

22.6

П12

СА-408081

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

16+

# Астрономия

ПАВЛОВ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

---

С.В. ПАВЛОВ

# АСТРОНОМИЯ

СА-408081

Государственное бюджетное  
учреждение культуры  
«Оренбургская областная универсальная  
научная библиотека им. Н.К. Крупской»

**znanium**

электронно-библиотечная система

Москва  
ИНФРА-М  
2025

# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Предмет астрономии .....</b>	<b>5</b>
1.1. Предмет и задачи астрономии .....	5
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>7</i>
1.2. Основные этапы развития астрономии .....	7
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>13</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>13</i>
1.3. Достижения современной космонавтики .....	14
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>16</i>
1.4. Практическое значение астрономии и ее связь с другими науками .....	16
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>18</i>
<b>Глава 2. Основы практической астрономии .....</b>	<b>19</b>
2.1. Небесная сфера. Небесные координаты .....	19
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>22</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>22</i>
2.2. Видимое суточное движение звезд, экваториальные системы координат .....	23
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>32</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>33</i>
2.3. Видимая звездная величина .....	34
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>36</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>36</i>
2.4. Звездная карта, звезды и созвездия .....	36
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>44</i>
2.5. Видимые движения солнца и луны на небесной сфере .....	45
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>51</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>51</i>
2.6. Конфигурации, условия видимости и движение планет .....	52
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>60</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>60</i>
2.7. Солнечные и лунные затмения .....	61
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>67</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>67</i>
2.8. Время и календарь .....	69
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>75</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>75</i>
<b>Глава 3. Законы движения небесных тел. небесная механика .....</b>	<b>76</b>
3.1. Законы Кеплера .....	76
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>80</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>80</i>
3.2. Закон всемирного тяготения .....	81
<i>Вопросы и задания .....</i>	<i>84</i>
<i>Задачи .....</i>	<i>84</i>

3.3. Обобщение Ньютоном законов Кеплера. Определение масс небесных тел.....	84
<i>Вопросы и задания</i> .....	90
<i>Задачи</i> .....	90
3.4. Движение искусственных небесных тел.....	91
<i>Вопросы и задания</i> .....	97
<i>Задачи</i> .....	97
3.5. Методы определения расстояний до космических объектов и их размеры.....	99
<i>Вопросы и задания</i> .....	106
<i>Задачи</i> .....	106
<b>Глава 4. Солнечная система.....</b>	<b>108</b>
4.1. Структура и масштабы солнечной системы.....	108
<i>Вопросы и задания</i> .....	114
4.2. Происхождение солнечной системы .....	114
<i>Вопросы и задания</i> .....	119
4.3. Система «Земля — Луна».....	119
<i>Вопросы и задания</i> .....	127
4.4. Планеты земной группы .....	127
<i>Вопросы и задания</i> .....	133
<i>Задачи</i> .....	133
4.5. Планеты-гиганты .....	136
<i>Вопросы и задания</i> .....	144
<i>Задачи</i> .....	145
4.6. Спутники планет солнечной системы.....	152
<i>Вопросы и задания</i> .....	163
<i>Задачи</i> .....	163
4.7. Карликовые планеты.....	166
<i>Вопросы и задания</i> .....	171
<i>Задачи</i> .....	171
4.8. Малые тела солнечной системы.....	173
<i>Вопросы и задания</i> .....	182
<i>Задачи</i> .....	182
<b>Глава 5. Методы астрономических исследований.....</b>	<b>187</b>
5.1. Электромагнитное излучение, космические лучи и гравитационные волны как источники информации о природе и свойствах небесных тел .....	187
<i>Вопросы и задания</i> .....	192
5.2. Наземные и космические телескопы: принцип работы.....	192
<i>Вопросы и задания</i> .....	204
<i>Задачи</i> .....	205
5.3. Спектральный анализ.....	205
<i>Вопросы и задания</i> .....	208
<i>Задачи</i> .....	209
5.4. Определение температуры и светимости небесных тел. Закон Вина и закон Стефана — Больцмана. Эффект Доплера .....	210
<i>Вопросы и задания</i> .....	214
<i>Задачи</i> .....	214
<b>Глава 6. Звезды.....</b>	<b>215</b>
6.1. Абсолютная звездная величина и светимость звезд.....	215

Вопросы и задания .....	218
Задачи .....	218
6.2. Цвет, температура и спектры звезд. спектральные классы .....	218
Вопросы и задания .....	222
Задачи .....	222
6.3. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела .....	225
Вопросы и задания .....	228
Задачи .....	228
6.4. Двойные и кратные звезды. определение масс звезд .....	232
Вопросы и задания .....	237
Задачи .....	237
6.5. Происхождение химических элементов и источники энергии звезд .....	239
Вопросы и задания .....	242
Задачи .....	242
6.6. Переменные и вспыхивающие звезды .....	242
Вопросы и задания .....	247
Задачи .....	247
6.7. Эволюция звезд: ее этапы и конечные стадии .....	248
Вопросы и задания .....	254
Задачи .....	255
6.8. Строение солнца и звезд .....	257
Вопросы и задания .....	263
Задачи .....	263
6.9. Проявления солнечной активности: пятна, вспышки, протуберанцы .....	265
Вопросы и задания .....	270
Задачи .....	270
6.10. Внесолнечные планеты. проблема существования жизни во вселенной .....	271
Вопросы и задания .....	275
Задачи .....	275
<b>Глава 7. Наша галактика — млечный путь .....</b>	<b>278</b>
7.1. Состав и структура галактики .....	278
Вопросы и задания .....	282
Задачи .....	282
7.2. Движение звезд и галактики .....	284
Вопросы и задания .....	287
Задачи .....	288
7.3. Межзвездная среда, газопылевые туманности и звездные скопления .....	288
Вопросы и задания .....	296
Задачи .....	297
7.4. Темная материя .....	298
Вопросы и задания .....	300
Задачи .....	300
<b>Глава 8. Галактики. строение вселенной .....</b>	<b>301</b>
8.1. Многообразие галактик и их основные характеристики .....	301
Вопросы и задания .....	310
Задачи .....	310
8.2. Галактики с активными ядрами. Квазары .....	310
Вопросы и задания .....	313

8.3. Скопления и сверхскопления галактик. строение вселенной.....	314
<i>Вопросы и задания</i> .....	316
<i>Задачи</i> .....	316

**Глава 9. Представление о космологии. Эволюция вселенной ..... 318**

9.1. Красное смещение. Закон Хаббла.....	318
<i>Вопросы и задания</i> .....	325
<i>Задачи</i> .....	326
9.2. Большой взрыв. Реликтовое излучение. Темная энергия.....	326
<i>Вопросы и задания</i> .....	331
<i>Задачи</i> .....	331

**Ответы ..... 333**

**Библиографический список ..... 336**

**Приложения..... 337**

Приложение 1. Основные астрономические символы.....	337
Приложение 2. Основные физические и астрономические константы .....	338
Приложение 3. Справочные данные о Земле .....	339
Приложение 4. Справочные данные о Луне.....	340
Приложение 5. Справочные данные о Солнце.....	341
Приложение 6. Характеристики планет земной группы.....	342
Приложение 7. Характеристики планет-гигантов.....	343
Приложение 8. Карликовые планеты.....	344
Приложение 9. Спутники планет .....	345
Приложение 10. Астероиды.....	346
Приложение 11. Таблица созвездий.....	347
Приложение 12. Физические характеристики некоторых ярких звезд .....	351

## Введение

Для чего нужно изучать астрономию?

Мы — дети Солнечной системы, по большому счету, мы — дети Вселенной. И это не голословное утверждение. В каждом из нас есть атомы, которые когда-то образовались в результате Большого взрыва, атомы, которые возникли из остатков сверхновых звезд. «Мы сотворены из звездной пыли», — сказал Карл Саган, американский астроном, астрофизик и популяризатор науки.

Говоря более прозаично, на нас вываливаются потоки информации. В средствах массовой информации, в интернете довольно часто появляются сообщения, так или иначе затрагивающие космические, астрономические, околоастрономические и псевдоастрономические темы. И нужно научиться отличать правду от вымысла, а иногда и от откровенной лжи. Миллионы людей в мире свято верят, что Земля плоская, что нам постоянно угрожают разумные рептилии, живущие на планете Нибиру и мечтающие уничтожить все человечество. НЛО, инопланетяне в летающих тарелках давно и прочно утвердились в сознании множества людей.

Астрономия отличается от других наук тем, что в ней огромное количество нерешенных вопросов, загадок и тайн. Мы не можем потрогать руками далекие космические объекты, основным методом изучения космоса остаются наблюдения.

Но прогресс не стоит на месте. Беспилотные космические аппараты уже достигают границ Солнечной системы. Актуальной остается проблема освоения других планет, Луны. Необходимо принимать меры для защиты от астероидов, пролетающих в опасной близости от Земли. А для этого необходимы знания об этих небесных телах. И хотя вы далеко не все станете космонавтами, астрономами, астрофизиками или разработчиками новых космических систем и аппаратов, знание устройства Вселенной, нашей Галактики и Солнечной системы сформирует у вас научное мировоззрение, позволит самостоятельно разобраться в сложных вопросах вселенского бытия.

Да и просто созерцание ночного звездного неба, поиск и нахождение созвездий, любовование нашим звездным островом с поэтическим названием Млечный Путь будет доставлять вам невыразимое наслаждение.

Но изучение астрономии, как и других наук, требует приложения сил и энергии, а также знания основ физики, математики, химии

и других наук. И если вы постигнете эту увлекательную науку, то, может быть в будущем, откроете новый космический объект или явление, даже не будучи профессиональными астрономами, а просто астрономами-любителями, имеющими небольшой телескоп или просто бинокль с хорошей разрешающей способностью. А вам известно, что Уильям Гершель, открывший планету Уран, был музыкантом? А Карл Хенке, который обнаружил первые астероиды, был почтовым служащим? Этот список можно продолжить. Профессиональных астрономов в мире не так много, чтобы они смогли охватить весь небесный свод. Любителей гораздо больше, и они раскиданы по всему миру. Кто знает, может быть, и вы станете счастливым первооткрывателем неизвестных ранее космических объектов. Изучайте астрономию и больших вам успехов в этом деле!

# Глава 1

## ПРЕДМЕТ АСТРОНОМИИ

### 1.1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ АСТРОНОМИИ

Слово «астрономия» составное, оно происходит от двух греческих слов:  $\alpha\sigma\tau\rho\nu$  (астрон) — звезда и  $\nu\omicron\mu\omicron\varsigma$  (номос) — закон. И конечно, астрономия изучает не только звезды.

**Астрономия** — фундаментальная наука, изучающая происхождение, развитие, строение и движение всех небесных тел, их систем и всей Вселенной в целом.

Астрономия исследует небесные объекты — галактические скопления и галактики, звезды и межзвездную среду, планеты и их спутники, карликовые планеты и малые тела Солнечной системы. Важными задачами астрономии также являются объяснение и прогнозирование астрономических явлений, таких как солнечные и лунные затмения, появление периодических комет, прохождение вблизи Земли астероидов, крупных метеорных тел или ядер комет, изучение процессов, происходящих в недрах Солнца и звезд, эволюция небесных тел и Вселенной.

Таким образом, предмет исследований астрономии — множество самых различных космических объектов и явлений. Многообразны и методы: теоретические исследования и различные экспериментальные способы регистрации и обработки космического излучения, которое является основным источником информации. Такое многообразие методов приводит к многочисленности разделов и направлений в астрономии, не нарушая, впрочем, ее целостности и единства как науки.

Так, астрономия объединяет следующие разделы.

**Астрометрия** — раздел астрономии, изучающий положение и движение небесных тел и систем, а также векторов их скоростей на данный момент времени. Важной частью астрометрии является практическая астрономия, занимающаяся способами нахождения географических координат, координат небесных светил, исчислением точного времени, а также учением об астрономических инструментах и их применении для определения времени, координат и направлений в геодезии, морской и авиационной астрономии.

**Небесная механика** применяет законы механики для изучения и вычисления движения небесных тел, в первую очередь тел Солнечной системы.

**Звездная астрономия** изучает происхождение, развитие и движение звезд, звездных скоплений, галактик и, конечно, нашей Галактики Млечный Путь.

**Сравнительная планетология** изучает планеты и их спутники, а также Солнечную систему в целом и другие, внесолнечные, планетные системы, сопоставляет сведения о Земле и других планетах Солнечной системы. В настоящее время она находится на стыке астрономии и геологии, что связано с успехами космических методов исследования планет.

**Астрофизика** — раздел науки, который находится на стыке астрономии и физики, изучает физические процессы на поверхности и в недрах астрономических объектов, таких как звезды, галактики и т.д., а также химический состав, химические процессы и источники энергии небесных тел.

**Космология** рассматривает происхождение, строение и эволюцию Вселенной как единого целого.

**Космогония** изучает происхождение и развитие небесных тел и систем.

В чем заключаются особенности астрономии и ее методов?

Как отмечалось выше, основным методом астрономических исследований является наблюдение, регистрация и обработка электромагнитного излучения, приходящего из космоса. В первую очередь это видимый свет от космических объектов. В XX в. с развитием технологий и выходом в космос стала возможной регистрация всех видов излучения от радиоволн до гамма-лучей, и астрономия стала всеволновой (см. подробнее параграф 5.2).

Наблюдения — основной источник информации в астрономии. Это *первая* особенность, отличающая астрономию от других естественных наук, например физики, химии или биологии, где определяющую роль играют эксперименты, опыты. Возможности проведения экспериментов небольшого масштаба за пределами Земли появились благодаря космонавтике.

*Вторая* особенность — это значительная продолжительность астрономических явлений, длящихся сотни, миллионы и даже миллиарды лет. Поэтому непосредственно наблюдать происходящие изменения невозможно. Когда изменения происходят особенно медленно, приходится проводить наблюдения многих родственных между собой объектов, например звезд, находящихся на разных стадиях своего развития. Основные сведения об эволюции звезд получены именно таким способом (см. параграф 6.7).

*Третьей* особенностью является сложность в определении расстояний до небесных тел и невозможность различить, какое из них

находится ближе к нам, а какое дальше. Наше зрение устроено так, что при больших расстояниях все предметы (в том числе и небесные объекты) кажутся одинаково удаленными. Поэтому нам кажется, что в созвездиях звезды расположены близко друг к другу, однако это совсем не так.

### Вопросы и задания

1. Дайте определение астрономии как науки.
2. Что является предметом астрономии?
3. Перечислите основные разделы астрономии и кратко их охарактеризуйте.
4. Сформулируйте три особенности астрономии как науки.

## 1.2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИИ

Историю развития астрономии можно условно разделить на несколько этапов:

I — античный (до н.э.);

II — дотелескопический (н.э. до 1610);

III — телескопический (1610—1814);

IV — спектроскопический (1814—1900);

V — современный (1900 — до настоящего времени).

Первый этап — *античный* — связан с возникновением астрономии в III—I тысячелетия до н.э., о чем свидетельствуют археологические находки. Древние обсерватории, такие как Стоунхендж в Англии и Аркаим в Челябинской области, говорят о том, что древние люди знали, как определять дни равноденствия и солнцестояния... Не могли они не знать таких очевидных вещей, как смена дня и ночи, фазы Луны и периодичность времен года. В первую очередь эти знания им были необходимы для удовлетворения насущных потребностей — в пище и теплом очаге. Земледельцам необходимо было знать время посева и сбора урожая, скотоводам — когда выгонять стада на заливные луга, кочевникам — как ориентироваться по положению небесных тел, чтобы не сбиться с пути. Поэтому еще в древние времена люди умели составлять календари, разделяя счет времени на годы, лунные месяцы и солнечные сутки.

Будучи не в силах объяснить редкие небесные явления, такие как затмения Солнца и Луны, появления комет и вспышки сверхновых звезд, наши предки предписывали им божественную сущность и влияние на земные события и судьбы людей.

Своим мировоззрением древние люди не могли охватить всю Вселенную. Они полагали, что Земля плоская, а над ней в форме огромного полушария раскинулась небесная твердь с приклеен-

Б. Движение планет и других небесных тел в системе отсчета, связанной с Землей.

Какое (-ие) из утверждений правильно (-ы):

- 1) только А;
- 2) только Б;
- 3) и А, и Б;
- 4) ни А, ни Б.

### 1.3. ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКИ

Начало космической эры в истории человечества датируется 4 октября 1957 г., когда в СССР был произведен запуск в околоземное пространство первого искусственного спутника. Последовавшие за ним другие спутники открыли новую страницу в развитии астрономии, связанную с отправкой космических аппаратов на Луну, другие планеты Солнечной системы, а также возможностью проведения наблюдений непосредственно из космоса.

Мечты проникновения в глубины Вселенной стали реальностью, когда 12 апреля 1961 г. в космос отправился Юрий Гагарин — первый космонавт Земли (рис. 1.3)<sup>1</sup>. Сейчас 12 апреля — День космонавтики. За Гагариным в космос полетели другие советские космонавты: Г.С. Титов, А.Г. Николаев, П.Р. Попович, В.Ф. Быковский, В.В. Терешкова, В.М. Комаров, К.П. Феоктистов, Б.Б. Егоров и многие другие.

В 1965 г. с борта космического корабля «Восход-2» Алексей Леонов совершил первый в истории человечества выход в открытый космос.

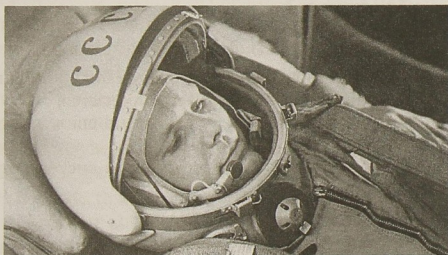


Рис. 1.3. Первый космонавт Земли Ю.А. Гагарин

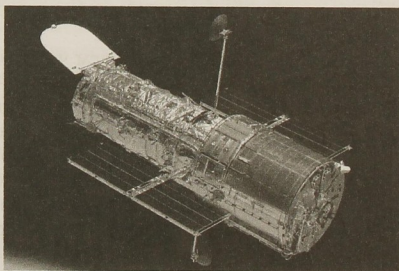
<sup>1</sup> Здесь и далее, если не указано иное, рисунки и фотографии либо авторские, либо взяты с сайтов, разрешающих коммерческое использование (pixabay.com, pxhere.com, pickupimage.com, pixy.org, stock.adobe.com).

В 1969 г. американский астронавт Нил Амстронг ступил на поверхность Луны, что явилось еще одним эпохальным событием для всего человечества. За ним в 1970 г. последовали доставка на Землю лунного грунта советской автоматической межпланетной станцией Луна-16, посадка спускаемых аппаратов на поверхности Венеры и Марса, посылка автоматических межпланетных станций к более далеким планетам Солнечной системы. В 1971 г. была запущена первая орбитальная станция долгосрочного нахождения в космосе — «Салют». С 1977 г. начал работать целый комплекс орбитальных станций, что дало возможность совершать полет продолжительностью почти пять лет.

Первым в истории аппаратом, отправившимся к границам Солнечной системы, стала американская автоматическая межпланетная станция «Пионер-10», запущенная 3 марта 1972 г. Первоначально целью миссии было исследование Юпитера и межпланетного пространства. Номинальное время работы станции составляло 21 месяц. Однако официально миссия «Пионера» завершилась в 1997 г. Последний слабый сигнал был получен 23 января 2003 г. В настоящее время «Пионер-10» находится на расстоянии 18 млрд км от Солнца и предполагается, что через 2 млн лет аппарат доберется до окрестности звезды Альдебаран.

Вслед за «Пионером» в дальнее космическое путешествие отправили космические аппараты «Вояджер-1» и «Вояджер-2». Более подробно о миссии этих межпланетных станций см. параграф 4.1.

Космические аппараты позволяют выводить за пределы земной атмосферы как оптические, так и инфракрасные, рентгеновские и гамма-телескопы. Самый знаменитый среди них — телескоп «Хаббл», названный в честь американского астрофизика Эдвина Хаббла (рис. 1.4).



**Рис. 1.4.** Космический телескоп «Хаббл»

2. Что такое астеризм?
3. Видно ли сегодня ночью созвездие Кассиопеи из средних широт Северного полушария? Ответ поясните.
4. В одной из песен В. Высоцкого есть слова: «В далеком созвездии Тау Кита...». В чем заключается ошибка поэта?
5. Вавилоняне называли его «Лесная птица», арабы — «Курица». А как называем это созвездие мы?

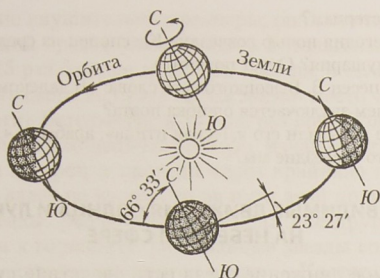
## 2.5. ВИДИМЫЕ ДВИЖЕНИЯ СОЛНЦА И ЛУНЫ НА НЕБЕСНОЙ СФЕРЕ

Если видимое движение звезд есть следствие суточного вращения Земли вокруг своей оси, то видимое движение Солнца по небесной сфере обусловлено еще и движением Земли вокруг Солнца.

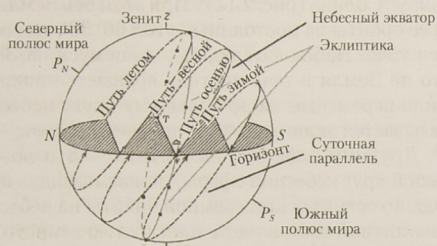
Земля, как и другие планеты Солнечной системы, движется по орбите вокруг Солнца (рис. 2.14)<sup>1</sup>. При этом ось Земли наклонена к плоскости ее орбиты на постоянный угол  $66^{\circ} 33'$ , чем объясняется смена времен года. Наблюдателю, находящемуся на Земле, будет казаться, что не Земля в течение года вращается вокруг Солнца, а наше светило перемещается по большому кругу небесной сферы. Этот круг называется **эклиптикой** (от др.-греч. ἑκλειψις — затмение) (рис. 2.15)<sup>2</sup>. Другими словами, эклиптика — это воображаемая линия (большой круг небесной сферы), показывающая путь Солнца в течение года, то есть проекция земной орбиты на небесную сферу. Плоскость эклиптики составляет с плоскостью земного и, следовательно, небесного экватора угол  $23^{\circ} 27'$  (см. рис. 2.14). Эклиптика пересекает небесный экватор в двух точках, одна из которых — *точка весеннего равноденствия*, ее принято обозначать знаком Овна  $\Upsilon$ , другая, диаметрально противоположная, — *точка осеннего равноденствия*, обозначаемая знаком созвездия Весы  $\Omega$  (приложение 1). В первой из них, точке Овна, Солнце бывает 21 марта, когда оно переходит из Южного небесного полушария в Северное. Во второй, точке Весов, оно находится примерно 23 сентября, когда переходит из Северного полушария в Южное. Точки эклиптики, отстоящие от точек равноденствий на  $90^{\circ}$ , называются *точками солнцестояния*. Точка эклиптики, в которой Солнце занимает самое высокое положение относительно экватора, называется *точкой летнего солнцестояния*, а самая низкая — *точкой зимнего солнцестояния*. В точке летнего солнцестояния Солнце бывает 22 июня, в точке зимнего солнцестояния — 22 декабря.

<sup>1</sup> URL: [starcatalog.ru](http://starcatalog.ru)

<sup>2</sup> URL: [vedic-astrology.ru](http://vedic-astrology.ru)



**Рис. 2.14.** Годовое движение Земли вокруг Солнца



**Рис. 2.15.** Эклиптика и видимое движение Солнца в разные времена года

Полный оборот  $360^\circ$  по эклиптике Солнце проходит за 1 год — 365 дней, следовательно, скорость его движения составляет примерно  $1^\circ$  в день. Движение Солнца по эклиптике происходит в направлении вращения небесной сферы, то есть с запада на восток. При этом Солнце последовательно проходит 12 созвездий, которые образуют пояс Зодиака (от греч. ζῳδιακός — зверь) и называются *зодиакальными*. Пояс Зодиака образуют следующие созвездия: Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог и Водолей (обозначения зодиакальных созвездий и планет Солнечной системы см. в приложении 1). В своем движении по эклиптике Солнце еще бывает в созвездии Змееносца, но оно не входит в число зодиакальных.



**Рис. 2.28.** Полное лунное затмение 28 сентября 2015 г.  
(фото Reto Arnold Baumann)

В отличие от солнечных затмений лунные затмения увидеть проще: во-первых, вся половина Земли, с которой Луна видна в момент затмения (то полушарие, где ночь), может наблюдать это явление; во-вторых, лунные затмения не представляют никакой сложности для зрительного восприятия, и для их наблюдения не требуются специальные фильтры; в-третьих, продолжительность лунных затмений гораздо больше, чем солнечных, — полная фаза лунного затмения может достигать 108 мин, если Луна проходит через центр земной тени.

### **Легенды о затмениях**

Солнечные и лунные затмения производили глубокое впечатление на древние народы, которые нередко считали, что они несут несчастья и беды. Солнце настолько важно для жизни, что вид внезапно исчезающего светила не мог не восприниматься как ужасающее событие. Так вокруг затмений с давних времен стали складываться мифы и легенды.

Одна из самых древних легенд родилась в Китае тысячи лет назад. Согласно представлениям китайцев, в исчезновении Солнца был виновен дракон, пожирающий светило. Чтобы напугать и прогнать дракона, они производили сильный шум: били в барабаны, стучали в кастрюли, а затем пускали в небо стрелы, чтобы его убить. Во время затмения 22 октября 2134 г. до н.э. два придворных

астронома, Хи и Хо, были казнены за то, что не предсказали это событие и не уведомили о нем императора. По легенде, император мог пережить его только в том случае, если успевал предупредить свой народ о надвигающемся затемнении неба. Эта традиция в определенном виде сохранилась до недавнего времени: императорский китайский военно-морской флот в периоды затмений стрелял в Солнце из церемониального оружия с символической целью прогнать невидимого дракона.

В Индии для защиты от дракона люди должны были войти по колено в реку. Согласно верованиям, это могло помочь Луне и Солнцу в битве с драконом.

В Японии больше боялись последствий, чем самого затмения: считалось, что во время затемнения неба на Землю проливаются пагубные яды. По этой причине в периоды затмений японцы накрывали колодцы.

Однако не везде эти явления ассоциировались с несчастьем: например, на Таити внезапная темнота воспринималась как результат любовной связи между Солнцем и Луной.

У эскимосов и сегодня принято считать, что во время затмения Солнце и Луна оставляют свои места, чтобы проверить, все ли в порядке на Земле.

### Вопросы и задания

1. Может ли лунное затмение быть кольцеобразным? Ответ обоснуйте.
2. Какие бывают виды солнечных и лунных затмений?
3. При каких условиях возникают затмения?
4. Какова длительность солнечных и лунных затмений?

### Задачи

1. 27 июля 2018 г. около полуночи состоялось полное лунное затмение, во время которого вблизи лунного диска на небе наблюдался яркий Марс. В какой конфигурации с Солнцем находился Марс?

2. На рис. 1 представлена схема движения Луны вокруг Земли, а на рис. 2 — изменение вида Луны для земного наблюдателя в течение лунного месяца. Используя данные рисунков, выберите из предложенного перечня *все* верные утверждения и укажите их номера.

1. Полнолунию соответствует положение 5 Луны (см. рис. 1).
2. По мере перемещения Луны из положения 5 в положение 6 земной наблюдатель видит рост освещенной части Луны.
3. Солнечное затмение можно наблюдать в новолуние, когда Луна полностью скрывает Солнце.
4. Новолунию соответствует положение 1 Луны (см. рис. 1).

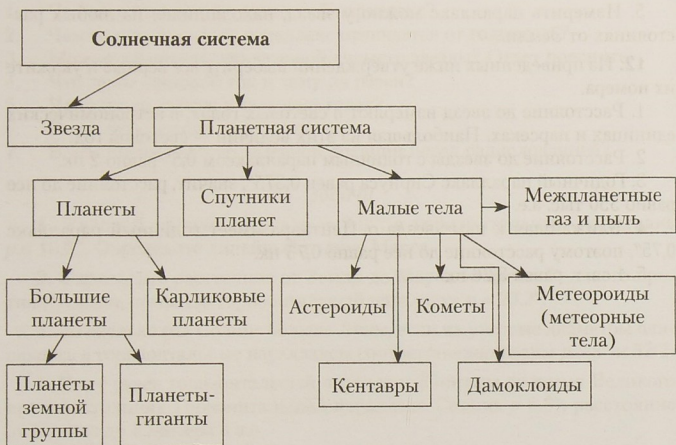
# Глава 4

## СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

### 4.1. СТРУКТУРА И МАСШТАБЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

**Солнечная система** — планетная система, включающая в себя центральную звезду — Солнце — и все космические объекты, вращающиеся вокруг Солнца.

Простейшая классификация космических объектов в Солнечной системе показана на рис. 4.1.



**Рис. 4.1.** Классификация космических объектов в Солнечной системе

Ниже приведены определения и рассмотрены краткие характеристики объектов Солнечной системы.

**Солнце** — звезда, представляющая собой, как и все звезды, массивный газовый шар, излучающий свет и удерживаемый в состоянии равновесия силами собственной гравитации и внутренним давлением, в недрах которого происходят реакции термоядерного синтеза. Солнце является желтым карликом и типичный представитель спектрального класса G (подробнее о звездах и спектральных классах звезд см. главу 6).

По современным представлениям, тела Солнечной системы сформировались около 4,6 млрд лет назад из первично холодной космической твердой и газообразной материи путем уплотнения и сгущения до образования Солнца и протопланет. По гипотезе академика Отто Юльевича Шмидта (40-е гг. XX в.), газово-пылевое облако, вращающееся вокруг Солнца, должно было принять сплошную форму в результате соударения частиц и слипания (*аккреции*). Основное отличие этой небулярной теории от теории Канта — Лапласа заключается в том, что зародыши планет, называемые **планетезималиями**, не могли образоваться под действием гравитационных сил. Строго математически это показал еще Джеймс Максвелл в XIX в. О.Ю. Шмидт вывел математическую аккреционную формулу, объясняющую процессы слипания и образования планетезималей. Частицы объединяются в сгущения. Притяжение более мелких частиц сгущениями должно было способствовать росту окружающего вещества. Орбиты сгущений должны были стать почти круговыми и лежащими в одной плоскости. Сгущения явились зародышами планет, вобрав в себя почти все вещество из промежутков между их орбитами. В центре образовался большой сгусток вещества, в котором началась термоядерная реакция. Из этого сгустка возникло Солнце. В процессе образования планет их деление на две группы обуславливается тем, что в далеких от Солнца частях облака температура была низкой и все вещества, кроме водорода и гелия, образовали твердые частицы. Среди них преобладал метан, аммиак и вода, определившие состав Урана и Нептуна. В составе самых массивных планет — Юпитера и Сатурна, кроме того, оказалось значительное количество газов. В области планет земной группы температура была значительно выше, и все летучие вещества (в том числе метан и аммиак) остались в газообразном состоянии и, следовательно, в состав планет не вошли. Планеты этой группы сформировались в основном из силикатов и металлов.

Таким образом, современная теория гораздо более правдоподобна и ближе к идеям П. Лапласа, чем к теории Дж. Джинса. Считается, что планеты сконденсировались из облака космического материала, связанного с молодым Солнцем, поэтому все они близки по возрасту.

Процесс образования Солнечной системы нельзя считать досконально изученным, а предложенные гипотезы — совершенными. Например, в современной гипотезе не учитывалось влияние электромагнитного взаимодействия при формировании планет. Выяснение этого и других вопросов — дело будущего.

### Вопросы и задания

1. Какие существуют теории происхождения Солнечной системы?
2. Какой приблизительно возраст Солнечной системы?
3. Что такое планетезималь?
4. Почему по современной теории происхождения Солнечной системы плотность планет-гигантов меньше плотности планет земной группы?

### 4.3. СИСТЕМА «ЗЕМЛЯ — ЛУНА»

Земля является третьей от Солнца планетой, самой крупной по размерам, массе и плотности среди планет земной группы. Ее уникальность среди планет Солнечной системы в том, что на Земле, которая находится в той области Солнечной системы, где не слишком жарко и не слишком холодно, существует биосфера, или жизнь. Астрономы называют такую область **зоной Златовласки**, или **обитаемой зоной** (зоной обитаемости). В ней вода может существовать в жидком виде, и именно в воде 3,5 млрд лет тому назад появились первые микроорганизмы. Вода является наиболее важным фактором поддержания жизни. Если бы Земля была расположена слишком близко к Солнцу (как Венера и Меркурий), то вся вода и океаны на планете испарились бы, а если бы слишком далеко, как Марс и другие далекие планеты, то вся жидкая вода на планете превратилась бы в лед. К счастью, Земля находится в такой зоне, где существует идеальный баланс.

Внутреннее строение Земли и ее внешняя оболочка — атмосфера также играют значительную роль в поддержании жизни на нашей планете. Как и все планеты, Земля имеет слоистое внутреннее строение. Она состоит из трех оболочек: металлического ядра, мантии и коры (рис. 4.5).

**Ядро** находится в центре Земли, его внутренняя часть твердая, на 80% состоящая из железа и на 20% — из никеля. Внешняя часть ядра находится в жидком состоянии и содержит железо и жидкую смесь железа и серы. Температура внутреннего ядра составляет 4500°C, а внешней его части — 3200°C. Именно такая разница температур должна существовать между ними, чтобы внутреннее ядро Земли оставалось твердым, а внешнее — жидким. В результате вращения жидкого внешнего ядра Земли, которое является хорошим проводником электрического тока, формируется геомагнитное поле (магнитосфера Земли). Ось геомагнитного поля не совпадает с географическими полюсами планеты. Геомагнитное поле защищает нашу планету от потока заряженных частиц солнечного происхождения (солнечного ветра). Благодаря геомагнитному полю Земля

которая следует из (5.9), вычисляют лучевую скорость  $v_r$  ( $z$  – относительное смещение длины волны).

**Пример 5.7.** Звезда удаляется от Солнечной системы со скоростью 20 км/с. Определить смещение в спектре звезды линии с длиной  $6 \cdot 10^{-4}$  мм. Куда будет смещена линия эта линия в спектре звезды? Ответ дать в нанометрах.

*Решение.* Из формулы (5.10) получаем  $\Delta\lambda = \frac{\lambda_0 v}{c} = \frac{6 \cdot 10^{-7} \cdot 20\,000}{3 \cdot 10^8} = 0,04$  нм. Смещение происходит к красному концу спектра.

Приведенная выше формула Доплера пригодна лишь для  $z \leq 0,1$ . При движении источников излучения со скоростями, близкими к скорости света, необходимо учитывать законы теории относительности (см. подробнее параграф 8.2).

### Вопросы и задания

1. Сформулируйте законы Вина и Стефана – Больцмана.
2. Почему закон смещения Вина редко используют для определения цветовых температур холодных ( $T < 3,5 \cdot 10^3$  К) и очень горячих ( $T > 10^4$  К) звезд?
3. Какой физической величине эквивалентна светимость?
4. Почему звезды с одинаковой поверхностной температурой могут иметь разные светимости?

### Задачи

1. Блеск (видимая звездная величина) звезды  $\alpha^1$  Козерога равен  $4,3^m$ , а параллакс  $0,0037''$ . Блеск звезды  $\alpha^2$  Козерога равен  $3,4^m$ , а параллакс –  $0,033''$ . Во сколько раз светимость одной звезды больше, чем светимость другой? Ответ округлите до целых.

2. Определите радиус звезды, если ее температура 4000 К, а светимость в 430 раз больше светимости Солнца ( $L_C = 4 \cdot 10^{26}$  Вт).

3. В спектре звезды линия, соответствующая линии  $5,5 \cdot 10^{-4}$  мм, смещена к фиолетовому концу спектра на расстояние  $5,5 \cdot 10^{-8}$  мм. Какова лучевая скорость звезды? Удаляется она от нас или приближается к нам?

4. В спектре звезды видна линия водорода, имеющая длину волны 656 нм. С какой лучевой скоростью движется звезда, если лабораторная длина волны равна 656,28 нм?

5. В спектре звезды синяя линия водорода с лабораторной длиной волны 486 нм смещена на  $4,5 \cdot 10^{-11}$  м к красному концу спектра. Определите направление и модуль скорости звезды.

6. Звезда в два раза больше и в два раза горячее Солнца. Во сколько раз ее светимость превышает солнечную?

7. Через несколько миллиардов лет Солнце расширится до орбиты Земли, а температура его поверхности уменьшится до 2600 К. Какой станет светимость Солнца по сравнению с нынешней?

## Глава 6 ЗВЕЗДЫ

### 6.1. АБСОЛЮТНАЯ ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА И СВЕТИМОСТЬ ЗВЕЗД

Звезды — это гигантские газовые плазменные шары, излучающие свет и тепло за счет энергии термоядерных реакций, протекающих в их недрах. Равновесие в звездах поддерживается за счет баланса сил гравитационного сжатия и сил внутреннего давления вещества излучения. Ближайшая к Земле звезда — Солнце. Остальные звезды находятся от нас настолько далеко, что даже при наблюдении в самый сильный телескоп кажутся светящимися точками. И хотя телескоп не может увеличивать видимые размеры звезд, он способен увеличивать их яркость и умножать число звезд, доступных зрению. Если невооруженным глазом при хорошей прозрачности атмосферы в безлунную ночь можно увидеть около 2000 звезд до шестой видимой звездной величины  $6^m$ , то в любительский телескоп видны звезды до  $11^m$ – $12^m$ , а это в 100 раз больше звезд. Благодаря увеличению углового расстояния в телескоп можно увидеть, что некоторые звезды являются двойными, тройными или еще более сложными там, где невооруженный глаз видит одну звезду. Но, не смотря на то, что звезды так далеко от нас, астрономы определяют их физико-химические характеристики: расстояния до звезд, их размеры, массу, плотность, температуру, химический состав. Эти вопросы будут обсуждаться ниже. Но сначала введем понятие абсолютной звездной величины и определим ее связь со светимостью.

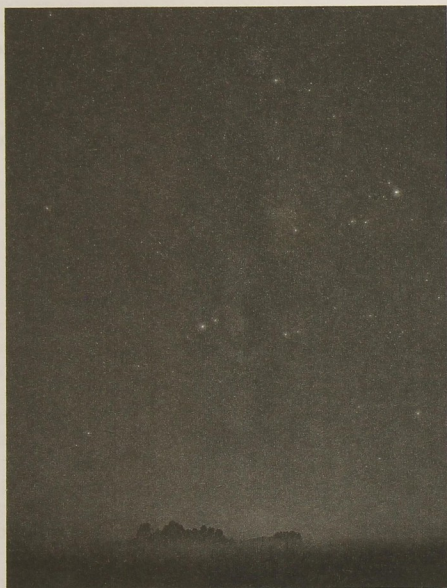
Видимая звездная величина оказалась удобной для определения блеска звезд, однако она не дает возможность сравнить истинный блеск небесных тел, поскольку не характеризует их реального излучения. В самом деле, видимая звездная величина определяется не только истинным излучением звезды, но и расстоянием до нее. Солнце — самое яркое светило на небе только потому, что находится гораздо ближе к Земле, чем любая из звезд. Следовательно, для сравнения естественного блеска звезд нужно определять такую их звездную величину, как если бы каждая звезда находилась от нас на определенном расстоянии, например 10 пк. Такая звездная величина называется абсолютной звездной величиной.

## Глава 7

# НАША ГАЛАКТИКА — МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ

### 7.1. СОСТАВ И СТРУКТУРА ГАЛАКТИКИ

Через всю небесную сферу тянется неяркая белесая полоса, в некоторых местах распадающаяся на рукава, отдельные части и завихрения. Этот светящийся белый поток (рис. 7.1) получил свое название в древнегреческих мифах — Млечный Путь. Еще его называют Тропой Богов, Небесной Дорогой или Белой Рекой.



**Рис. 7.1.** Млечный Путь (фото Александра Голышева)

Такой вид Млечного Пути есть следствие наблюдения его изнутри, поскольку наша Земля и вся Солнечная система — часть

этого огромного, сильно сплюснутого скопления звезд — нашей Галактики.

**Галактикой** (от др.-греч. γαλακτικός — молочный, млечный) называется система, состоящая из сотен миллиардов звезд и межзвездной среды, связанных между собой силами гравитационного притяжения. Все объекты, входящие в состав галактик, вращаются вокруг общего центра масс, где, как правило, находится гигантское ядро. Основные сведения о Галактике Млечный Путь приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Общие сведения о Галактике Млечный Путь**

Характеристики Галактики	Численные значения
Диаметр, кпк св. лет	30 100 000
Расстояние от центра Галактики до Солнца, кпк св. лет	8 24 000
Линейная скорость обращения вокруг ядра (на расстоянии от центра Галактики до Солнца), км/с	250
Период обращения (полный оборот Солнца и звезд в его окрестностях вокруг центра Галактики), млн лет	225–250
Масса (в массах Солнца)	$3 \cdot 10^{12}$
Возраст, млрд лет	15
Число звезд	$2 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{11}$

Наша Галактика и ее проекция на небесной сфере, как уже говорилось, называется Млечный Путь, и пишется с заглавной буквы в отличие от других галактик.

Об «островном» строении Вселенной высказывались догадки еще учеными Древнего мира. Древнегреческий философ Демокрит предполагал, что Млечный Путь — это множество неярких звезд, сливающихся в светящуюся полоску. Но, как часто бывает в истории науки, гениальная догадка Демокрита была забыта на века. Млечный Путь «переоткрывали» много раз: то считая его отражением солнечного света, то светящимся земным газом или неким скоплением звездных паров и пр. И только в 1610 г. Г. Галилей на основании телескопических наблюдений пришел к выводу, что Млечный Путь — это действительно множество звезд. Более чем через 100 лет немецкий философ И. Кант выдвинул гипотезу о том, что наша Галактика имеет форму, напоминающую диск.

## Глава 9

# ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О КОСМОЛОГИИ. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

### 9.1. КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ. ЗАКОН ХАББЛА

**Космология** — раздел астрономии, изучающий Вселенную в целом, ее происхождение, эволюцию, настоящее и будущее.

Путь к пониманию положения нашей планеты во Вселенной был очень непростым и подчас весьма драматичным. В древности считалось, что Земля является неподвижной, плоской и находится в центре мира (заметим, что и сейчас немало людей верят в плоскую Землю), покоится на гигантских «поддерживающих животных». У разных народов это — слон, черепаха, змея, кит и др.

Многие идеи и мысли, которые в дальнейшем отразились в современной астрономии, зародились в Древней Греции еще за несколько веков до нашей эры. Выдающийся древнегреческий математик Пифагор в VI в. до н.э. первым высказал мысль о том, что Земля и другие небесные тела имеют форму шара и находится во Вселенной без всякой опоры. Пифагорейцы предложили **пироцентрическую модель** Вселенной (от греч. пирос — огонь), в которой звезды, Солнце, Луна и планеты обращаются вокруг Центрального Огня — Гестии, при этом Солнце и Луна по этой модели светят отраженным светом Гестии. Это была первая математическая система мира.

Один из выдающихся математиков древности — Клавдий Птолемей во II в. н.э. разработал математическое описание видимого движения светил для **геоцентрической системы мира**.

В эпоху Возрождения, в 1543 г., была издана книга выдающегося польского ученого Николая Коперника, в которой он обосновал **гелиоцентрическую систему мира**.

Свое дальнейшее развитие космология получила в трудах Галилея, Кеплера и Ньютона. Галилей на основе телескопических наблюдений открыл новую космическую эру, обнаружив горы на Луне, спутники Юпитера, что Млечный Путь состоит из множества звезд. Сформулированные Кеплером законы движения небесных тел и обобщение их Ньютоном на основе закона всемирного тяготения окончательно сформировали механистическую картину мира, лежащую в основе **классической космологической модели**:

**вселенная вечна во времени, бесконечна в пространстве и стационарна.** Основным законом, управляющим движением и развитием небесных тел, является закон всемирного тяготения.

Но уже в конце XIX в. появились серьезные сомнения в классической космологической модели. И выразились они в трех так называемых космологических парадоксах — фотометрическом, гравитационном и термодинамическом.

**Фотометрический парадокс** можно сформулировать детским вопросом: «Почему ночью темно?». Ответ, казалось бы, лежит на поверхности: Солнце заходит за горизонт, наступает темная ночь. Но на небе появляются звезды, множество звезд, далеких солнц. По классической космологической модели равномерное распределение звезд во Вселенной означает (и это подтверждается расчетами), что яркость ночного неба должна быть примерно равна яркости Солнца.

В прошлом делались попытки объяснить парадокс тем, что свет звезд поглощается космической пылью. Однако объяснение неверно: пыль сама должна нагреваться и светиться так же ярко, как и звезды.

Но мы уже знаем, что Вселенная неоднородна, она имеет ячеисто-сотовую структуру. Согласно современным космологическим представлениям, возраст Вселенной около 13 млрд лет, и свет, доходящий до нас от самых отдаленных галактик, — это свет молодых звезд, поскольку он доходит до нас через много миллиардов лет от тех источников, которые, может быть, уже погасли.

**Гравитационный парадокс** заключается в том, что в бесконечной Вселенной с равномерно распределенным в ней веществом сила тяготения на одно тело со стороны всех тел Вселенной в соответствии с принципом суперпозиции должна быть бесконечно большой или неопределенной. Результат зависит от способа вычисления. Но, поскольку этого не происходит, был сделан вывод, что количество небесных тел во Вселенной ограничено, а сама Вселенная не бесконечна.

**Термодинамический парадокс** следует из второго закона термодинамики — принципа возрастания энтропии. Одна из формулировок этого закона гласит, что энтропия — мера беспорядка — в любой неравновесной термодинамической системе возрастает или в состоянии термодинамического равновесия остается постоянной. При этом различные виды энергии в конечном счете переходят в тепловую энергию, энтропия Вселенной увеличивается и достигает максимального постоянного значения после выравнивания температур ее отдельных частей. Получается, что рано

Конец ознакомительного фрагмента

Уважаемый читатель!

Размещение полного текста данного произведения невозможно в связи с ограничениями по IV части ГР РФ.

Эту книгу вы можете почитать в Оренбургской областной универсальной научной библиотеке им. Н. К. Крупской по адресу: г. Оренбург, ул. Советская, 20; тел. для справок: (3532) 32-32-49