадии своей эволюции.

Сверхскопления галактик — многочисленные группы галактик и скоплений галактик в структуре распределения вещества Вселенной.

Светимость звезд — характеристика мощности излучаемой звездой энергии.

Световой год — расстояние, которое свет проходит за 1 год.

Сидерический период обращения — промежуток времени, в течение которого планета совершает один полный оборот вокруг Солнца по своей орбите.

Сингулярность — начальное состояние, из которого возникла Вселенная, когда энергия (материя) была сосредоточена в точке с нулевым объемом и бесконечно большой плотностью и температурой.

Синодический период обращения — период обращения небесного тела при наблюдении за ним с Земли. Не совпадает с сидерическим периодом из-за движения Земли по орбите.

Скопления галактик — гравитационно-связанные группы галактик. Различают правильные и неправильные скопления галактик.

**Созвездие** – участок небесной сферы, границы которого определены специальным решением Международного астрономического союза (МАС).

**Солнечное затмение** – явление, при котором Луна полностью или частично заслоняет Солнце от наблюдателя, находящегося на Земле. Бывают полные, частные и кольцеобразные затмения.

**Солнце** – ближайшая к нам звезда, поверхность которой доступна изучению.

**Спиральные галактики** – галактики, отличающиеся спиральной структурой. Основным наблюдаемым элементом является вращающийся диск с выделяющимися на нем спиральными ветвями.

**Суперземля (или сверхземля)** – класс планет, масса которых превышает массу Земли, но значительно меньше массы газовых планет-гигантов.

## Т

**Телескоп** – прибор, который увеличивает угол зрения, под которым видны небесные тела, и количество света, проходящего от небесного тела. По оптической схеме телескопы делятся на линзовые (рефракторы), зеркальные (рефлекторы) и зеркально-линзовые. По рабочему диапазону частот делятся на радиотелескопы, инфракрасные, оптические, ультрафиолетовые, рентгеновские, гамма-телескопы.

**Темная энергия** – неизвестный ранее вид материи, обладающий свойством антигравитации.

**Третья космическая скорость** – минимальная скорость, которую необходимо сообщить находящемуся вблизи поверхности Земли телу, чтобы оно могло преодолеть притяжение Земли и Солнца и покинуть пределы Солнечной системы. При старте с Земли космический аппарат может достичь третьей космической скорости при благоприятных условиях уже при 16,7 км/с относительно Земли.

**Тропический год** – промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия.

## У

**Уран** – седьмая по удаленности от Солнца, третья по размеру и четвертая по массе планета Солнечной системы. У Урана обратное вращение (по часовой стрелке) вокруг собственной

оси и вращение «на боку» (осевой наклон 97,77) вокруг Солнца. Подобно другим газовым планетам-гигантам, имеет кольца, которые были открыты первыми после колец Сатурна. Это стало основанием для предположения о том, что кольца являются общей характеристикой планет.

#### Ф

**Фаза Луны** — наблюдаемая с Земли освещенная часть лунного диска.

#### Х

**Хаумеа** — четвертая по величине карликовая планета, самое быстровращающееся тело из всех изученных объектов Солнечной системы, имеющих диаметр более **100** км. Период вращения менее **4** ч. Хаумеа обладает сильно вытянутой формой. У нее обнаружено два спутника и система колец.

#### Ц

**Цефеиды** — пульсирующие переменные звезды, яркость которых периодически меняется во времени.

#### Ч

**Черная дыра** — область пространства, в которой тяготение настолько велико, что ничто, не может покинуть данную область, не превысив скорости света.

**Черные карлики** — остывшие белые карлики.

**Четвертая космическая скорость** — минимально необходимая скорость тела, позволяющая преодолеть притяжение галактики в данной точке. Четвертая космическая скорость не постоянна для всех точек галактики, а зависит от координаты. По оценкам, в районе нашего Солнца четвертая космическая скорость составляет около **550** км/с.

#### Э

**Экзопланеты** — планеты, которые находятся вне пределов Солнечной системы и обращаются вокруг своих собственных светил.

**Эклиптика** — годичный путь Солнца по небесной сфере.

**Эллиптические галактики** — класс галактик с четко выраженной сферической структурой и уменьшающейся к краям яркостью.

## СЛОВАРЬ

Эрида – вторая по размеру карликовая планета после Плутона, самая массивная и наиболее удаленная от Солнца. Имеет очень высокую отражательную способность, она почти белая. Вероятно, это объясняется наличием метанового снега на поверхности.

### Ю

Юпитер – пятая по удаленности от Солнца планета-гигант. Самая крупная и самая массивная из всех планет Солнечной системы; испытывает самое быстрое вращение вокруг собственной оси; сплюснута у полюсов. Магнитное поле по величине значительно превышает земное.

### Я

Ядро галактики – центральная часть спиральных и эллиптических галактик. Обладает высокой светимостью.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вайнберг С.* Космология / С. Вайнберг : [пер. с англ.]. — М. : Либроком, 2013.
- Вайнберг С.* Первые три минуты / С. Вайнберг : [пер. с англ.]. — М. : АСТ, 2018.
- Воронцов-Вельяминов Б.А.* Астрономия. Базовый уровень. 11 класс : учебник / Б.А.Воронцов-Вельяминов, Е.К.Стратут. — М. : Дрофа, 2017.
- Горелик Г.Е.* Новые слова науки — от маятника Галилея до квантовой гравитации / Г. Е. Горелик // Приложение к журналу «Квант», 2013. — № 3.
- Казютинский В. В.* Астрономия и современная картина мира / В. В. Казютинский. — М. : Книга по Требованию, 2013.
- Куликовский П. Г.* Справочник любителя астрономии / П. Г. Куликовский. — М. : Либроком, 2013.
- Кунаш М.А.* Астрономия. 11 класс : метод, пособие / М. А. Кунаш. — М. : Дрофа, 2018.
- Кунаш М.А.* Астрономия. 11 класс : технологические карты уроков / М.А.Кунаш. — Ростов н/Д. : Дрофа, 2018.
- Левитан Е.П.* Астрономия. Базовый уровень. 11 класс : учебник / Е.П.Левитан. — М. : Просвещение, 2018.
- Монтенбрук О.* Астрономия на персональном компьютере / О. Монтенбрук, Т.Пфлегер : [пер. с англ.]. — СПб. : Питер, 2002.
- Орлов А.Я.* Теоретическая астрономия : лекции / А.Я.Орлов. — Одесса : Всеукраинское ГИЗ, 1921.
- Рассел Дж.* Астрономия инков : [пер. с англ.] / Дж. Рассел. — М. : Книга по Требованию, 2012.
- Решетников В.П.* Почему небо темное. Как устроена Вселенная / В.П.Решетников. — М. : Век-2, 2012.
- Сирис А.З.* Геометрически физическая астрономия. Астрономия физически геометрическая. Теоретические основы / А.З.Сирис. — СПб. : Старт, 2009.

**СПИСОК  
ЛИТЕРАТУРЫ**

*Сирис А.З.* Почему не Луна, а Земля существует причиной происхождения приливов и отливов на Земле / А.З.Сирис. — СПб. : Ленанд, 2012.

*Сурдин В.Г.* Астрономические задачи с решениями / В. Г. Сурдин. — СПб. : Изд-во ЛКИ, 2017.

*Сурдин В.Г.* Галактики / В. Г. Сурдин. — М. : Физматлит, 2013.

*Сурдин В.Г.* Разведка далеких планет / В. Г. Сурдин. — М. : Физматлит, 2013.

*Фламарион К.* Общедоступная астрономия / К.Фламарион : [пер. с фр.]. — М. : Тип. Ю. Н. Эрлих, 1900.

*Чаругин В.М.* Астрономия : учебник / В.М.Чаругин. — М. : Просвещение, 2018.

Энциклопедия для детей. Астрономия / под. ред. Р. Дурлевича. — Т. 8. — М. : Аванта+, 2013.

*Юнг Ч.А.* Описательная астрономия : [пер. с англ.] / Ч.А.Юнг. — Одесса : Тип. Акционерного Южно-русского общества печатного дела, 1915.

**Интернет-ресурсы**

астрономия.рф

<http://www.astronet.ru>

<http://www.astronews.ru/>

<http://www.college.ru>

<http://www.cosmoworld.ru>

<http://www.izmiran.ru>

<http://menobr.ru>

<http://moglobi.ru/>

<http://www.planetarium-moscow.ru/>

<http://www.sai.msu.su>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

3.3. Виды звезд.....	166
3.4. Звездные системы.....	172
3.5. Наша Галактика — Млечный путь.....	176
3.6. Другие галактики.....	183
3.7. Метагалактика.....	197
3.8. Эволюция галактик и звезд.....	204
3.9. Жизнь и разум во Вселенной.....	212
3.10. Перспективы развития астрономии и космонавтики.....	224
Послесловие.....	235
Словарь.....	239
Список литературы.....	251

*Учебное издание*

Алексеева Екатерина Владимировна,  
Скворцов Павел Михайлович,  
Фещенко Татьяна Сергеевна,  
Шестакова Любовь Александровна

## **Астрономия**

Учебник

Под редакцией Т. С. Фещенко

Редактор *Е. Б.Махиянова*  
Компьютерная верстка: *С.Ф.Федорова*  
Корректоры *Е.В.Кудряшова, Т.М.Власенко*

**Изд. № 103119644. Подписано в печать 20.12.2018. Формат 70х90/16.  
Гарнитура «Школьная». Бумага офс. № 1. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 18,72. Тираж 10000 экз. Заказ № 4527**

**ООО «Издательский центр «Академия», [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)  
129085, г. Москва, пр-т Мира, д. 101В, стр. 1.  
Тел./факс: 8 (495) 648-05-07, 616-00-29.**

**Сертификат соответствия № РОСС RU.Af177.H02114 от 31.05.2018.**

**Отпечатано с электронных носителей издательства.**

**ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.  
Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.  
Home page — [www.tverpk.ru](http://www.tverpk.ru) Электронная почта (E-mail) — [sales@tverpk.ru](mailto:sales@tverpk.ru)**

# АСТРОНОМИЯ



Издательский центр «Академия»  
[www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)