

1

глава

Астрономия: её задачи и возможности



1

Чем занимается астрономия

2

Этапы развития астрономии

3

Космическая деятельность человечества

4

Пространственные масштабы изучаемой Вселенной

1

Чем занимается астрономия

Астрономия (от греч. «астро» — звезда и «номос» — закон) — это наука об окружающем Землю мире и о происходящих в нём явлениях. Зародившись в глубокой древности, она постепенно изменила восприятие мира, находящегося вне Земли, и доказала познаваемость мира и единство законов природы, действующих как на нашей планете, так и далеко за её пределами.

Как зарождалась астрономия

Астрономия зародилась в глубокой древности. И это не удивительно: люди во все века видели над собой небо, по которому перемещались Солнце, Луна и звёзды. Было несложно заметить, что от ночи к ночи звёздный узор не меняется, звёзды сохраняют своё положение на небесной сфере, которая как будто вращается вокруг Земли как единое целое, то поднимая светила над горизонтом, то опуская их под горизонт. Однако есть пять светил, заметных человеческому глазу, которые медленно перемещаются среди остальных, их назвали **планетами** (в переводе с древнегреческого — «странники»). Они получили имена богов: *Меркурий*, *Венера*, *Марс*, *Юпитер* и *Сатурн*.

Время от времени на небе мелькают метеоры, а также изредка появляются и медленно перемещаются на фоне звёздного неба, исчезая через несколько недель, хвостатые кометы.

Астрономических объектов, которые регулярно можно наблюдать на небе невооружённым глазом, не так много. К ним относятся *Солнце*, *Луна*, *пять ближайших планет*, несколько тысяч наиболее *ярких звёзд* и несколько *звёздных скоплений*. В ясные безлунные ночи можно также заметить светлую полосу *Млечного Пути* (рис. 1), пересекающую небо. Её образуют многие миллиарды неразличимых по отдельности звёзд нашей звёздной системы — **Галактики**. На пределе возможностей глаза люди с острым зрением в Северном полушарии могут видеть как едва заметное размытое пятнышко ещё один астрономический объект — *Туман*



Рис. 1. Млечный Путь

ность *Андромеды*, одну из ближайших к нам галактик. В Южном полушарии на тёмном небе хорошо заметны две соседние галактики — *Большое* и *Малое Магеллановы Облака*.

Какие законы управляют движением наблюдаемых небесных объектов и о чём их расположение на небе может нам говорить, интересовало людей всегда, и не только по причине присущей человеку любознательности, хотя и она играла свою роль. Уже многие века тому назад закономерности в движениях Солнца, Луны и планет тщательно изучались и сопоставлялись с земными событиями в попытках установить связь между ними. Из глубокой древности к нам пришли астрологические учения, связывающие события земного мира с положениями небесных тел в определённые моменты времени и претендующие на предвидение событий в жизни людей и государств. Научного обоснования астрология так и не получила, и в наше время её можно рассматривать лишь как разновидность гадания, а не как науку о природе. Но на заре развития астрономии это было далеко не очевидно, и астрономия с астрологией представляли единое целое. Желание понять и расшифровать «знаки небес» стимулировало пристальное изучение движения небесных тел.

Сохранились остатки древних обсерваторий, возраст которых насчитывает тысячелетия, например обсерватория *Стоунхендж* в Великобритании, состоящая из гигантских каменных блоков, расположенных по кругу и ориентированных определённым образом по странам света (рис. 2).



Рис. 2. Стоунхендж, графство Уилтшир, Великобритания

В России самым известным местом, где сохранились элементы древней обсерватории, является *Аркаим* в Челябинской области.

➔ Сайт заповедника «Аркаим» — <http://www.arkaim-center.ru>.



Влияние астрономии на развитие цивилизации

Ответы на вопрос о том, что представляют собой небо и наблюдаемые на нём светила, долгое время предлагались лишь на уровне мифов и религиозных верований. Небо рассматривалось как некий купол или сфера, окружающая Землю, как царство богов (или Бога), недоступное для человеческого понимания. Отсутствие базовых научных знаний не позволяло серьёзно ставить вопросы о природе небесных тел и явлений, хотя такие попытки всё же делались.

Так, ещё в V в. до н. э. древнегреческий философ и математик *Анаксагор* (рис. 3) был судим за богохульство и едва избежал смертной казни, заменённой на изгнание, только за то, что отважился утверждать, что Солнце —

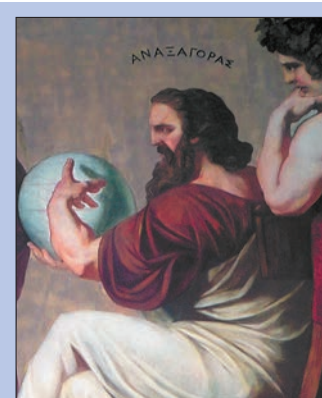


Рис. 3. Анаксагор
(ок. 500 до н. э. —
428 до н. э.)

это не бог, а раскалённый камень гигантского размера, крутящийся над Землёй. Он же первым пытался из наблюдений оценить расстояние до Солнца и нашёл, что оно очень велико, в 20 раз больше, чем расстояние до Луны, хотя недооценил его примерно в 20 раз.

А в III в. до н. э. древнегреческий астроном и математик *Эратосфен* (рис. 4), работавший в Александрии (Египет), довольно точно определил радиус земного шара, используя остроумный метод измерения максимальной высоты Солнца над горизонтом по наблюдениям в двух пунктах, находящихся на разной географической широте.

Удивительно, что, не обладая никакими измерительными инструментами, только путём рассуждений, древнегреческие мыслители дошли до понимания того, что Земля — это шар, висящий в пустоте без точек опоры. Более того, в античную эпоху древнегреческий астроном *Аристарх Самосский* (рис. 5) пришёл к выводу, что Земля не стоит неподвижно, а обращается вокруг Солнца.

Однако это утверждение оставалось бездоказательным и было забыто почти на две тысячи лет, пока его не возродил в XVI в. польский астроном *Николай Коперник* (рис. 6) в качестве гипотезы (см. гл. 3).

Сторонников этой точки зрения долгое время было очень немного, а окончательно движение Земли вокруг Солнца удалось доказать лишь в XIX в.

Практическое использование наблюдений за небом сыграло колоссальную роль в развитии цивилизации. По положению звёзд над горизонтом люди научились ориентироваться в дальних морских походах, а позднее — определять точные **географические координаты** места. Астрономические наблюдения позволили измерять различные интервалы времени:

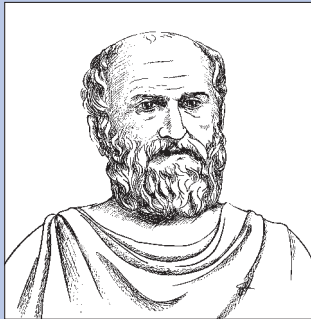


Рис. 4. Эратосфен
Киренский
(276 до н. э. —
194 до н. э.)



Рис. 5. Аристарх
Самосский
(III в. до н. э.)



Рис. 6. Ян Матейко. Коперник. Беседа с Богом. 1873 г.

по смене дня и ночи — интервалы, выраженные в сутках, а по фазам Луны — интервалы в месяцах.

Изменение вида звёздного неба в различное время года научило отсчитывать годы, то есть вести **летосчисление**, а также определять время наступления того или иного сезона, независимо от капризов погоды, что было очень важно для сельскохозяйственных работ. По астрономическим наблюдениям была определена точная продолжительность года и разработаны системы непрерывного счёта больших промежутков времени.

Появились календарные системы, необходимые для экономической жизни любого государства. В I в. до н. э. был создан юлианский календарь, по которому год содержит 365 или 366 сут. А в XVI в. был предложен ещё более точный григорианский календарь, немного отличающийся от юлианского правилом чередования простых и високосных лет. Сегодня по нему живёт большинство стран мира.

Астрономия меняла восприятие мира, находящегося вне Земли, и в этом проявилось её **мировоззренческое значение**. Вместо представлений о небе как об окружающей Землю твёрдой вращающейся сфере с прикрепленными к ней звёздами постепенно появилась картина без-

граничной Вселенной с различными объектами, находящимися на разных расстояниях от планеты Земля.

Астрономия разрушила примитивные представления о том, что Земля — это центр мира. Новые взгляды долгое время встречали активное неприятие. Философ *Джордано Бруно* (рис. 7), неутомимый пропагандист коперниканской системы, в которую в то время мало кто верил (конец XVI в.), по-видимому, первым начал распространять убеждение в том, что звёзды на небе — это далёкие солнца в безграничной Вселенной, где существует бесконечное количество миров, подобных Земле. Но эти идеи в то время не могли иметь доказательства и шли вразрез с принятыми религиозными догмами.

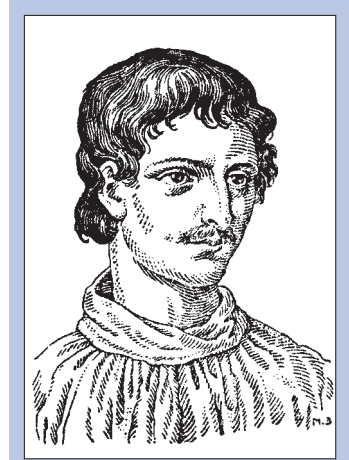


Рис. 7. Джордано Бруно (1548—1600)

Джордано Бруно — итальянский философ и поэт, в 1592 г. арестован по обвинению в ереси и свободомыслии. В 1600 г. был осуждён инквизицией на смертную казнь и сожжён на костре в Риме за попытку создать собственное религиозно-философское учение в противовес христианству.

Цели и задачи современной астрономии

С развитием физики и математики изменились и цели астрономии. Сейчас **астрономия** — это прежде всего **фундаментальная наука**, то есть наука, ориентированная на получение новых, более глубоких знаний о мире, окружающем Землю. Её **основные цели** — построить научную картину мира, понять физическую природу астрономических объектов, их происхождение и эволюцию, а также эволюцию Вселенной как целого.

Астрономическими методами решается и задача поиска жизни во Вселенной, имеющая фундаментальную важность для понимания происхождения человека и для будущего развития цивилизации. Но пока с большой уверенностью можно лишь заключить, что возникновение разумной, цивилизованной жизни является очень редким природным явлением во Вселенной.

Изменились и **прикладные задачи** астрономии. Совершенствование календарной системы, определение географических координат по звёздам или точного времени уже не входят в задачи современной астрономии.

Знания, полученные астрономическими методами, используются для других целей, например для развития космонавтики. Благодаря астрономическим знаниям открылась возможность космической деятельности человека, освоения околоземного пространства и полётов к другим планетам.

Мы не изолированы от мира, окружающего нашу планету. Земля возникла вместе с Солнцем и другими телами Солнечной системы миллиарды лет назад, но продолжает испытывать внешние воздействия из космоса. Прежде всего это влияние Солнца, от которого Земля получает тепло и свет. Потoki горячего газа, быстрых элементарных частиц и рентгеновских лучей, приходящих от Солнца, влияют на магнитное поле Земли и внешние слои атмосферы, усиление этих потоков ощутимо сказывается на многих процессах в атмосфере и на поверхности Земли, и его необходимо уметь прогнозировать.

Другое воздействие на Землю заключается в том, что в атмосферу и на поверхность Земли каждые сутки выпадают десятки тонн мелкого межпланетного метеоритного вещества. Изредка падают более крупные тела. В истории Земли неоднократно происходили катастрофические события глобального масштаба, связанные с падением на Землю твёрдых ядер комет и астероидов. Такая опасность с некоторой вероятностью существует и в настоящее время, и люди обращают на неё всё более серьёзное внимание. Даже глобальные изменения климата, животного и растительного мира, неоднократно происходившие за долгую историю нашей планеты, могли иметь, как предполагают, космические причины, связанные с падением больших космических глыб. Следовательно, астрономия даёт возможность лучше понять не только далёкие объекты, но и нашу Землю.

Но самое главное — **астрономия демонстрирует принципиальную возможность познания окружающего мира**. Она доказывает *единство законов природы*, действующих как на Земле, так и вдали от неё. Оказалось, что атомы на Земле и на далёких звёздах устроены одинаково, а гравитационные, электрические и магнитные поля обладают теми же свойствами, где бы их проявление ни обнаруживалось. Современная астрономия вместе с физикой изучает законы поведения вещества, находящегося в различных условиях (даже таких, которые невозможно создать в земных лабораториях), и открывает возможности использования полученных знаний.

В процессе астрономических и космических исследований обнаруживаются новые, ранее неизвестные факты и явления, требующие объяснения, а то и вовсе не укладывающиеся в рамки существующих представлений. Это нормальная ситуация для любой области знаний. Поэтому астрономия, подобно другим наукам, находится в постоянном развитии.

2

Этапы развития астрономии

Астрономия — наука, базирующаяся на наблюдениях, и её развитие связано с совершенствованием техники наблюдений и возможностей их интерпретации. По используемой технике наблюдений и их результативности в истории астрономии выделяют **четыре этапа**.

Первый этап: глазомерные наблюдения

Самый продолжительный этап в истории астрономии длился с древности до XVII в. В этот период наблюдения проводились с помощью довольно простых *угломерных инструментов*. Они использовались для измерения положения небесных тел и для изучения видимых движений звёзд и планет на фоне звёздного неба. Это непростая задача, особенно если учесть, что эти движения медленны, имеют сложный характер и происходят с переменной скоростью.

Астрономические наблюдения в древности преследовали в основном практические цели. Разобраться в характере движения небесных тел было важно и для выработки системы счёта времени, и для того, чтобы попытаться выяснить, о чём сообщает положение Солнца, Луны и планет человеку и что человек может узнать о тайнах неба.

Самым выдающимся учёным античного мира считается древнегреческий астроном и математик *Гиппарх Никейский* (рис. 8). На основе астрономических наблюдений он определил продолжительность года с ошибкой всего в 6 мин, а также создал первые дошедшие до нас математические теории движения Солнца и Луны, позволявшие довольно точно описывать их неравномерное движение по небу. Большую часть жизни он провёл на острове Родос (Греция).

Он же первым правильно определил расстояние до Луны, выраженное в единицах радиуса Земли. Предполагается также, что для удобства астрономических вычислений Гиппарх впервые составил *таблицу хорд* — ана-



Рис. 8. Гиппарх Никейский (рубеж I и II вв. до н. э.)

лог современной *таблицы синусов*. Особую ценность представляет созданный Гиппархом **звёздный каталог**, содержащий описание положений на небе (**координат**) около 800 звёзд. Он же визуально оценил их видимые яркости, приписав каждой звезде определённую **звёздную величину** — от первой величины для ярких звёзд до шестой для самых тусклых.

Какие цели преследовал Гиппарх при создании звёздного каталога? Они были далеки от повседневных нужд. Он усомнился в том, что, как было принято считать, мир звёзд не подвержен никаким изменениям, а звёзды жёстко закреплены на вращающейся небесной сфере. Как писал о Гиппархе римский историк Плиний Старший, «он определил места и яркость многих звёзд, чтобы можно было разобрать, не исчезают ли они, не появляются ли вновь, не движутся ли они, меняются ли в яркости. Он оставил потомкам небо в наследство, если найдётся тот, кто примет это наследство». И действительно, сравнение положений звёзд при Гиппархе и более восемнадцати столетий спустя, в XVIII в., позволило убедиться в существовании относительных перемещений звёзд, связанных с движением звёзд и Солнца в пространстве.

На основании работ Гиппарха и других астрономов была разработана математическая модель движения планет, которые, как считалось, обращаются вокруг неподвижной шарообразной Земли. Она создавалась на протяжении многих веков: Пифагор (VI в. до н. э.) впервые предположил, что Земля имеет форму шара, Аристотель (IV в. до н. э.) представлял мир как систему концентрических сфер вокруг неподвижной Земли, *Клавдий Птолемей* (рис. 9) во II в. н. э. завершил создание геоцентрической системы мира. Эти представления о Земле как о центре мира господствовали полтора тысячелетия.

Клавдий Птолемей — античный математик, астроном, географ, жил и работал в Александрии Египетской.



Рис. 9. Клавдий Птолемей (II в. н. э.)

Только в эпоху позднего Средневековья было показано, что наблюдения за движением планет и Солнца также хорошо согласуются и с другой, более логичной **гелиоцентрической моделью** Николая Коперника, в которой Земля и планеты обращаются вокруг Солнца. Позже результаты астрономических наблюдений были использованы Исааком Ньютоном для формулировки и количественной проверки *закона всемирного тяготения* — фундаментального закона физики, который определяет характер движения астрономических тел в космическом пространстве. На основе этого закона получили физическое объяснение как обращение Земли и других планет вокруг Солнца, так и видимые перемещения планет по небу. *Это важнейшее достижение астрономии, базирующееся на до-телескопических наблюдениях.*

Второй этап: начало телескопических наблюдений

Этот этап развития астрономии начался с появлением **телескопических методов исследований**.

Галилео Галилей (рис. 10) — итальянский физик, математик, астроном, изготовил зрительную трубу (ему иногда ошибочно приписывают авторство этого изобретения) и применил её для астрономических наблюдений, на основе которых сделал вывод о существовании гор на Луне, пятен на Солнце, спутников Юпитера и фаз Венеры. Считается, что Галилей первым использовал оптический инструмент для наблюдений небесных объектов, но весьма вероятно, что примерно в то же время были и другие наблюдатели. Однако именно Галилей оставил дневники телескопических наблюдений с подробными описаниями и зарисовками.

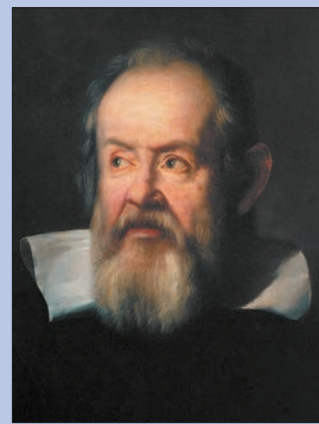


Рис. 10. Галилео Галилей (1564—1642)

Изобретение **телескопа** сделало доступным для наблюдений гигантское количество далёких звёзд, которые невозможно увидеть невооружённым глазом, а также многократно повысило точность угломерных измерений. Последнее обстоятельство позволило впервые определить расстояния до Солнца, измерить размеры орбит планет и, наконец, уже в XIX в. оценить расстояния до ближайших звёзд, которые оказались невообразимо большими. Стал очевидным гигантский размер наблюдаемой с Земли Вселенной.

Теоретической основой астрономии стала **механика Ньютона**, позволившая объяснить видимое движение Солнца, Луны и звёзд.

Исаак Ньютон (рис. 11) — английский физик, механик, математик и астроном, один из создателей классической физики. Ньютон сконструировал телескоп-рефлектор, используя для построения изображения наблюдаемых объектов вместо линзы вогнутое сферическое зеркало. Этот инструмент давал существенно более качественное изображение, чем линзовый телескоп-рефрактор. За это изобретение в 1672 г. он был избран членом Королевского общества (выступает в качестве национальной академии наук Великобритании).

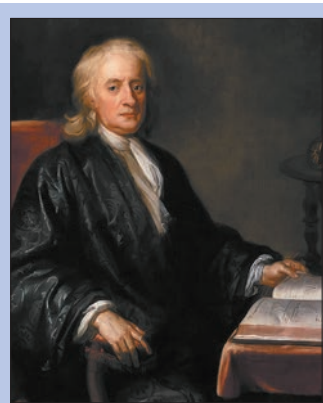


Рис. 11. Исаак Ньютон (1642—1727)

Третий этап: спектральный анализ, фотография и фотометрия

Качественный скачок в развитии астрономии произошёл в конце XIX в.: появилась астрономическая **фотография**, позволившая точно и объективно измерять видимые яркости звёзд; эти измерения называют фотометрическими. А с помощью **спектрографа**, присоединённого к телескопу, начались **спектральные наблюдения** космических источников света — звёзд и облаков межзвёздного газа, позволившие дистанционно исследовать физические свойства излучающих сред: измерять их температуру, химический состав и скорость движения. В астрономии возникло новое направление — **астрофизика**.

В XX в. визуальные телескопические наблюдения (то есть измерения при разглядывании объекта глазом через телескоп) уступили место наблюдениям с использованием различных **приёмников (детекторов)** излучения, объективно регистрирующих приходящие потоки света. Сначала это были **фотопластинки**, то есть стеклянные пластинки, покрытые слоем эмульсии, чернеющей при попадании на неё света. На них возникает негативное изображение, которое долго хранится и которое можно детально измерять. Затем были созданы основанные на фотоэффекте вакуумные **фотоэлектрические** и **полупроводниковые приёмники** света высокой чувствительности, используемые и в настоящее время. С их помощью были измерены скорости звёзд и галактик, открыто ускорение расширения Вселенной, а использование новых физических теорий позволило понять, из чего состоят и как устроены Солнце и звёзды, как они сформировались и какие изменения происходят с ними со временем.

Четвёртый этап: астрономия становится космической и всеволновой

Современный этап развития астрономии, начавшийся в середине XX в., связан с появившимися новыми техническими возможностями наблюдений, с компьютеризацией наблюдений и их анализа, с началом космических исследований Солнечной системы, а также с открывшимися возможностями **регистрации** недоступных ранее видов **электромагнитного излучения**, которые не воспринимаются глазом или оптическими детекторами. Сначала были созданы **радиотелескопы**, которые улавливают космическое радиоизлучение, приходящее к нам от различных астрономических объектов. Следующим прорывом в неизвестное стали наблюдения в тех диапазонах электромагнитных волн, которые не пропускает атмосфера Земли: это *длинноволновое инфракрасное, коротковолновое ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение*. Наблюдать эти типы излучения оказалось возможным только тогда, когда в распоряжении учёных появилась космическая техника, позволяющая выносить астрономические приборы за пределы плотных слоёв атмосферы. Астрономия, таким образом, стала **всеговолновой** наукой.

Видимый свет и радиоволны, инфракрасный и ультрафиолетовый свет, рентгеновское и гамма-излучение — все они имеют одну природу: это электромагнитные колебания с различными длинами волн, которые распространяются в космической пустоте с одинаковой скоростью. Каждое из них характеризуется своим **диапазоном длин волн**, поэтому принято говорить о различных диапазонах электромагнитного спектра. Самое коротковолновое излучение называется *гамма-излучением*. Затем идут диапазоны *рентгеновского, ультрафиолетового, оптического, ближнего инфракрасного, далёкого инфракрасного излучения и диапазон радиоволн*. Оптическое излучение, к которому чувствителен глаз человека или обычные приёмники видимого света, имеет длину волны от 0,4 до 0,8 мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$), а рентгеновское излучение — менее сотой доли микрометра. Сквозь атмосферу Земли с небольшим поглощением проходит только оптический свет и радиоволны (за исключением очень длинных волн).

Перспективы развития астрономии

На современном этапе развития астрономии начались полёты в космос и исследование Солнечной системы *космическими зондами*. Изме-

нилась и наземная астрономия: были созданы крупные зеркальные телескопы нового поколения, представляющие собой сложнейшие оптико-механические системы, управляемые с помощью *информационных технологий*, появилась возможность использовать компьютеры для обработки результатов наблюдений и извлечения из них новой информации о космических объектах. Границы наблюдаемой Вселенной раздвинулись до расстояний более 10 млрд световых лет, и стало очевидным, что эволюционируют не только отдельные объекты Вселенной, но и весь окружающий мир медленно меняется со временем. Космическое пространство предстало перед исследователями как гигантская природная лаборатория, где происходят сложные физические процессы и где наблюдаемое вещество подчас обладает свойствами, которые нельзя получить в земных условиях. Всё это привело к бурному росту объёма научной информации о различных объектах Вселенной, который мы наблюдаем в настоящее время.

В обозримом будущем можно ожидать быстрого развития наблюдений очень трудно уловимых носителей информации неэлектромагнитной природы, а именно **потоков нейтрино и гравитационных волн**.

Развитие космических исследований в будущем приведёт к тому, что сфера непосредственной деятельности человека расширится до размеров Солнечной системы.

Современная астрономия тесно связана со многими науками: математикой, химией, историей, геологией, но прежде всего — с физикой. Астрономические наблюдения интерпретируются на основе известных физических законов. В свою очередь, все фундаментальные физические теории проходят проверку астрономическими методами.

3

Космическая деятельность человечества

Тысячи лет астрономы изучали Вселенную с поверхности Земли, со дна её воздушного океана, который не только защищает нас от губительного воздействия космоса, но и сильно ограничивает возможности астрономических исследований. Преодолеть эти препятствия удалось лишь в середине XX столетия, когда человек вышел в околоземное космическое пространство и началось развитие космонавтики.

Вверх, к границам атмосферы

Не только далёкие планеты и звёзды, но и сама воздушная оболочка Земли долгое время оставалась во многом загадочной. В конце XVIII в. был изобретён *аэростат* — воздушный шар, наполняемый лёгкими газами (водородом, а позже гелием) или просто горячим воздухом. С его помощью уже в XIX в. учёные с научными приборами поднимались на километры, а в первой половине XX в. — на десятки километров от поверхности Земли, в *стратосферу* (рис. 12). Это позволило многое узнать не только о воздушной оболочке Земли, но и о некоторых видах **космического излучения** (*инфракрасном, ультрафиолетовом*), не способных пройти к поверхности планеты сквозь плотные нижние слои её атмосферы. Были обнаружены и *быстрые частицы* — *протоны, электроны, ядра гелия* — так называемые **космические лучи**, летящие от Солнца и из глубин Галактики. И хотя 99 % воздуха лежит ниже высоты 40 км, до которой обычно поднимаются аэростаты с приборами и «подпрыгивают» на короткое время некоторые самолёты, даже оставшийся 1 % ат-



Рис. 12. Слева: многоразовый высотный стратостат, то есть аэростат, предназначенный для подъёма научной аппаратуры в стратосферу, на высоту более 11 км. Справа: стратостат в полёте

мосферы не пропускает из космоса некоторые виды электромагнитного излучения — жёсткое ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение. И по-прежнему бесконечно далёкими остаются другие небесные тела.

На ракете — в космос

Окончательно покинуть пределы земной атмосферы и устремиться к иным небесным телам люди смогли только с помощью **ракет**. Для полёта самолётов и аэростатов нужна атмосфера, а для ракеты атмосфера — помеха. Реактивный снаряд движется под давлением горячего газа в ракетном двигателе, выбрасывая назад мощную струю этого газа. По закону сохранения импульса, сообщив газу импульс в одном направлении, сама ракета приобретает такой же по модулю импульс, но в противоположном направлении. Можно сказать, что ракета отталкивается от выброшенных ею горячих газов. Таким образом, всё необходимое для полёта находится внутри ракеты. Она способна передвигаться в любой среде, но лучше всего — в пустоте. Поэтому именно ракеты первыми покинули земную атмосферу, преодолели земное притяжение и позволили отправить в космос исследователей и научные приборы.



Рис. 13. «Фау-2»

«Фау-2» (рис. 13) — первая ракета, преодолевшая в 1944 г. границу атмосферы. Была создана в Германии под руководством инженера Вернера фон Брауна и использовалась во Второй мировой войне.

- **Формальной границей** между атмосферой и космическим пространством обычно считается высота **около 100 км**, хотя газовая оболочка Земли простирается на тысячи километров от поверхности планеты.

Выше этой границы впервые подняли приборы на ракетах в конце 1940-х гг. Это были маломощные *беспилотные ракеты вертикального полёта*, способные лишь «подпрыгнуть» на несколько сотен километров и через 5—10 мин упасть обратно. С их помощью были изучены свойства верхней атмосферы, реакция животных на условия невесомости и космической радиации, а также проведены первые астрономические наблюдения в рентгеновских и ультрафиолетовых лучах.

На высоте 20 км плотность воздуха примерно в 10 раз ниже, чем у поверхности Земли, а на высоте 100 км она ниже уже почти в миллион раз. На высоте 100 км проходит так называемая **линия Кáрмана**, выше которой не может подняться аэростат и не может лететь самолёт, опираясь на крыло. Крылья у летательных аппаратов там бесполезны. А космические аппараты не могут опуститься ниже 120 км без риска быстро затормозиться и упасть на землю. Небо на такой высоте выглядит угольно-чёрным, и на нём одновременно можно видеть Солнце, Луну и звёзды.

Для длительного пребывания в космосе необходимо либо улететь от Земли очень далеко, либо двигаться по орбите, облетая вокруг Земли. Для движения по низкой околоземной орбите требуется **первая космическая скорость** (7,9 км/с), а для того, чтобы существенно удалиться от Земли, — **вторая космическая скорость** (11,2 км/с). Поэтому первые космические полёты были **орбитальными**.

Ракету, способную подняться выше границы атмосферы и разогнаться до первой космической скорости, впервые создали в СССР инженеры под руководством *Сергея Павловича Королёва* (рис. 14).

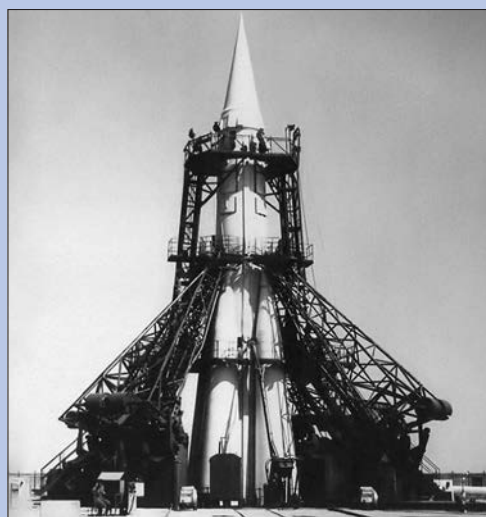


Рис. 14. Р-7 («Спутник») — ракета конструкции С. П. Королёва, 1957 г.

■ Ракета конструкции С. П. Королёва **4 октября 1957 г.** вывела на орбиту первый в истории **искусственный спутник Земли** (рис. 15). Началась **космическая эра**.

➔ Познакомьтесь с биографией основоположника практической космонавтики С. П. Королёва на сайте https://ru.wikipedia.org/wiki/Королёв,_Сергей_Павлович или в электронной энциклопедии «Кругосвет» (<http://www.krugosvet.ru>).

Сегодня трудно представить нашу жизнь без **спутников**. Они обеспечивают в любой точке Земли телевизионное и радиовещание, компьютерную и телефонную связь,



работу навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС и др.); постоянно измеряют параметры атмосферы, позволяя делать надёжный прогноз погоды; передают детальные снимки земной поверхности, которые требуются многим гражданским и военным организациям. Приборы на спутниках позволяют контролировать и даже прогнозировать «космическую погоду», то есть уровень радиации в околоземном пространстве, возмуще-



Рис. 15. Первый искусственный спутник Земли



Рис. 16. Орбитальная станция «Мир» (СССР/Россия) над Землёй. Фото получено с борта космического корабля Space Shuttle (NASA) в 1998 г.

ния магнитного поля Земли, вспышки в атмосфере Солнца, потоки плазмы, летящие от Солнца в сторону нашей планеты. Эти данные важны как для нас, живущих на поверхности Земли, так и для людей, работающих в космосе (рис. 16).

Собственные средства запуска космических аппаратов и космические проекты есть уже у многих стран. Каждый год производится несколько десятков запусков беспилотных аппаратов, а также космических кораблей с космонавтами. Наибольшее количество запусков приходится на США, Россию, страны Западной Европы и Китай.

Человек в космическом пространстве

■ Полёт **первого человека в космос** — советского лётчика *Юрия Алексеевича Гагарина* (рис. 17) — состоялся **12 апреля 1961 г.**

Гагарин первым увидел нашу планету со стороны, совершил один виток вокруг Земли и благополучно приземлился. Полёт Гагарина продемонстрировал возможность жить и управлять сложной техникой в условиях невесомости.

За прошедшие более чем полвека в космосе побывали сотни исследователей из разных стран, что позволило изучить влияние космических условий на организм человека. Наиболее враждебные из них — **невесомость** и **радиация**; они не позволяют человеку находиться более года даже на околоземной орбите. Отрицательное влияние невесомости, ослабляющее организм, космонавты научились частично преодолевать с помощью интенсивных физических тренировок на космическом корабле. Но надёжную защиту от радиации космический корабль не обеспечивает. Поэтому космонавты вынуждены работать на очень **низких орбитах** (350—450 км), где магнитное поле Земли и разреженные слои атмосферы ослабляют потоки быстрых космических частиц (рис. 18, 19).

Полёты в **дальний космос** ещё опаснее, поскольку там человек вообще не защищён от радиации. До сих пор люди не удалялись от Земли более чем на 400 тыс. км и находились на таком расстоянии всего лишь несколько суток. Это было в период экспедиций американских астронавтов к Луне — с 1968 по 1972 г. (рис. 20).



Рис. 17. Ю. А. Гагарин (1934—1968)

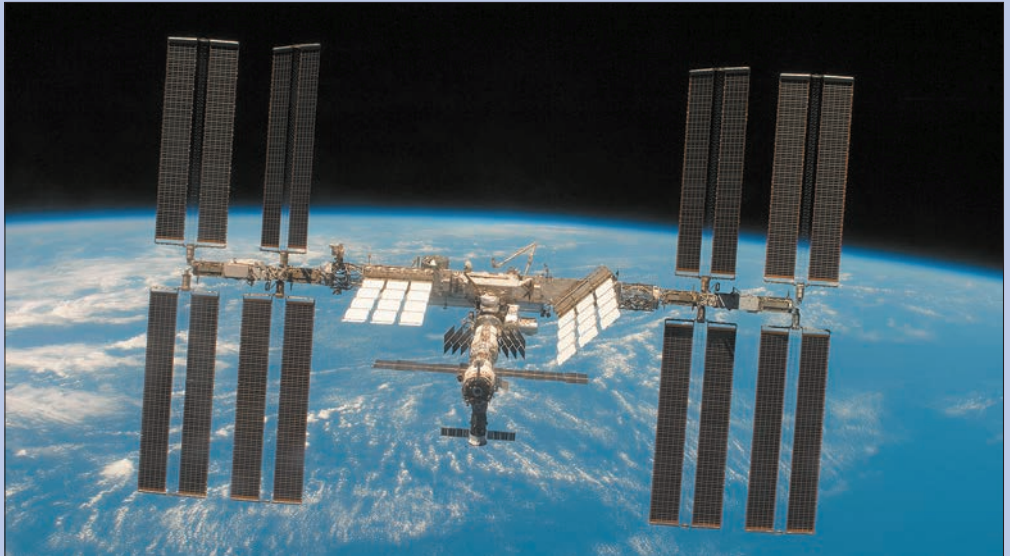


Рис. 18. Международная космическая станция над Землёй. Фото получено с борта космического корабля Space Shuttle *Discovery* (NASA) в 2011 г.

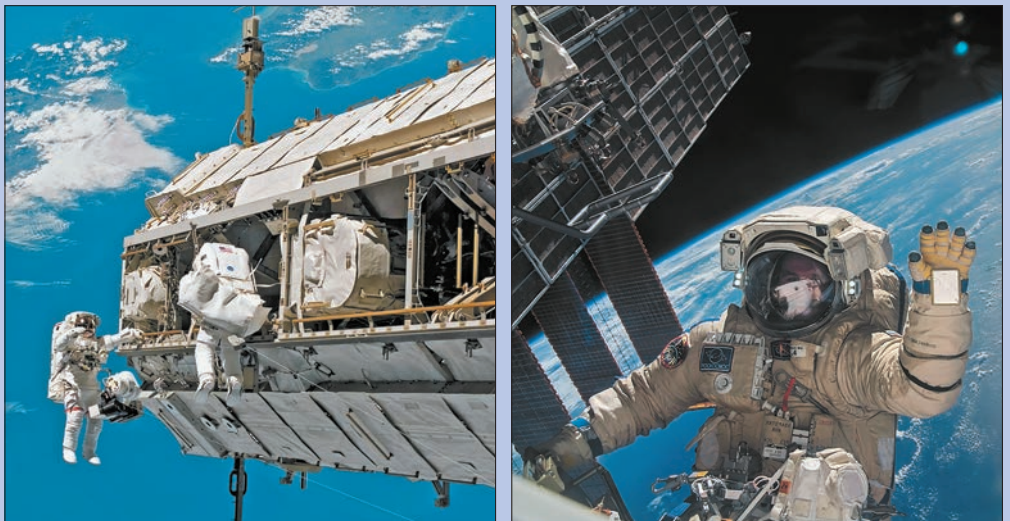


Рис. 19. Работа космонавтов на внешней поверхности Международной космической станции

Экипаж экспедиции «Аполлон-17» (NASA, 1972 г.) использовал электромобиль для передвижения по Луне.

Для более далёких экспедиций требуется создать либо средства защиты от радиации, либо более быстрые космические корабли, позволяющие преодолевать межпланетные расстояния за короткое время. А лучше — и то и другое. В планах **пилотируемой космонавтики** — создание лабораторий на окололунной орбите и на поверхности Луны, полёты к астероидам и к Марсу.

Но необходимая для этого техника ещё не создана.

Суровые условия космоса опасны не только для человека, но и для искусственных спутников Земли и межпланетных зондов. Требуются особые материалы и электронные приборы, устойчивые к радиации и большим перепадам температуры. Их разработка и изготовление стоят дорого, поэтому космонавтика требует больших финансовых вложений. Но эти затраты стократ окупаются удобствами спутниковой связи и навигации, а также новыми знаниями о Вселенной, добыть которые без полётов в космос было бы невозможно.



Рис. 20. Астронавт на Луне

Роль космических исследований в астрономии

Ко всем важнейшим телам Солнечной системы — планетам и их спутникам, астероидам и кометам — отправлялись **автоматические зонды**. Некоторые из них уже работали на поверхности *Луны*, *Венеры*, *Марса*, *Титана* (спутник *Сатурна*), небольшого *астероида Эрос*, а также на поверхности твёрдого ядра *кометы Чурюмова — Герасименко*.

➔ Найдите информацию об исследовании кометы Чурюмова — Герасименко на сайте https://ru.wikipedia.org/wiki/67P/Чурюмова_—_Герасименко.

Космические зонды проникли в атмосферу Юпитера и Сатурна, доставили на Землю образцы вещества с поверхности Луны, одного из астероидов и одной кометы.



Таким образом, благодаря космонавтике наши знания о Солнечной системе за последние полвека колоссально возросли. То, что раньше представлялось астрономам с Земли как диски с нечёткими деталями при наблюдении планет, как туманные пятнышки комет и тусклые звёздочки астероидов, сейчас изучается на месте прямыми физико-химическими методами. Карты Луны и Марса стали такими же детальными, как карты Земли. А обратную сторону Луны мы бы вообще никогда не увидели, не будь космических зондов. Без преувеличения можно сказать, что с рождением космонавтики началась вторая эпоха Великих географических открытий, на этот раз — в масштабах всей Солнечной системы.

Вторая важная заслуга освоения космоса с точки зрения науки состоит в том, что у астрономов появилась возможность размещать за пределами атмосферы **космические телескопы**. Это позволило изучать Вселенную в тех диапазонах электромагнитного спектра, для которых наша атмосфера непрозрачна, то есть в *инфракрасном, ультрафиолетовом, рентгеновском и гамма-диапазоне*, а также в *диапазоне очень длинных радиоволн*.



Найдите информацию о космическом телескопе «Хаббл» (Hubble Space Telescope NASA) — самом эффективном оптическом телескопе на орбите — на сайте <https://www.nasa.gov>.



Большинство космических телескопов работают на околоземных орбитах, но некоторые — в далёком космосе. Например, специализированные **космические аппараты** могут изучать невидимое в данный момент с Земли полушарие Солнца и заранее предупреждать нас о бурных процессах, которые там происходят.

Помимо данных о нашей планетной системе, с помощью этих космических обсерваторий астрономы получают огромный объём информации о далёких звёздах нашей Галактики и внегалактических объектах.

Будущее космических исследований

В ближайшие десятилетия развитие космонавтики будет продолжаться в двух направлениях: *использование околоземного пространства* для обеспечения наших потребностей на Земле (связь, изучение Земли, околоземного космоса и Солнца), а также *исследование Солнечной системы и удалённого космоса* в интересах науки (рис. 21). В более далёкой перспективе начнётся *использование космических ресурсов*: вещества Луны, астероидов и комет, а также солнечной энергии для их пе-

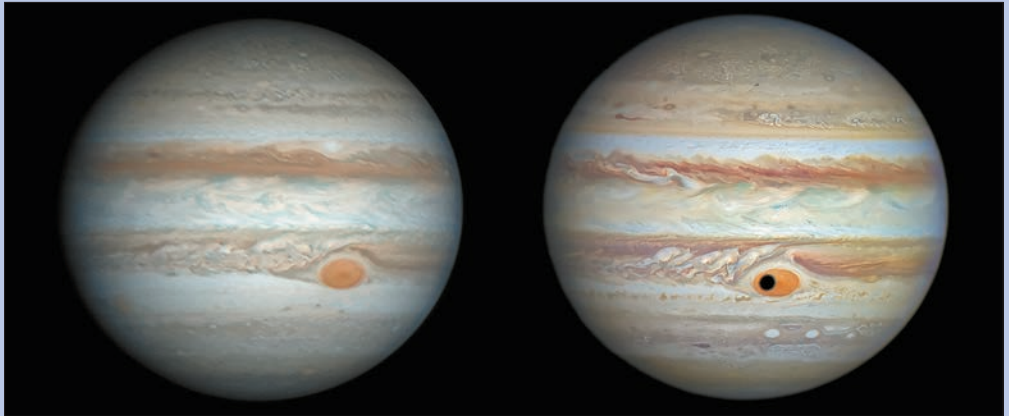


Рис. 21. Планета Юпитер. *Слева:* один из лучших снимков, которые за всю историю астрономии удалось получить с поверхности Земли (Горная обсерватория Пик-дю-Миди, Франция, 2016). *Справа:* фото, полученное космическим телескопом «Хаббл» в 2014 г. На Большое Красное Пятно легла тень Ганимеда, спутника Юпитера

реработки. А в ещё более далёком будущем, возможно, мы примемся за освоение и заселение наиболее благоприятных для жизни небесных тел, в первую очередь Марса.

Для астрономии космос стал важной рабочей площадкой и останется ею навсегда. Он предоставляет уникальные возможности для изучения Вселенной, хотя реализация этих возможностей требует больших финансовых затрат. Вообще, космонавтика — дело дорогое. Поэтому инженеры постоянно ищут возможности удешевить космические полёты, и это постепенно удаётся. На смену одноразовым ракетам приходят **многоразовые**. На смену химическим ракетным двигателям — **электрические** и **ядерные**. В перспективе — использование **солнечного** и **лазерного парусов**, а также, возможно, **космического лифта**, поднимающего грузы в космос за счёт энергии вращения Земли.

В ближайшие столетия Солнечная система будет изучена и освоена, в этом нет сомнения. Но удастся ли нам когда-нибудь отправиться к другим звёздам? Это было бы чрезвычайно интересно, ведь рядом со многими звёздами тоже есть планеты и среди них — похожие на Землю. Вполне возможно, что там тоже есть жизнь, внеземная жизнь! Но межзвёздные полёты невероятно сложны. Даже к ближайшим звёздам на современных ракетах лететь сотни тысяч лет. Возможно, в будущем удастся реализовать идею создания нового космического транспорта, способного разго-

няться до скорости, близкой к скорости света. Если это получится, то путь к звёздам будет открыт.



→ Найдите информацию о космическом лифте в энциклопедии «Википедия» (<https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Полёт к Луне занимает всего три дня, поэтому изучение и использование Луны — важная перспектива для космонавтики. С Луны уже доставлены для исследования сотни килограммов грунта. В нём есть ценное вещество — лёгкий изотоп гелия (^3He), который может использоваться как топливо для будущих термоядерных электростанций. На Луне уже работали астрономические телескопы; пока небольшие, но в перспективе там можно построить гигантские научные приборы, учитывая малую силу тяжести (на Луне она в шесть раз меньше, чем на Земле). Луна может стать важным хранилищем генетической и электронной информации на случай глобальных катастроф на Земле.

4

Пространственные масштабы изучаемой Вселенной

Измерение расстояний в астрономии всегда было сложной, но очень важной задачей. Существуют *прямые* и *косвенные методы её решения*. К *прямым* относятся метод **локации** (для тел Солнечной системы) и метод **параллакса** (для планет и звёзд). *Косвенные* методы, в отличие от прямых, требуют использования дополнительных предположений о свойствах объекта, например о его размере или о мощности излучения.

Локация — метод отражённого сигнала

Астрономические объекты удалены друг от друга на очень большие расстояния. Самое близкое к Земле космическое тело — это спутник Земли *Луна*. Если послать в сторону Луны короткий импульс радио- или оптического излучения (на поверхности Луны есть несколько доставленных туда отражателей света), то слабый отражённый сигнал будет получен обратно через 2,6 с, и этот промежуток может быть очень точно измерен.

Скорость света и радиоволн хорошо известна — она составляет около 300 тыс. км/с. Поскольку принятый после отражения импульс успел два-

жды пройти между Землёй и Луной, несложно вычислить, что расстояние до неё составляет немногим менее 400 тыс. км. *Метод отражённого сигнала* (он называется **методом локации**) даёт самые точные расстояния в Солнечной системе. Однако исторически он не был первым.

Метод параллакса

■ Расстояния до Луны и планет были найдены по измерениям их кажущегося смещения на фоне далёких звёзд при наблюдении этих объектов одновременно из двух точек на Земле, разделённых достаточно большим расстоянием. Это смещение называют **параллактическим**, а его величину — **параллаксом**.

Параллактическое смещение легче всего продемонстрировать, если взглянуть на карандаш в вытянутой руке сначала одним, а затем другим глазом. Его смещение на фоне далёких предметов будет тем больше, чем меньше расстояние от глаз до карандаша. То же самое справедливо и при наблюдении планеты из двух пунктов на Земле: *чем планета дальше, тем меньше её параллакс*. Зная расстояние d между пунктами наблюдений, несложно, решая треугольник (рис. 22), по измеренному параллаксу p найти расстояние до наблюдаемого объекта:

$$D = \frac{d}{\sin p}.$$

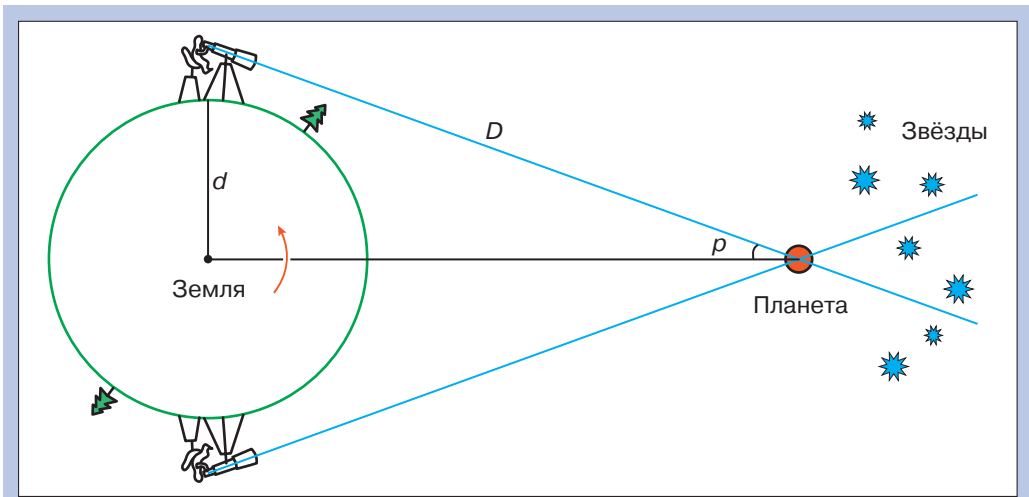


Рис. 22. Схема параллакса

Одновременно измеряя направление на Луну или планету из разных точек Земли, можно определить расстояние до неё. Параллаксы для Луны, и особенно для планет, очень малы, их измерения оказались довольно сложной задачей. Даже если расстояние d между двумя пунктами наблюдений будет сравнимо с радиусом Земли (6400 км), параллактическое смещение для Луны составит около одного градуса, а для Марса, находящегося на ближайшем расстоянии к Земле, — не более 25 угловых секунд. Параллактическое смещение Луны было замечено ещё древнегреческими астрономами, а первые оценки параллакса планеты (Марса) и, следовательно, расстояния до него были получены в XVII в. Так был открыт путь к измерению масштабов Солнечной системы.

Расстояния в Солнечной системе

Знание расстояния до любой планеты и параметров её орбиты в сравнении с орбитой Земли дало возможность рассчитать расстояние между Землёй и Солнцем. Оно меняется в небольших пределах, поскольку **орбита Земли** немного отличается от окружности, представляя собой чуть сплюснутый эллипс с большой полуосью около **150 млн км**. Это значение принимается за единицу расстояний и называется **астрономической единицей (а. е.)**.

Расстояния планет от Солнца в астрономических единицах приведены в Приложении (табл. 2). Ближе всего к Земле подходит *Венера*: разность радиусов орбит Земли и Венеры составляет 0,3 а. е., то есть около 45 млн км. Самая далёкая планета — *Нептун* — расположена от Солнца в 30 раз дальше Земли. Открыты более мелкие тела и карликовые планеты, находящиеся ещё в несколько раз дальше, чем Нептун.

■ Современное точное значение **астрономической единицы**:
1 а. е. = 149 597 870 700 м.

Грандиозность масштабов планетной системы можно проиллюстрировать на простом примере. Если построить объёмную карту с масштабом, при котором земной шар будет маленьким шариком размером 1 см, то Луна будет вчетверо меньшим шариком на расстоянии около 30 см от неё, а Солнце предстанет большим шаром размером около 1 м, находящимся на расстоянии чуть более 100 м от шарика-Земли. Примерно в 600 м будет находиться самая большая планета — Юпитер. Расстояние же до Нептуна составит в этом масштабе около 3,5 км.

Но если мы захотим в таком же масштабе на нашей объёмной карте разместить ближайшую к Солнцу звезду, то она не уместится на Земле: расстояние до звезды от шарика-Земли окажется равным около 40 тыс. км!

Измерение расстояний за пределами Солнечной системы

Расстояние до звёзд, наиболее близких к нам, также определяется методом параллакса, только для этого звезду наблюдают не из двух точек Земли, а с различных мест земной орбиты, пользуясь тем, что Земля сама перемещается в пространстве, обращаясь вокруг Солнца. Для этого в течение нескольких месяцев отслеживают видимое смещение звезды на небе, которое вызвано годичным движением Земли, и по этим измерениям оценивают угол, под которым со звезды был бы виден радиус земной орбиты, перпендикулярный лучу зрения. Этот угол называется **годовым параллаксом светила** (рис. 23). Обычно его обозначают латинской буквой p .

Такой метод определения расстояний является **прямым**, поскольку не требует никаких сведений о природе и свойствах наблюдаемого объекта. Проблема, однако, в том, что из-за большого расстояния параллаксы звёзд невероятно малы. Измерить их для нескольких ярких звёзд удалось лишь в XIX в., когда методика угломерных астрономических измерений достигла очень высокой точности: даже у наиболее близких звёзд

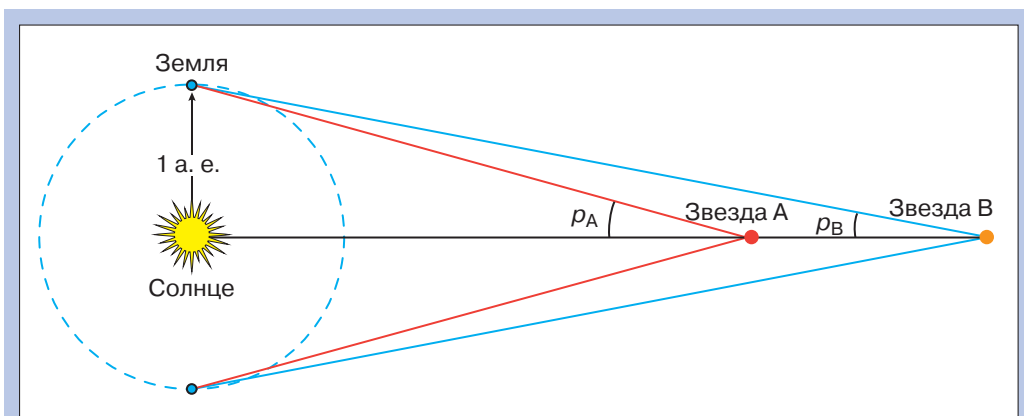


Рис. 23. Параллактическое смещение звезды. Наблюдение звезды из разных точек земной орбиты позволяет измерить её параллакс, тем самым определив расстояние до неё. Здесь звезда В находится дальше, чем звезда А, поэтому $p_B < p_A$

параллактические смещения оказались меньше одной угловой секунды. Тем не менее в настоящее время с помощью специализированных космических телескопов измерены параллаксы сотен миллионов звёзд.

Расстояния до далёких звёзд

Для очень далёких звёзд, наблюдаемых в телескопы, оценка параллаксов недоступна даже для современной космической техники, и астрономы используют уже не прямой метод, а различные **косвенные методы** определения расстояний, например **по измерениям видимой яркости звёзд**. Чем звезда дальше, тем более тусклой она выглядит на небе. Но для оценки расстояния в этом случае требуется изначально задать мощность излучения (светимость) звезды по аналогии с другими звёздами такого же типа.

Ближе всего к Солнцу располагается тройная звёздная система, состоящая из яркой двойной звезды α (альфа) в созвездии Кентавр (иногда говорят Центавр) и очень тусклой звезды Проксима в том же созвездии. Расстояние до этой тройной системы составляет примерно 270 тыс. а. е., или около $4 \cdot 10^{16}$ м.

■ Расстояния до астрономических объектов измеряют как в физических, так и в **астрономических единицах**. Но наиболее наглядно **расстояние** выражается через время, которое требуется свету, чтобы его пройти.

Поскольку скорость света постоянна, пересчитать это время в физические единицы расстояния не составляет труда.

Одна **световая секунда** равна 300 тыс. км.

Одна **световая минута** равна 18 млн км.

Одни **световые сутки** примерно равны 26 млрд км.

Один **световой год** примерно равен 10 тыс. млрд км (10 трлн км), или 10^{16} м.

Одна **астрономическая единица** примерно равна 500 световым секундам, т. е. немногим более 8 световых минут. За это время свет доходит к нам от Солнца. А до Нептуна свет от Солнца идёт более 4 ч.

Таким образом, световые единицы расстояний показывают, какое время тому назад был испущен дошедший до нас свет.

До Луны свет доходит за $1\frac{1}{3}$ с.

От ближайших звёзд (Проксима и α Кентавра) свет идёт к нам около четырёх с половиной лет.

Самые далёкие звёзды, которые ещё можно увидеть на небе невооружённым глазом, отстоят от нас на тысячи световых лет.

Более 100 тыс. св. лет составляет расстояние до самых далёких звёзд нашей звёздной системы — Галактики, состоящей из сотен миллиардов звёзд.

Соседняя галактика *Туманность Андромеды* — самый далёкий объект, который можно увидеть без телескопа, — расположена на расстоянии около 2 млн св. лет.

Самое близкое к нам массивное скопление галактик, где насчитываются тысячи отдельных звёздных систем, расположено в созвездии Дева на расстоянии около 50 млн св. лет.

От самых далёких галактик, которые ещё удаётся наблюдать с помощью современных больших телескопов, свету потребовалось на дорогу к нам 12—13 млрд лет.

Таковы масштабы наблюдаемой Вселенной.

В астрономии часто используется ещё одна единица расстояний. Она называется **парсек** (от слов «параллакс» и «секунда»), сокращённо — **пк**.

■ **Парсек** — это расстояние, с которого радиус земной орбиты будет виден под углом 1 угловая секунда ($1''$).

1 ПК = 206 265 а. е. = 3,26 св. года.

Если звезда находится на расстоянии r [пк], то параллактическое смещение, вызванное движением Земли по орбите вокруг Солнца, будет в течение года менять направление на звезду на величину годового параллакса $\rho = \frac{1''}{r[\text{пк}]}$ по отношению к её среднему положению.

Чем дальше звезда, тем меньше её годичный параллакс. На расстоянии 10 ПК параллакс равен $0,1''$, на расстоянии 100 ПК — $0,01''$ и т. д. Расстояние в парсеках и годичный параллакс связаны простым соотношением: $r[\text{пк}] = \frac{1''}{\rho}$.

Для очень больших расстояний используют более крупные единицы, кратные парсеку: **килопарсек** (1000 ПК) и **мегапарсек** (1 000 000 ПК).