



БИБЛИОТЕКА  
ГУТЕНБЕРГА

Андрей Мурачёв

# ЗАГАДКИ КОСМОСА

ПЛАНЕТЫ И ЭКЗОПЛАНЕТЫ

*Аванта*

Библиотека Гутенберга

Андрей Мурачёв

**Загадки космоса.  
Планеты и экзопланеты**

«Издательство АСТ»

2020

УДК 52  
ББК 22.6

**Мурачёв А. С.**

Загадки космоса. Планеты и экзопланеты / А. С. Мурачёв —  
«Издательство АСТ», 2020 — (Библиотека Гутенберга)

ISBN 978-5-17-115148-5

В этой книге речь идет об удивительных небесных телах — экзопланетах. Эти планеты вращаются не вокруг нашего Солнца, а вокруг других звезд. Разнообразие видов экзопланет поражает воображение: горячие газовые гиганты и холодные мини-копии Нептуна, миры-океаны и суперземли, обращающиеся вокруг своих звезд или свободно плывущие в космическом пространстве. Что собой представляют эти миры? Как ученым удалось их обнаружить? И, конечно, есть ли там жизнь? Добро пожаловать в захватывающее путешествие! Для широкого круга читателей.

УДК 52  
ББК 22.6

ISBN 978-5-17-115148-5

© Мурачёв А. С., 2020  
© Издательство АСТ, 2020

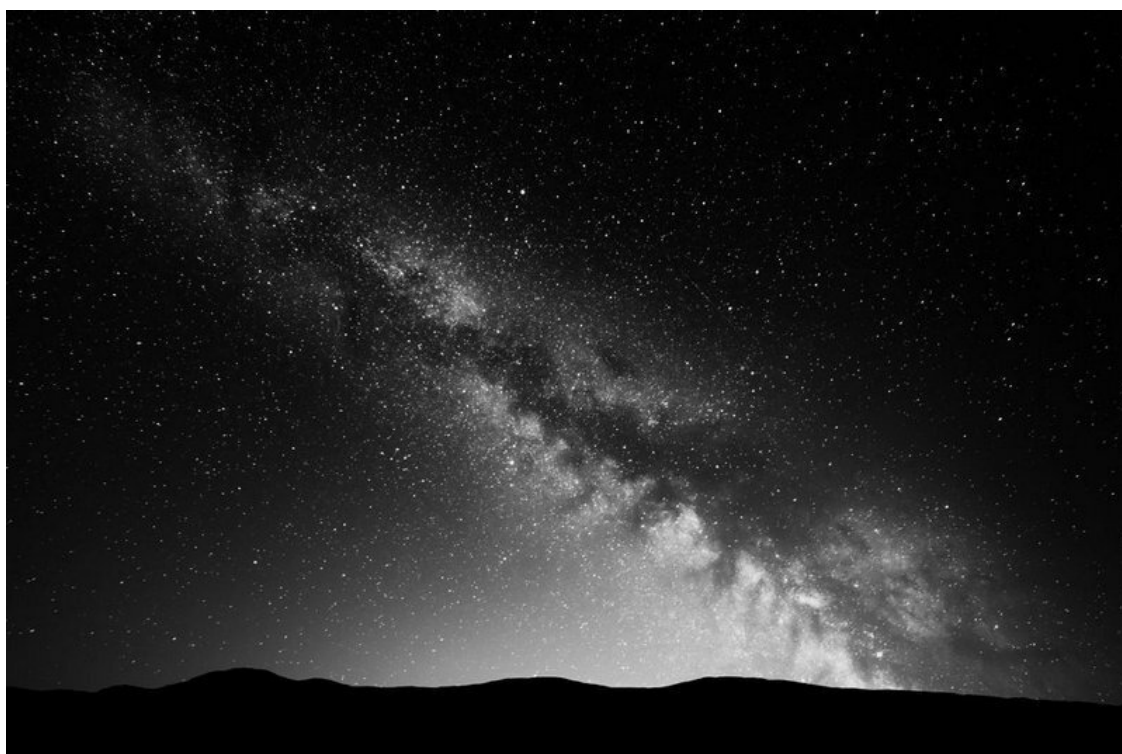
## Содержание

Андрей Сергеевич Мурачёв	5
Предисловие	7
Глава 1. Птолемей и Коперник	11
Глава 2. Астероиды и формирование планетных систем	26
Конец ознакомительного фрагмента.	31

**Андрей Сергеевич Мурачёв**  
**Загадки космоса. Планеты и экзопланеты**

© Мурачёв А. С., 2020

© ООО «Издательство АСТ», 2020





## Предисловие

*Моей маме, с любовью и благодарностью*

Начните читать эту книгу поздно вечером, когда стемнеет. Выйдите на балкон вашей квартиры или веранду дома и посмотрите на небо. Я надеюсь, оно сегодня не затянуто тучами. Внимательно посмотрите на черную пустоту над головой... Не читайте дальше, пока не надышитесь холодным ночным воздухом, не разглядите мерцание звезд, не найдете известные вам созвездия. Проникнитесь осознанием того, что не только вы за многие тысячелетия стояли и дышали холодным ночным воздухом, замороженно глядя на усыпанное звездами небо. Миллион лет назад наши предки в африканской саванне точно так же смотрели на небо, и точно так же делали древние шумеры, египтяне, индейцы майя, строители Стоунхенджа. Свои взгляды в разверзнувшуюся над головой бездну устремляли Леонардо да Винчи, Ньютон, Коперник и миллиарды других людей, имена которых уже никто никогда не вспомнит, они навсегда ушли в небытие – точно так же сейчас на небо смотрите вы. О чем думали те люди в такие мгновения? Как их мысли, родившиеся звездными ночами, изменили человеческую историю?

Силой воображения покиньте Землю, Солнечную систему, поднимитесь над плоскостью Млечного Пути и летите дальше – летите до тех пор, пока не потеряетесь, не окажетесь одни в черной пустоте и уже не будете знать, где Земля, Солнце и наша галактика. В этой пустоте не существует ни верха, ни низа, движение неразлично: вы сейчас двигаетесь или нет? Невозможно определить. Да это и неважно – все равно здесь нет никаких ориентиров и даже знакомых созвездий.

Огоньки, которые вы видите, – это галактики. В видимой Вселенной галактик насчитывается, по разным оценкам, от нескольких сотен миллиардов до двух триллионов<sup>1</sup>. В Млечном Пути от 100 до 400 миллиардов звезд, и по размеру он особо не выделяется на фоне бесчисленных галактик Вселенной. Согласно последним подсчетам треть солнцеподобных звезд имеют планеты<sup>2</sup>. Но сказать, сколько всего планет в нашей галактике, довольно сложно, так как это число зависит от среднего количества планет у каждой звезды. Чаще всего речь идет об одном триллионе. Применяя эту логику на всю обозримую Вселенную, мы получим количество планет, которое записывается числом с 24 нулями. Это в миллион раз больше, чем песчинок на всех пляжах мира. Так что когда вам будут говорить о Земле, крошечной пылинке в масштабах Вселенной, помните, что даже песчинку на Земле найти проще, чем Землю во Вселенной.

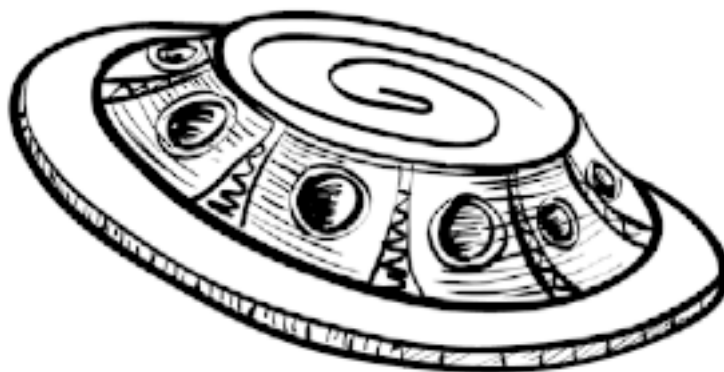
Оглянитесь вокруг и запомните эту картину. Однажды ваши потомки тоже увидят эти звезды, космические корабли откроют им новые миры, и те чудеса природы, которые вы даже не можете себе представить, станут для них обыденностью. Когда-то ваши прапраправнуки будут смотреть на звездное небо далекой планеты, ставшей им домом, и дышать морозным ночным воздухом. Сейчас мы находимся в самом начале этого долгого пути.

Когда-то космос был маленьким – его размеры ограничивались для людей твердой небесной сферой. Шли века, представления о космосе менялись. Земля как центр Вселенной уступила место Солнцу, а потом и Солнце стало рядовой звездочкой на периферии Галактики. Естественным образом возникла мысль найти жизнь где-нибудь за пределами Земли. Так как никаких других планет, кроме планет Солнечной системы, наша цивилизация долгое время не знала, мы обратили внимание именно на них.

Видимо, первым об инопланетянах заговорил Джордано Бруно. Потом была целая плеяда писателей и мыслителей (их уже, к счастью, не сжигали), которые в разные времена помещали инопланетян на Луну, Венеру, Марс, Юпитер, кольца Сатурна и даже поверхность Солнца. Но XX век стал веком стремительного сокращения мест, где, по представлениям ученых, можно

найти жизнь. На Луне, например, жизнь уже очень давно не ищут. Еще до того, как Нил Армстронг ступил на ее поверхность, было ясно: Луна представляет собой изрытую кратерами пустыню. Однако еще в 1940-х и даже 1950-х годах в научно-популярной литературе широко обсуждалась возможность обнаружить если не леса и диких животных, то хотя бы лишайники на Марсе. Некоторое разочарование наступило в 1976 году, когда космические аппараты, созданные в рамках программы «Викинг», передали на Землю снимки поверхности и результаты проведенных на Красной планете экспериментов. Тогда стало понятно, что если на Марсе и есть жизнь, то лишь микробная. В жизнь на газовых гигантах Солнечной системы продолжали верить люди только с очень живой фантазией; в экзогортов в Главном поясе астероидов не верил никто, исключая фанатов «Звездных войн».

Жизнь на Марсе (а с недавнего времени и его колонизация) порой кажется навязчивой идеей человечества. Если жизни там нет, то ее следует придумать, ну или, на худой конец, создать. Годы исследований с помощью орбитальных космических аппаратов и планетоходов убедительно доказали, что в далеком прошлом Марс покрывали реки и океаны жидкой воды, а на полюсах до сих пор лежат шапки водяного льда. Когда астробиолог слышит о месте, где есть жидкая вода с необходимым количеством минералов, у него срабатывает безусловный рефлекс – возникает мысль о существовании внеземной жизни. Помня о невероятной живучести некоторых видов бактерий, ученые задают вполне резонный вопрос: могли ли эти организмы дожить до наших дней, например, в подповерхностных водоемах?



И дальше начинаются чудеса. Жидкая вода была обнаружена под ледяной поверхностью спутников Юпитера и Сатурна. Более того, найдены свидетельства, что она есть и на экзопланете Солнечной системы Плутоне – возможно, целый подповерхностный океан. Кто мог такое представить всего несколько лет назад? Сколько жидкой воды в поясе Койпера, остается лишь догадываться. Есть надежда, что в ближайшее десятилетие состоится миссия к Европе – спутнику Юпитера, обладающему океаном жидкой воды, скрытым под многокилометровой толщей ледяной оболочки. Может быть, уже на нашем веку мы найдем жизнь где-то еще в Солнечной системе.

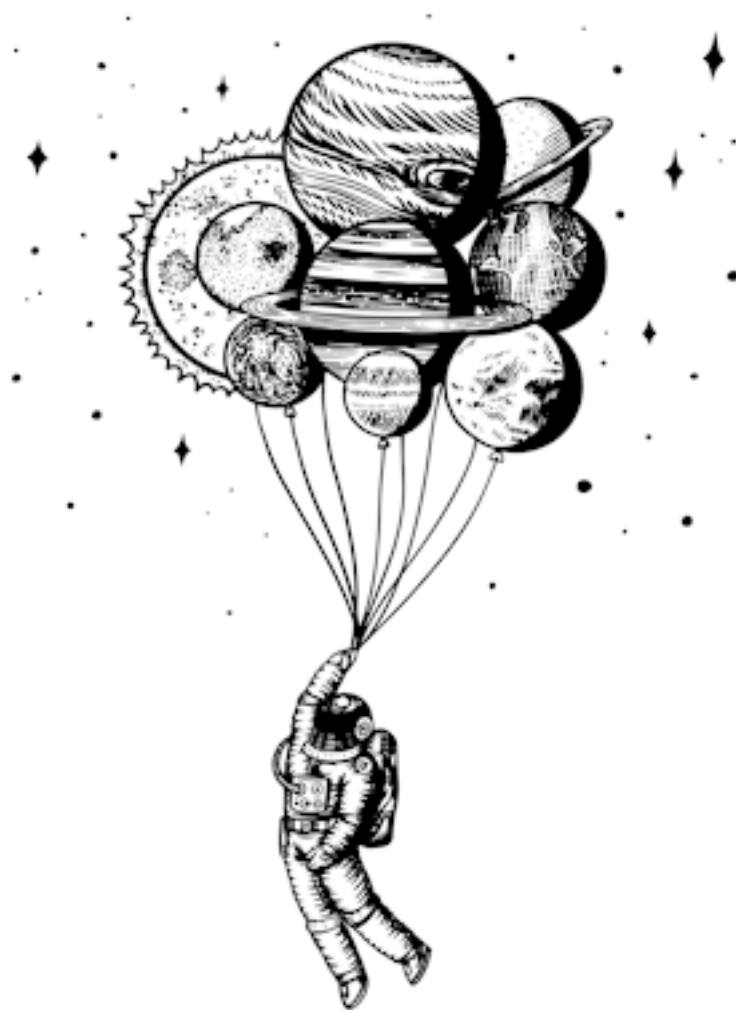
В то время как одни ждут миссии к Европе, другие обсуждают открытие планет за пределами нашей Солнечной системы – их называют экзопланетами. Космический телескоп *Kepler* позволил нам получить информацию о тысячах экзопланет. Сейчас на орбите работает его преемник – телескоп *TESS*, который должен открыть еще тысячи близких к нам экзопланет. Имея в распоряжении всего восемь планет, мы и представить не могли, насколько разнообразны инопланетные миры. Каждая из планет Солнечной системы уникальна, о каждой написаны книги. И если вы захотите удивить девушку, расскажите ей о кратерах на Меркурии, в которых есть лед, о металлических снегах Венеры, о каньонах Марса, о гигантском вихре на Юпитере, бушующем уже сотни лет, и гелиевых дождях в его атмосфере, о спутнике Сатурна

Энцеладе, где подо льдом, возможно, есть жизнь, о горах и равнинах Плутона. И если такое разнообразие наблюдается только в нашей Солнечной системе, сколько всего неизведанного и прекрасного ожидает нас во Вселенной на планетах у других звезд? Сколько идей для рассказов своей половинке вы сможете почерпнуть, исследуя эти миры! О *Trappist-1*, 55 Рака *e*, *Kepler-168 f* и других экзопланетах, которых тысячи. И если половинка вас выслушает, вероятно, между вами действительно серьезные чувства.

Как вы увидите, исследование планет – это увлекательная работа, словно детективная история, изобилующая крутыми поворотами сюжета и неожиданными развязками. Порой ее выполняют в угоду чьим-либо корыстным устремлениям, но порой и ради бескорыстного служения науке. Прежде всего, эта работа интересна не тем, что позволяет получить новые знания об окружающем мире, – она помогает осознать ничтожность человеческой фантазии в сравнении с чудесами, которые приготовила для нас Вселенная. Человеку, посвященному в ее тайны, остается только удивляться и восторгаться.

В дальнейшем на страницах этой книги я обрисую контуры разворачивающейся на наших глазах революции. Знаем мы пока не очень много, но все же в некоторых вещах мы уверены. Например, что экзопланеты существуют, а также нам кое-что известно об их характеристиках. Этого уже достаточно, чтобы строить гипотезы, проверять их, подтверждать или опровергать.

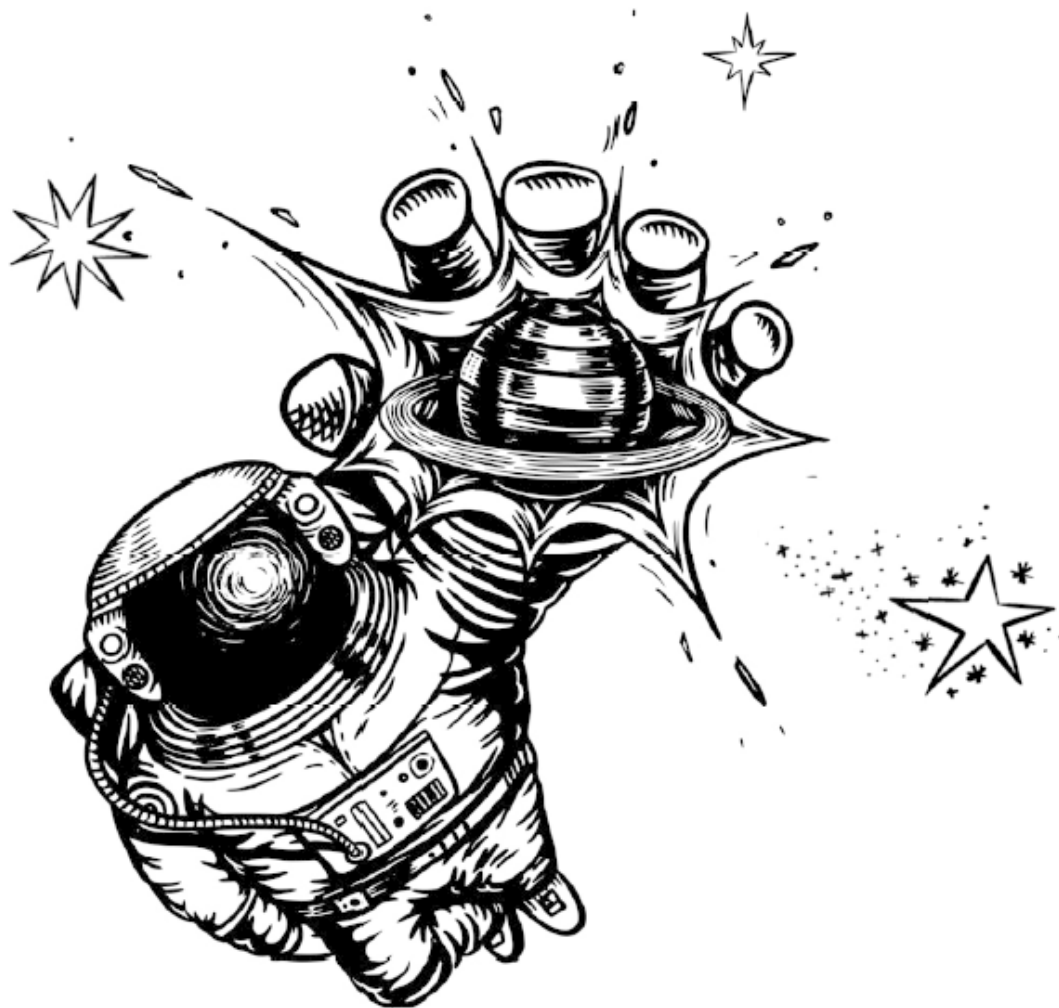
Еще должен отметить следующее. В этой книге есть ссылки на работы, где вы сможете найти дополнительную информацию о приведенных фактах или открытиях. Такой подход продиктован не только правилами научной этики. Мне бы очень хотелось, чтобы хотя бы некоторые читатели внимательно изучили эти статьи. Ведь в них описывается нечто невероятно важное для науки – методы, благодаря которым удалось получить те или иные знания. Пройдя путь, по которому кто-то уже прошел, и увидев ту же картину, что и ваш предшественник, вы удостоверитесь, что вас не обманули. Формируя свое мировоззрение, необходимо не только иметь знания, но и понимать, как они были добыты. Я буду считать свою задачу выполненной, если эта книга подтолкнет кого-то заняться наукой профессионально или посвятить часть времени изучению нашей удивительной Вселенной, открывающейся нам все больше и больше с каждым днем.



## Глава 1. Птолемей и Коперник

*Геометрия – это искусство хорошо рассуждать на плохо  
выполненных чертежах.*

**НИЛЬС АБЕЛЬ**



Астрономия – это древнейшая наука, которая возникла на заре цивилизаций и формировалась в ранних человеческих сообществах: шумеров, древних египтян, древних греков и римлян и независимо у инков. Конечно же, на протяжении веков она была не наукой в том смысле, который сегодня мы вкладываем в это понятие, а именно системой знаний, удовлетворяющих формальным требованиям математической строгости и логической непротиворечивости. В те времена астрономия, как и медицина, математика и даже астрология, была просто набором утверждений, основанных большей частью на мифологии и наблюдениях за миром. Тех цивилизаций уже давно нет, однако их наследие органично вплелось в нашу культуру, стало основой для развития наших взглядов на мир. Здесь, пожалуй, самым ярким примером является шестидесятеричная система счисления, доставшаяся нам от шумеров и вавилонян, которую мы используем для измерения времени и углов. Названия дней недели и их количество пришли извилистыми путями из вавилонской и античной культур. Когда-то давно дни недели получили

свои названия в честь богов, с которыми отождествлялись семь известных с древних времен движущихся по небу небесных тел: Солнце, Луна, Марс, Меркурий, Юпитер, Венера, Сатурн.

В античной культуре сформировался фундамент астрономии, возникла первая астрономическая парадигма, которая будет разрушена только в ходе научной революции в Западной Европе. Конечно, древние греки были не первыми, кто создал миф об устройстве мира и роли планет и звезд в этом мире, однако именно им удалось разделить мифологию и практические знания о мире, заложить основы научного мировоззрения, которое в полной мере проявится в совершенно другой цивилизации в совершенно другое время. До них ни один народ не испытывал природу на прочность с такой яростью, не создавал такие хитроумные инженерные приспособления.

И именно в Древней Греции возникла и стала общепринятой геоцентрическая система мира, в которой Земля располагается в центре Вселенной. К сожалению, мы многого не знаем о развитии астрономии в Древней Греции и разнообразии античных представлений об устройстве небес. Известно, что, наряду с геоцентрической моделью мира, существовали и другие, в том числе те, которые по достоинству оценили даже наши современники. Например, Аристарх Самосский предлагал модель, где все планеты (включая Землю) вращались вокруг Солнца<sup>3</sup>. Если бы ему повезло чуть больше, возможно, гелиоцентризм стал бы господствующей парадигмой намного раньше Средних веков. Кроме того, в Греции разными философами рассматривались комбинированные модели, согласно которым по крайней мере часть планет вращалась вокруг Солнца, а Солнце – вокруг Земли.

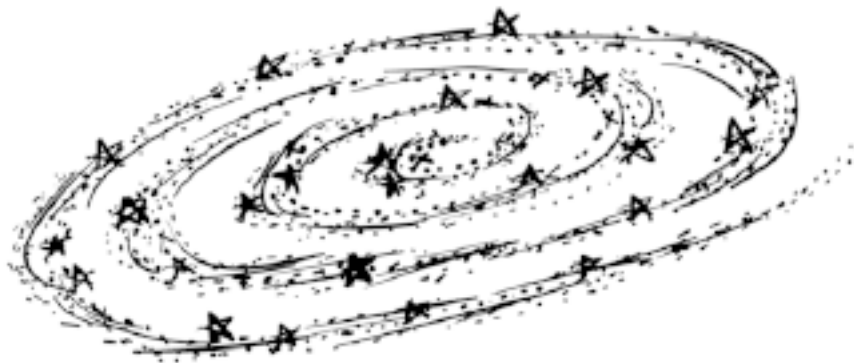


Главной астрономической книгой античного мира стал, безусловно, «Альмагест» Клавдия Птолемея, который появился в середине II века н. э. Птолемей, возможно, впервые в истории человечества собрал в одном месте все доступные к тому моменту астрономические знания. Опираясь на звездный каталог другого древнегреческого астронома – Гиппарха, – в своей книге он привел список 1 022 звезд, 48 созвездий, решил некоторые задачи, имевшие практическое значение, и описал использовавшиеся на практике астрономические приборы. В Европе книга приобрела известность в переводе на арабский язык – благодаря арабам она и получила свое окончательное название («Альмагест» можно перевести с арабского как «Величайший трактат»). Первоначально же труд назывался скромно: «Математическое построение». Самым важным в «Альмагесте» является, пожалуй, подробное изложение усовершенствованной геоцентрической системы мира.

Если смотреть с позиций нашего времени, Птолемей может показаться одним из первых астрономов, но и он «стоит на плечах гигантов». Птолемей жил в Александрии или рядом с

ней и, по-видимому, имел доступ к знаменитой Александрийской библиотеке. В ней хранились записи наблюдений астрономов за звездами почти за 900 лет. Свою модель устройства мира Птолемей создавал, изучая эти труды и руководствуясь ими.

Вселенная, по мысли Птолемея, состояла из семи сфер планет (слово «планета» в переводе с греческого означает «странник»), обращающихся вокруг Земли, и на каждой из них было закреплено по одному небесному телу – от Луны до Сатурна. Звезды располагались на восьмой сфере, окружавшей семь подвижных сфер планет. А снаружи этих сфер находилась девятая сфера, которая рассматривалась как источник движения всего грандиозного механизма.



Представления о геоцентризме на самом деле восходят еще к Пифагору, Платону и Аристотелю, жившим за несколько веков до Птолемея. Птолемей не был создателем этой концепции. Но что он действительно сделал первым, так это с помощью математики описал движение небесных светил (некоторые исследователи считают, что эту работу начал еще Гиппарх). И хотя Птолемею удалось достичь неплохой для своего времени точности в предсказании положения планет, сама система получилась довольно запутанной. Вот в чем состояла сложность.

Согласно философской традиции античной Греции мир имеет форму шара, так как шар – самая совершенная фигура. В такой Вселенной планеты должны двигаться по круговым орбитам, причем движение должно быть равномерным (с постоянной скоростью). Однако, с точки зрения наблюдателя на Земле, планеты в течение года движутся по небосводу совсем не по дугам окружностей, а достаточно сложным образом: то вперед в одном направлении, то назад, при этом то ускоряясь, то замедляясь (см. рис. 1).

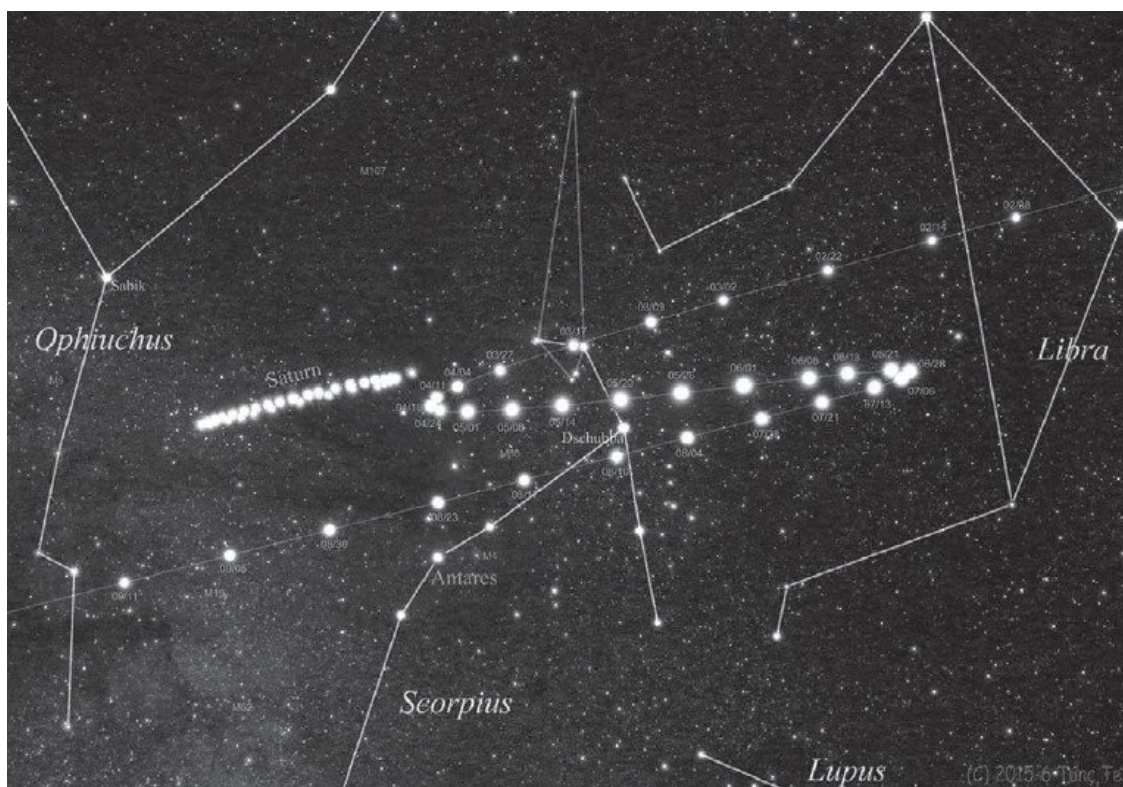


Рисунок 1. Картинка, созданная из серии снимков, сделанных с середины декабря 2015 до сентября 2016 года. На ней запечатлено сближение двух планет: Марса и Сатурна. Их видимое попятное движение относительно звезд дальнего фона – это отражение орбитального движения самой Земли

Пройдет больше тысячи лет, прежде чем человечество осознает, что природе нет никакого дела до наших представлений о красоте. Но во времена Птолемея приходилось привлекать новые сущности для того, чтобы примирить традицию и наблюдения. Одной из таких новых сущностей оказались орбитальные эпициклы. В модели Птолемея каждая планета равномерно движется по окружности, называемой эпициклом, центр которой, в свою очередь, движется вокруг Земли по окружности, известной как деферент. Птолемей аккуратно подобрал размеры эпициклов и деферентов всех известных ему планет, чтобы параметры их орбит максимально соответствовали наблюдаемым.

Существует миф, что древние астрономы должны были множить эпициклы в геоцентрической картине, чтобы удовлетворить более качественным астрономическим наблюдениям, в результате чего система Птолемея чрезвычайно усложнилась. Более десяти веков спустя кастильский король Альфонс X, выслушав объяснение столь запутанного движения планет, высказался так: «Если бы Господь Всемогуший посоветовался со мной, прежде чем приступать к созданию, я должен был бы порекомендовать Ему сотворить мир попроще»<sup>4</sup>. Некоторые авторы пишут, что количество эпициклов у ряда планет (например, у Марса) могло достигать до двухсот. Если бы это соответствовало действительности, древним астрономам было бы очень утомительно вычислять сотни эпициклов вручную, да и вряд ли это вообще возможно.



Клавдий Птолемей

На самом деле, чтобы объяснить неравномерность движения планет по орбитам, Птолемей усложнил первоначальную систему иным способом. Центр деферента (эксцентрик) в его системе не совпадает с центром Земли, а движение центров эпициклов планет устроено так, что кажется равномерным из некоторой другой точки – экванта. Эквант же расположен симметрично центру Земли относительно эксцентрика (см. рис. 2).



Рисунок 2. Движение планеты согласно модели Птолемея

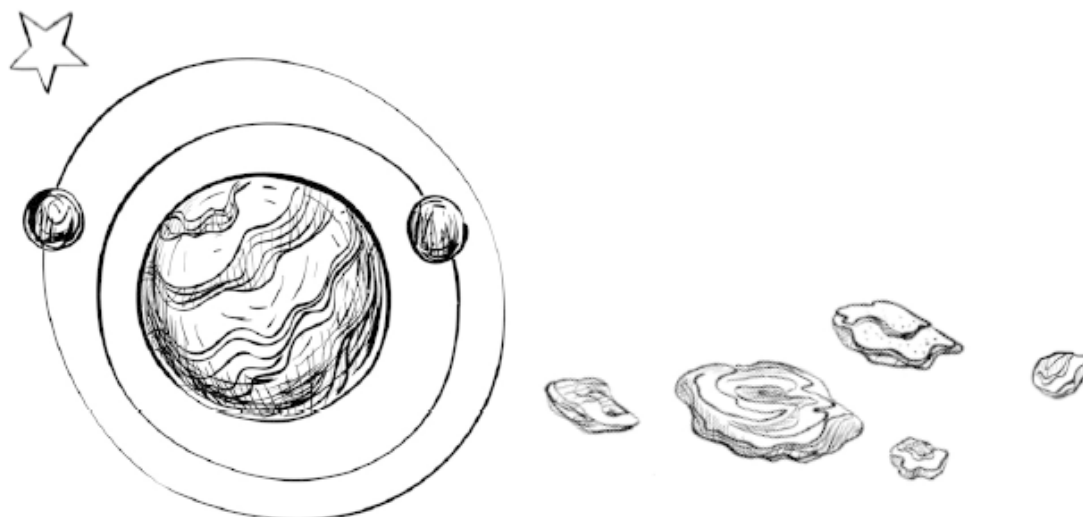
Система Птолемея в конечном счете оказалась неверной. К сожалению (или к счастью), это судьба большинства научных теорий. И все же она позволяла верно предсказывать многие результаты наблюдений невооруженным глазом. К тому же идея о разложении сложного движения на простые круговые, восходящая к Пифагору, являлась не только правильной по своей сути, но и пророческой: идеи Пифагора и Птолемея предвосхитили гармонический анализ.



Падение античного мира привело к упадку культуры и науки. Уже Блаженный Августин в IV веке отрицает сферическую форму Земли. Довольно быстро центр развития астрономии смещается на восток. Снова геоцентрическая картина мира приходит в Европу в IX веке вместе с частичным переводом «Альмагеста» с арабского языка. Полный перевод этой книги на латынь сделали выдающиеся астрономы эпохи Возрождения Георг Пурбах и его ученик Региомонтан только в середине XV века.

В этом же веке в польском городе Торунь родился создатель гелиоцентрической системы мира – Николай Коперник. За время своего обучения он был студентом трех университетов: Краковского, Болонского и университета Падуи. Бросив учебу в двух первых, каждый раз ровно через три года, Коперник только в 1503 году становится доктором канонического (церковного) права, попутно изучив астрономию и медицину. В те времена духовная карьера была одной из самых престижных и денежных, поэтому неудивительно, что в качестве основной он выбрал ее. Этому способствовало и то, что дядя Коперника, Лука Ватцельроде, имел сан епископа Эрмеландского и всячески покровительствовал племяннику.

В 1512 году Ватцельроде умирает, и Коперник отправляется во Фрауенбург, чтобы стать каноником Вармийского капитула, куда его зачислили еще пятнадцать лет назад при содействии дяди. По прибытии ему отводят комнату в северо-западной башне крепостной стены, окружавшей собор, и по счастливой случайности она оказывается невероятно удобной для астрономических наблюдений. Здесь Коперник обустроивает свою обсерваторию и усиленно работает над созданием концепции гелиоцентрической системы мира. Если вы представили себе астронома в колпаке, смотрящего в телескоп на ночное небо, немедленно усмирите свою фантазию! Первые астрономические наблюдения с помощью телескопа проведет только через сто лет Галилео Галилей. Коперник же пользовался стандартным набором астрономических инструментов того времени: квадрантами, трикветрумами и астролябиями. Однако он не был кабинетным ученым, принявшим добровольное затворничество. Он занимался врачебной практикой, активно участвовал в административной и общественной жизни, командовал обороной Ольштына, небольшой крепости в Польше, – в общем, вел довольно интересную светскую жизнь по меркам того времени.



По-видимому, первые наброски концепции гелиоцентрической системы мира были сделаны Коперником в 1506 году, они разошлись в нескольких списках среди его ближайших друзей. Коперник никогда не скрывал свои исследования, но и широкой огласке не предавал. На протяжении многих лет знаменитый астроном работал над книгой «О вращении небесных сфер». Фактически закончив ее уже в 1530-м, Коперник долго боялся напечатать свой труд и сделал это, лишь поддавшись на уговоры друзей. Только в 1543 году, в те самые дни, когда больной Коперник лежал на смертном одре, вышло первое издание его книги.

Книга Коперника – это своеобразная полемика с Птолемеем. «О вращении небесных сфер» структурно, хоть и в более компактном виде (шесть книг вместо тринадцати), повторяет «Альмагест». Коперник сразу отвергает точку зрения Птолемея, объяснившего неравномерность годового движения планет, введя экванты. Следуя Аристотелю, Коперник утверждает, что на небесах можно найти только равномерное круговое движение, и строит систему, которая для него эстетически более привлекательна – с равномерным движением планет по круговым орбитам. Чтобы объяснить неравномерность движения он заменяет эквант на второй эпицикл (немного ранее Региомонтан доказал возможность такой замены). Далее происходит чудо. Проведя вычисления для всех известных планет, Коперник (наверное, сам того не ожидая) обнаруживает, что математически легче описать эту систему, перенеся Солнце в центр Вселенной, а Землю сделав третьей планетой от Солнца. После такой замены многие вещи, казавшиеся непонятными в геоцентрической системе, получают естественное объяснение<sup>1</sup>. Например, система Птолемея, в отличие от гелиоцентризма, не дает ответа на вопрос, почему движение Солнца и Луны никогда не бывает попятным или почему эпицикл Марса намного больше эпициклов Юпитера или Сатурна.

Однако, как вы успели заметить, система Коперника получилась не проще, чем у Птолемея. К тому же она была не более точна, чем современный ему геоцентризм (ведь обе теории основывались на одних и тех же астрономических таблицах). Зачем же она была нужна в таком случае? Скорее, это вопрос психологии, а не научной объективности. Во времена Коперника не существовало ни одной рациональной причины предпочесть одну теорию другой. Доказательства гелиоцентризма появятся много позднее. По-видимому, основной силой, что мотивировала Коперника на создание новой теории, стали его соображения о красоте.

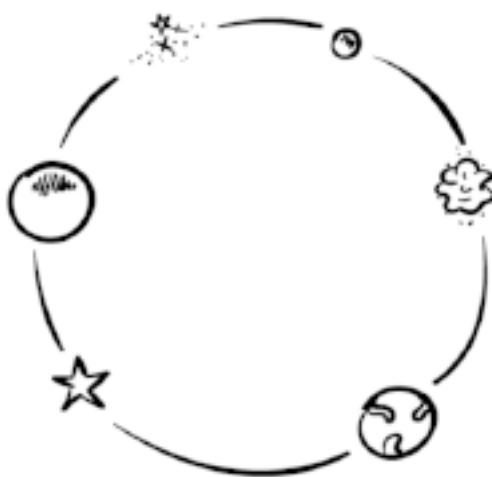
Коперник, безусловно, считал, что созданная им модель отражает истинное положение вещей, однако его современники отнеслись к гелиоцентризму скорее как к математическому

<sup>1</sup> Для полноты картины следует заметить, что центр каждой планеты, по Копернику, располагается рядом с центром Солнца, но не в центре. В этом смысле его систему нельзя называть гелиоцентрической. – *Здесь и далее примеч. автора.*

фокусу, который, как и систему Птолемея, можно было использовать для вычислений, совершенно не заботясь об истине<sup>2</sup>. Чтобы утвердиться в науке, гелиоцентризму требовались новые открытия и большая точность в предсказаниях положения небесных тел, что станет возможным позднее благодаря наблюдениям Галилея и открытию Кеплером законов движения планет. При жизни Коперник не получил должного признания.

\* \* \*

Система мира, предложенная Коперником, инициировала дискуссию о строении Солнечной системы и в конечном счете об устройстве всего мироздания. Прошли столетия, и сегодня наши знания о Вселенной, звездах и планетах несравнимо больше. Давайте остановимся на некоторых ключевых вещах, чтобы в дальнейшем говорить на одном языке.



История нашей Вселенной началась в далеком прошлом, 13,8 миллиарда лет назад, с события, которое называют Большим взрывом. Что это такое, чем он был вызван и можем ли мы вообще говорить о его причинах – точного ответа на эти вопросы не знает никто. Между тем Большой взрыв является неотъемлемой частью современной космологической теории. В соответствии с сегодняшней научной парадигмой в ходе Большого взрыва была создана вся материя Вселенной, и стало возможным говорить о пространстве и времени. С того момента пространство расширяется, температура Вселенной падает, а вещество и энергия эволюционируют согласно строгим физическим законам.

В течение первых нескольких минут после Большого взрыва образовались водород и гелий, а также некоторые другие легкие элементы в ничтожно малых количествах. Сегодня масса всего водорода Вселенной составляет около 75 % массы видимого вещества, а всего гелия – около 25 %. Я говорю «видимое вещество», поскольку есть и невидимое, так называемая темная материя. Она взаимодействует с видимым (обычным) веществом лишь посредством гравитации. Согласно последним космологическим моделям, темной материи в три раза больше, чем видимого вещества. Тем не менее о ее природе до сих пор мало что известно.

---

<sup>2</sup> Когда я пишу эти строки, мне на ум приходит афоризм Дэвида Мермина «Заткнись и вычисляй!», имеющий отношение, правда, к совершенно другой эпохе и проблемам совершенно иного рода.

После того как температура Вселенной снизилась примерно до 1 000 кельвинов (К)<sup>3</sup>, гравитация стала преобладающей силой во Вселенной. Под действием гравитации гигантские облака газа сжимались, их плотность возрастала, зажигались первые звезды. Со временем они стали объединяться и образовывать локализованные структуры – галактики. В каждой галактике могут быть сотни миллиардов звезд. В нашей галактике Млечный Путь содержится, по разным оценкам, от 100 до 400 миллиардов звезд.

Все, о чем шла речь до этого, относится к космологии – разделу астрономии, изучающему Вселенную как целый объект, ее фундаментальную структуру и эволюцию во времени. Что касается менее масштабных объектов исследования, строение различных небесных тел и физические процессы, происходящие в них, изучает астрофизика.

Недра звезд – это своего рода термоядерные печи, плавильни, где идут реакции термоядерного синтеза, в которых атомные ядра более легких химических элементов в условиях высокой плотности и гигантских температур сливаются друг с другом и превращаются в атомные ядра более тяжелых элементов. Жизнь звезды – это вечное противостояние между силой тяжести, которая стремится сжать звезду, и силами газового и лучистого давления. Последние направлены наружу от центра звезды и, не будь гравитации, превратили бы звезду в облако разреженного газа. На протяжении большей части времени, пока в звезде идут термоядерные реакции, ни одна из сил не может победить окончательно, а размер и масса звезды существенно не меняются – звезда находится в состоянии равновесия. Поддерживает это равновесие энергия, выделяющаяся в ходе термоядерных реакций, а ее излишки покидают звезду в виде излучения.

Все звезды разные, они отличаются друг от друга размером, температурой и светимостью. В начале XX века двое ученых, Эйнар Герцшпрунг и Генри Норрис Рассел, практически одновременно предложили способ систематизировать все это разнообразие. То, что они представили научному обществу, с тех пор называется «диаграмма Герцшпрунга – Рассела» (см рис. 3). По оси абсцисс ( $x$ ) на этой диаграмме отложена температура видимой поверхности звезды, а по оси ординат ( $y$ ) – светимость (количество энергии, излучаемое звездой за одну секунду). Каждой звезде во Вселенной соответствует свое место на этой диаграмме. Герцшпрунг и Рассел заметили, что если нанести известные им звезды на диаграмму, то они не заполняют ее пространство равномерно, а локализуются в трех областях. Вдоль диагонали лежат звезды так называемой главной последовательности: от горячих и ярких голубых гигантов в верхнем левом углу до тусклых и холодных красных карликов<sup>4</sup>. В верхнем правом углу сгруппировались красные гиганты и сверхгиганты, а в левом нижнем – белые карлики.

<sup>3</sup> Градус Кельвина (К) равен по величине градусу Цельсия (°C). Разница лишь в том, что принимается за ноль в этих двух системах измерения температур. В системе Цельсия это точка замерзания воды при нормальном давлении, а в системе Кельвина – минимальная температура, которую может иметь физическое тело. Таким образом, 0 °C соответствуют 273 К.

<sup>4</sup> Цвет звезды зависит от ее температуры. Самые горячие звезды светят преимущественно в бело-голубых тонах, а самые холодные – в красных.

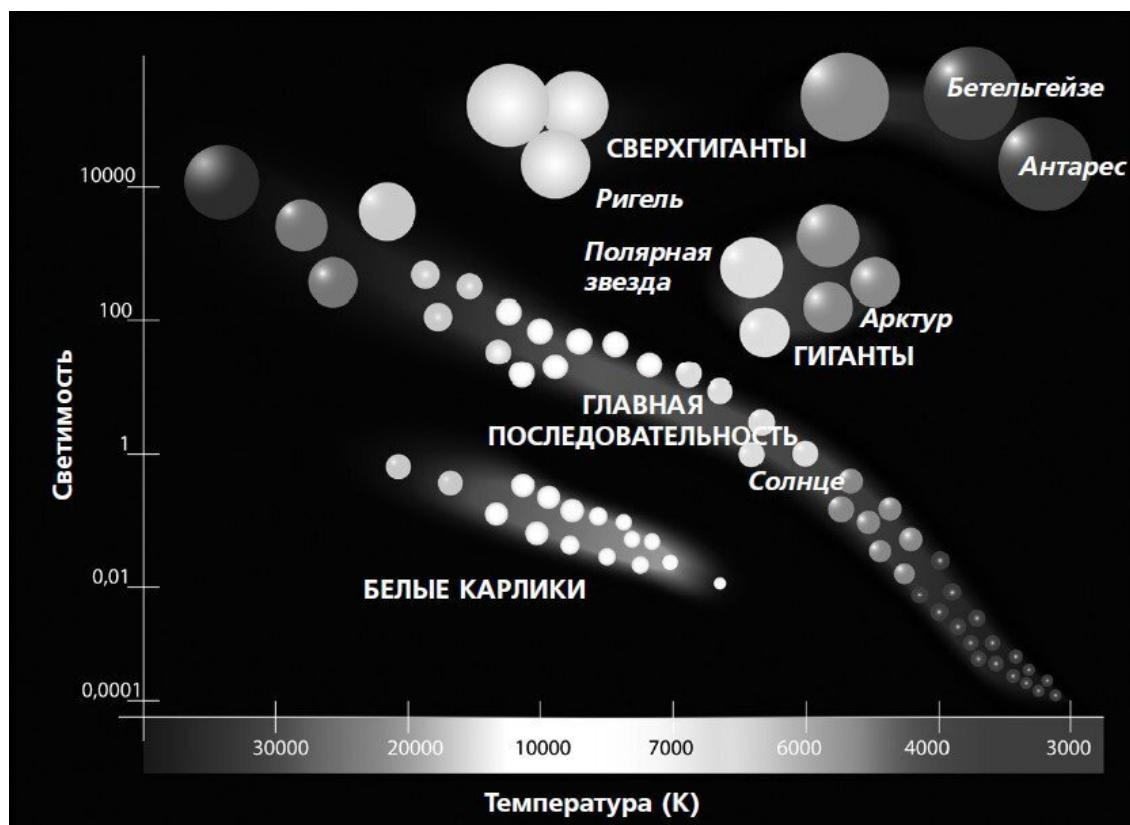


Рисунок 3. Диаграмма Герцшпрунга – Рассела

Диаграмма Герцшпрунга – Рассела интересна также тем, что позволяет увидеть основные этапы жизни звезды. Как только звезда образуется, она попадает на главную последовательность, в место, определяемое ее массой (чем больше масса звезды, тем она ярче). На главной последовательности она находится большую часть своей активной жизни. Например, наше Солнце – типичная звезда главной последовательности, половина жизни которой уже прошла. Постепенно, когда у звезд заканчивается водород, им становится труднее генерировать энергию, гравитационная энергия превращается в тепловую, запускаются реакции синтеза гелия. В течение этого времени звезды сходят с главной последовательности, раздуваются и краснеют, превращаясь в красных гигантов или красных сверхгигантов. Постепенно весь доступный внутри звезды гелий заканчивается, и начинаются реакции синтеза углерода. Дальнейшая судьба звезд зависит от их массы.

Одним звездам, массой до 8–10 масс Солнца, уготовано долгое и безмятежное угасание. Температура в центре таких звезд не сможет повыситься настолько, чтобы запустились реакции горения углерода и синтеза более тяжелых элементов. Гравитация постепенно побеждает, и звезда медленно сжимается в размерах до тех пор, пока не становится белым карликом – объектом, радиус которого не превышает несколько радиусов Земли. В нем уже не идут ядерные реакции, и его светимость в десятки тысяч раз меньше светимости Солнца. На диаграмме Герцшпрунга – Рассела белые карлики локализованы в нижнем левом углу.

Конец жизни других звезд, с большими массами, грандиозен. В их недрах вслед за синтезом углерода начинаются реакции синтеза более тяжелых элементов, что продолжается вплоть до образования железа, но дальше реакции ядерного нуклеосинтеза внутри звезды идти не могут – это принципиальный момент, и никакие температуры не способны это изменить. Когда образуется железное ядро, давление и температура внутри него начинают расти и достигают таких значений, что протоны и электроны сливаются вместе, превращаясь в нейтроны. В этот момент, длящийся считанные секунды, гравитация побеждает окончательно. Нейтронное ядро

коллапсирует, а вслед за ним сами на себя обрушиваются и верхние слои звезды. Удар получается настолько сильным, что после этого слои отскакивают обратно в космос. Высвобождается огромное количество энергии. На короткое время светимость звезды становится сравнимой со светимостью всех звезд Галактики. Этот взрыв называется «сверхновая звезда». После вспышки сверхновой звезды на ее месте образуется нейтронная звезда (как видно из названия, звезда эта состоит в основном из нейтронов) – ее типичный диаметр всего полтора десятка километров.

При взрывах сверхновых происходит и еще кое-что очень важное – вместе с гигантским количеством энергии в пространство выбрасываются неиспользованный водород с внешних оболочек звезд и образовавшиеся в процессе термоядерного синтеза химические элементы. Более того, во время этого взрыва образуются самые тяжелые химические элементы – те, которые имеют большую атомную массу, чем у железа, и образование которых в недрах звезд невозможно. Взрывы сверхновых формируют красивые туманности, и из их вещества могут рождаться звезды следующего поколения со своими планетными системами. Солнце – звезда третьего поколения, и это означает, что материал, из которого оно состоит, побывал в ядерных топках двух звезд.

Астрономы разделили все звезды главной последовательности на семь классов – *O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K* и *M* – в зависимости от особенностей их цвета<sup>5</sup>. Так, классу *O* соответствуют звезды голубого цвета, они самые горячие, с температурой 30 000–60 000 К и массой от 16 масс Солнца, а к классу *M* – холодные красные звезды массой в десятые доли масс Солнца. Само Солнце относится к классу *G* и по этой классификации считается желтым карликом.

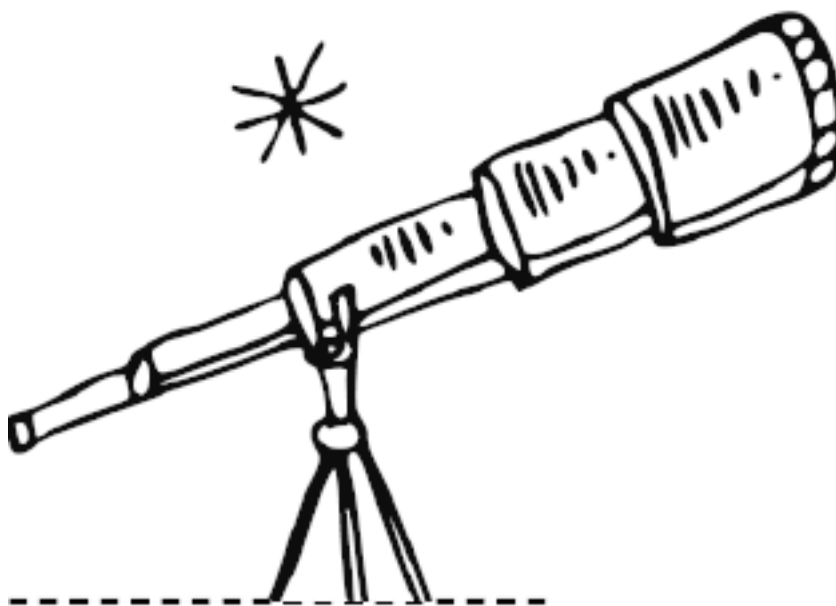
Звезды эволюционируют с разной скоростью, которая зависит прежде всего от массы звезды. Чем больше звезда, тем меньше она будет жить. Это кажется контринтуитивным, но все встает на свои места, если вспомнить, что термоядерные реакции идут лишь в центре звезды, в области, размер которой зависит от внутреннего давления в звезде. Чем более массивна звезда, тем с большей скоростью вещество переплавляется в ее ядре и тем быстрее она эволюционирует. Так, самые массивные звезды главной последовательности живут от нескольких миллионов до пары десятков миллионов лет. Старея и все больше увеличивая свою светимость и температуру, они никогда не позволят развиваться углеродной жизни на любой из своих планет. Звезды солнечного типа, желтые карлики, существуют на главной последовательности около 10 миллиардов лет, пока у них в ядре не закончится водородное топливо и они не станут красными гигантами. Когда это произойдет с Солнцем, примерно через 4,5 миллиарда лет, оно увеличится в размерах настолько, что поглотит Меркурий, Венеру и, возможно, даже Землю. Красные карлики живут до 10 триллионов лет.

Итак, сегодня мы неплохо понимаем эволюцию материи в нашей Вселенной – эволюцию галактик, межзвездного газа и самих звезд. Но повествование в этой книге сосредоточено на планетах и экзопланетах. До недавнего времени единственной планетной системой, о которой мы знали хоть что-то, была наша Солнечная система. Она состоит из восьми планет, пяти карликовых планет и бесчисленного числа малых тел, таких как астероиды, транснептуновые объекты и кометы. В Солнечной системе выделяют три зоны. Первая зона – каменные планеты. Их еще называют внутренними планетами Солнечной системы или планетами земной группы. Это Меркурий, Венера, Земля и Марс. Земля самая тяжелая и большая из этих планет. Вторая зона состоит из газовых и ледяных гигантов, в противовес внутренним планетам их называют внешними планетами Солнечной системы. Их тоже четыре: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Масса самой легкой из этих планет, Урана, в 14,6 раз больше массы Земли, а масса самой

---

<sup>5</sup> На самом деле классификаций звезд больше, а приведенную в тексте можно легко запомнить по мнемоническому правилу «Один Бритый Англичанин Финики Жевал, Как Морковь».

тяжелой, Юпитера, превосходит массу Земли более чем в 317 раз. Первую и вторую зоны разделяет Главный пояс астероидов.



За орбитой Нептуна начинается третья зона – пояс Койпера, область пространства, «населенная» миллионами небольших каменно-ледяных объектов самых разных размеров, вплоть до объектов размером с Плутон (а может, и более крупных). В поясе Койпера находится четыре из пяти карликовых планет Солнечной системы: Плутон, Хаумеа, Макемаке и Эрида. Единственная карликовая планета, расположенная не там, а внутри орбиты Нептуна, – Церера. Радиус карликовых планет не превышает 1 000 км. Считается, что за поясом Койпера простирается облако Оорта – сферическая область пространства, которая служит источником посещающих внутренние части Солнечной системы долгопериодических комет. Вот, собственно, и все – довольно просто, не так ли?

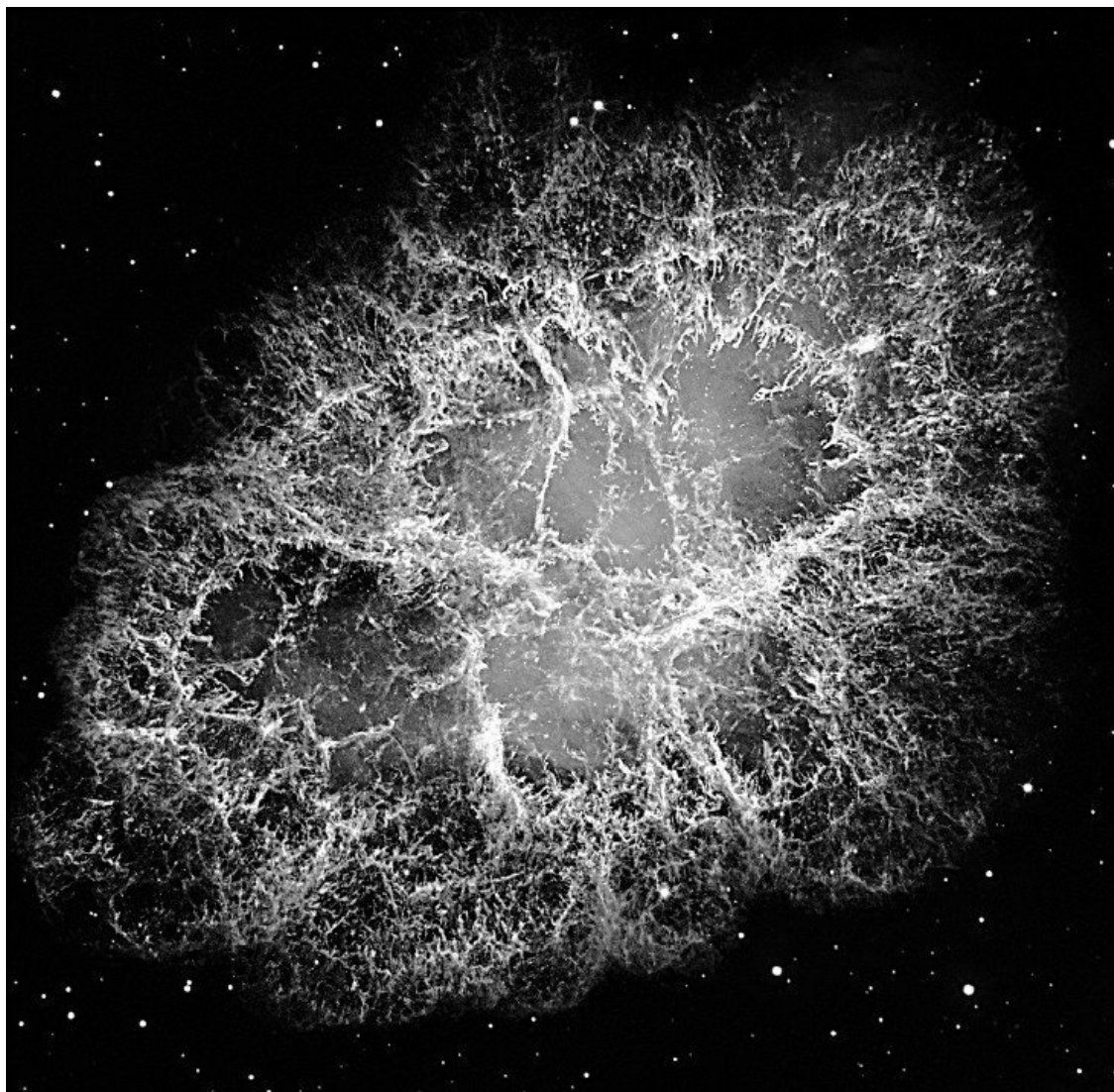
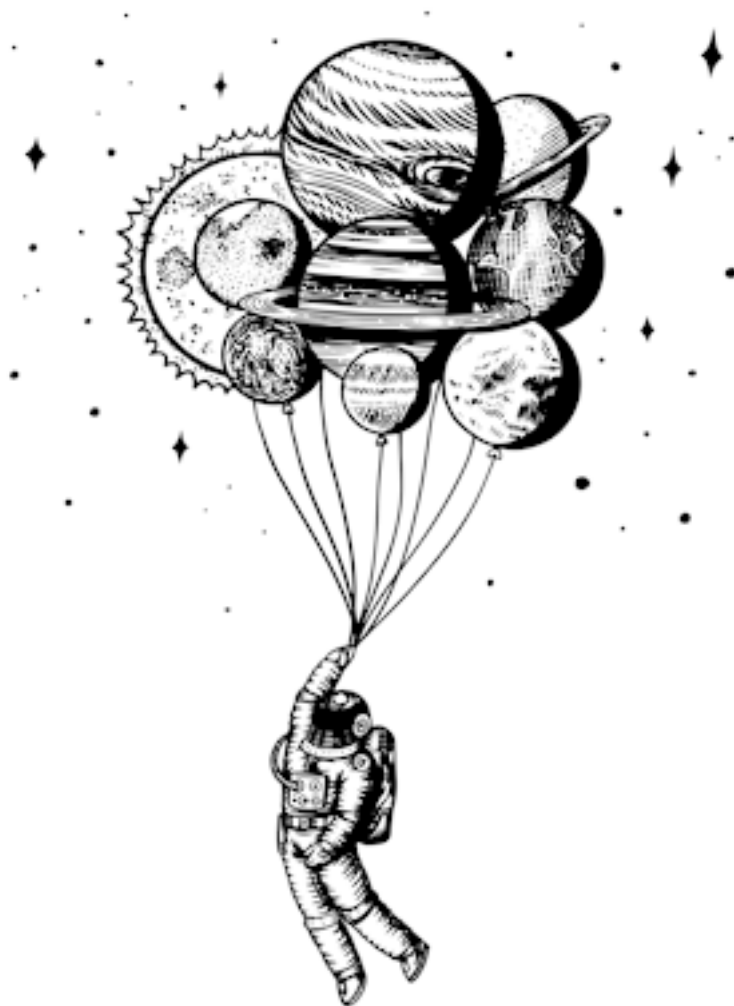


Рисунок 4. Мозаичное изображение крабовидной туманности, составленное из 24 снимков, сделанных телескопом «Хаббл»

Последнее, о чем стоит упомянуть перед тем, как мы пойдем дальше, это определение масс и расстояний. На Земле для измерения этих величин мы пользуемся граммами и метрами. Эти единицы измерения выбраны из соображений удобства, нам хочется, чтобы все, с чем мы имеем дело, измерялось в чем-то, что можно посчитать, причем желательно должно хватить пальцев на обеих руках. В граммах и килограммах удобно измерять массу продуктов питания, а в метрах и километрах – расстояние от одного дома до другого. Однако массы и расстояния в космосе настолько огромны, что привычные нам единицы измерения перестают быть информативными. Интуитивно разница между триллионом и квинтиллионом километров совершенно не ощущается, ведь такие цифры в обычной жизни не встречаются. И потому астрономы часто используют специальные единицы. Массу планет принято измерять в массах Земли или Юпитера. Значки для них следующие:  $M_{\oplus}$  и  $M_J$  соответственно. Массы звезд измеряются в массах Солнца ( $M_{\odot}$ ). Для определения величины радиусов планет и звезд используют, как вы уже догадались, радиусы Земли ( $R_{\oplus}$ ) и Солнца ( $R_{\odot}$ ). Но даже это мелочи по сравнению с межпланетными и межзвездными расстояниями. Радиусы орбит планет принято измерять в астрономических единицах. Одна астрономическая единица (1 а. е.) равна среднему расстоянию от Земли до Солнца, что составляет примерно 150 миллионов километров. Между звезд

дами расстояния в сотни тысяч и миллионы раз больше, поэтому для того, чтобы сказать, как далеко от нас расположена, к примеру, Проксима Центавра – ближайшая к Солнцу звезда, – обычно используются световые годы (да, это мера расстояния!) и парсеки (пк). Световой год (св. год) равен пути, который свет проходит за один год, то есть примерно 9,5 триллиона километров, а в одном парсеке содержится 3,26 св. года. В этих единицах расстояние от Солнца до Проксимы Центавра составляет 4,24 св. года, или 1,3 ПК. Диаметр Млечного Пути равен 100 000 св. лет. Перевести в километры можете на досуге сами<sup>6</sup>.



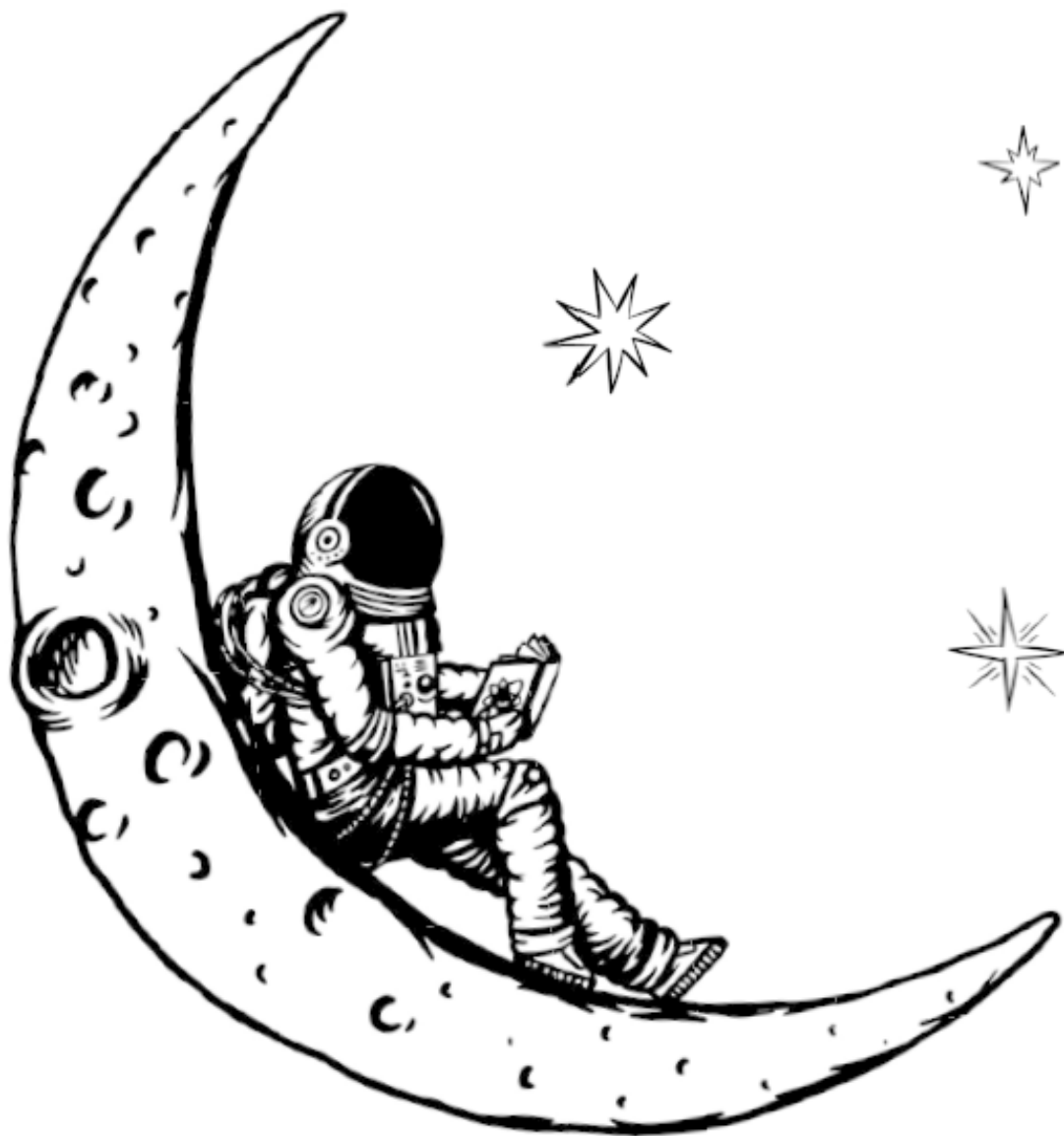
---

<sup>6</sup> Если однажды капитан Джеймс Кирк предложит вам прокатиться на «Энтерпрайзе» по какой-нибудь галактике, хорошо подумайте, перед тем как взойти на борт этого корабля, имеющего максимальную скорость всего 9 000 скоростей света!

## Глава 2. Астероиды и формирование планетных систем

*Я видел дальше других только потому, что стоял на плечах гигантов.*

**ИСААК НЬЮТОН**



Утром 15 февраля 2013 года жители Города слышали громкий рев с неба. Казалось, небеса разверзлись и вот-вот появится знамение, которое точно не будет предвещать ничего хорошего. Кто-то решил, что началась война и в небо уже взмыли военные самолеты, а кто-то подумал об аварии на одном из расположенных в Городе промышленных заводов. Между тем по небу двигался огромный огненный шар, а за ним тянулся шлейф черного дыма. Это был метеорит – заплутавший астероид, завершавший свое долгое космическое путешествие. Вдруг раздался громкий взрыв, и наблюдателей ослепила яркая белая вспышка. Тени домов скользнули по тротуарам и исчезли. Цвет вспышки мгновенно пожелтел, а затем потемнел до оранжевого. Позже выяснится, что на высоте 15 км астероид не выдержал сопротивления

атмосферы и разрушился на тысячи мелких осколков. Не одну неделю жители Города и ученые будут искать в его окрестностях оставшиеся от метеорита железные капли.

Подлетая к Земле, астероид был диаметром 20 м и весил 13 000 т. Взрыв высвободил энергию, которая сейчас оценивается в 450–500 кт в тротиловом эквиваленте, что почти в 30 раз превышает мощность атомных бомб, превративших Хиросиму и Нагасаки в радиоактивный щебень. Ударная волна, поразившая Город, существовала 32 с, обернувшись бесконечностью для его жителей. Прокатившись по городу, она выбила окна в квартирах и офисах, разбила семейные сервизы, тысячи людей пострадали от острых осколков, многие попали в больницы. Люди с ужасом стояли и смотрели в небеса, а по всему Городу были автомобильные сирены, мобильные сети не работали, матери не могли дозвониться до своих детей, а те – до родителей. В истории это событие сохранилось как падение Челябинского метеорита.

Астероиды – это каменные глыбы неправильной формы, вращающиеся вокруг Солнца. Размер астероидов мал для того, чтобы они считались планетами, а от комет их отличает отсутствие большого количества льда на поверхности и круглые орбиты. В любую безоблачную ночь вы можете увидеть пронзающие атмосферу «падающие звезды» – это метеоры. Так называют обломки астероидов, которые полностью сгорают при попадании в атмосферу планеты. Метеоритами именуют те части небесных тел, которые достигли поверхности планеты, не разрушившись полностью.

Челябинску, конечно, повезло: будь астероид чуть крупнее или войди он в атмосферу под другим углом, от города могли бы остаться только руины. Челябинский метеорит очень наглядно показал, насколько человечество слабо и незащищено перед силами природы. Если извержения вулканов и наводнения мы порой способны предсказать и заранее эвакуировать людей, то метеорит может упасть в любую минуту, даже сейчас, в любую точку нашей планеты.

Несмотря на то что астероиды представляют собой потенциальную угрозу, эти тела могут рассказать нам много интересного о Солнечной системе. Пока я пишу эти строки, несколько космических аппаратов исследуют околоземные астероиды. Например, с июня 2018 года японский аппарат «Хаябуса-2» изучает астероид Рюгу, а 31 декабря 2018 года американский аппарат *OSIRIS-REx* вышел на орбиту вокруг астероида Бенну. Он уже обнаружил кое-что интригующее: выбросы частиц с поверхности астероида – как будто там взрываются гейзеры<sup>5</sup>, но однозначного объяснения причин этого явления пока нет. «Хаябуса-2» уже взял образцы астероидного вещества, а *OSIRIS-REx* еще только готовится это сделать. В 2020-х годах аппараты доставят грунт на Землю для более тщательного исследования в лабораториях.

До недавнего времени изучение астероидов ограничивалось лишь теми из них, которые попали на Землю в виде метеоритов. Метеоритное вещество находят повсюду. В Москве, в Институте геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского, например, хранится одна из самых крупных коллекций метеоритного вещества в мире. Здесь можно увидеть такие метеориты, как *Ensisheim* – первый зарегистрированный в мировой истории метеорит, упавший во Франции в 1492 году; Бородино – метеорит, упавший накануне Бородинского сражения в расположение русских частей; *Weston* – метеорит, узнав о котором президент США Томас Джефферсон заметил: «Легче поверить в то, что два профессора-янки врут, чем в то, что камни падают с неба»<sup>7</sup>; и конечно же, осколки Челябинского метеорита и многих других.

Мы можем исследовать астероиды не только после того, как они попали на Землю и стали метеоритами, или после того, как образцы их вещества были доставлены на Землю космиче-

<sup>7</sup> Свидетелем падения метеорита *Weston* в 1807 году в штате Коннектикут (США) стал некий судья Уиллер. Он сообщил об этом событии в Йельский университет, и к расследованию необычного происшествия приступили два уважаемых и скептически настроенных профессора. Они нашли осколки метеорита и не могли взять в толк, что это и как сюда попало. В конце концов им осталось признать, что «должно быть, камни упали с неба». История дошла до Белого дома, но Томас Джефферсон, в то время президент США, не поверил выводам судей, заявив: «*Gentlemen, I would rather believe that two Yankee professors would lie than believe that stones fall from heaven*».

скими аппаратами. Для изучения состава космических объектов астрономы используют спектральный анализ. Весь свет, который мы можем регистрировать измерительными инструментами или своими глазами, отраженный или излученный, можно разложить на пучки света с одинаковыми длинами и частотами волн<sup>28</sup>. Частота и длина волны обратно пропорциональны друг другу: чем больше длина волны, тем меньше частота. Пучки света с одинаковой длиной волны воспринимаются нами как имеющие определенный цвет: красный, синий, желтый и так далее. На уроках физики свет обычно раскладывают по длинам волн с помощью призмы, а в природе порой после дождя мы видим радугу – такое же разложение солнечного света. Чем больше длина волны (и меньше частота) в рассматриваемых нами пучках света, тем соответствующий им цвет ближе к красному концу радуги, чем длина волны короче (и больше частота) – тем ближе к фиолетовому. Но как за красным, так и за фиолетовым краем свет не перестает существовать – просто человеческий глаз уже не способен его увидеть. За красным, в сторону увеличения длины волн (и уменьшения частоты), идет сначала инфракрасное излучение, а затем микроволновое и радиоизлучение. За фиолетовым концом цветовой шкалы, в сторону уменьшения длины волн, следуют ультрафиолетовое, рентгеновское, и гамма-излучение. Таким образом, видимый свет – это лишь узкая полоска в куда более широком диапазоне частот электромагнитного излучения.

Но помимо того что свет имеет определенную частоту, он обладает и определенной интенсивностью, которую в каком-то смысле можно понимать как количество фотонов той или иной частоты в воспринимаемом луче света. Например, чем больше интенсивность красного цвета в луче, тем более красным мы будем видеть свет. Совокупность всех длин волн света и соответствующих этим длинам волн интенсивностей называется электромагнитным спектром. Наука, занимающаяся изучением спектров различных веществ, называется спектроскопией; приборы, с помощью которых исследуют спектры объектов, – спектрометрами.

Существованием спектроскопии мы обязаны тому факту, что атомы разных веществ по-разному взаимодействуют со светом: некоторые атомы поглощают частоты, а некоторые – отражают. Когда определенная частота падающего излучения поглощается, в спектре – в месте, соответствующем отсутствующей частоте, – появляется черная линия поглощения. Расположение и количество этих линий говорит о химическом составе вещества, а их интенсивность – о концентрации тех или иных атомов. Например, уже полученный спектр света, отраженного от поверхности астероида Рюгу, показывает, что его химический состав близок к составу первичного вещества Солнечной системы. Это означает, что в Рюгу буквально заморожены частицы пыли, которые остались с тех времен, когда около Солнца еще не было планет, а был лишь огромный газопылевой протопланетный диск. Анализ спектров используется не только в астрофизике, но лишь в астрофизике он имеет такое важное значение. По сути, большинство наших знаний о Вселенной так или иначе связано с анализом спектров космических объектов.

---

<sup>28</sup> Частота волны – это число колебаний в единицу времени (например, за 1 секунду). Для звуковых волн увеличение частоты приводит к росту высоты звука.



Рисунок 5. Фотография ядра кометы Чурюмова – Герасименко, полученная бортовой камерой «Розетты»

Космические аппараты побывали уже на всех типах тел Солнечной системы. Недавно состоялась историческая посадка на комету. В 2014 году спускаемый модуль «Филы» космического аппарата «Розетта» успешно приземлился на поверхность ядра кометы Чурюмова – Герасименко. Ему немного не повезло: при посадке он оказался в зоне тени и не смог пополнить заряд аккумуляторов с помощью солнечных панелей. Однако на том заряде, что у него был, «Филы» успел собрать и передать на Землю данные, полученные встроенными в него научными приборами, выполнив тем самым основную часть своей миссии.

Успехи в таких невероятно сложных миссиях, как «Розетта», «Хаябуса-2», *OSIRIS-REx*, очень важны, поскольку они означают, что человечество обладает технологиями и умениями, необходимыми для исследования далеких космических объектов. По этим миссиям истории будущего будут изучать нашу космическую экспансию.

Сложность каждой миссии можно оценить хотя бы по следующему описанию. Буквально через месяц после того, как «Филы» перешел в режим энергосбережения, к астероиду Рюгу отправилась «Хаябуса-2». Большая полуось орбиты астероида Рюгу равна 1,18 а. е. Из-за значительного эксцентриситета (степень вытянутости) орбиты в перигелии Рюгу оказывается внутри орбиты Земли, а в афелии<sup>9</sup> – дальше Марса. Таким образом, «Хаябуса-2», прежде чем достигла цели, пролетела 3,2 миллиарда километров (почти 21,5 а. е.) за 3,5 года! Это больше, чем расстояние от Солнца до Урана.

---

<sup>9</sup> Перигелий – ближайшая к Солнцу точка орбиты небесного тела, а афелий – самая дальняя.

Почему же «Хаябуса-2» летела так долго и преодолела такое значительное расстояние? Из геометрии мы знаем, что самый короткий путь между двумя точками – прямая. На Земле путь по прямой оказывается чаще всего и самым быстрым. Но если дорогу вам преграждает, скажем, гора, гораздо меньше сил и энергии вы затратите, если эту гору обойдете, нежели если будете карабкаться по ней вверх, а потом вниз. Часто вы выбираете обходной путь, даже если на него требуется больше времени. Примерно так же рассуждают инженеры, только для них затраченная на доставку космического аппарата к астероиду энергия конвертируется в топливо, а в конечном счете – в деньги.

Для того чтобы достигнуть небесного тела наикратчайшим путем – по прямой, – космическому аппарату потребуются очень большие запасы топлива, и обойдется это невероятно дорого. В целях экономии инженеры максимально используют гравитационные маневры. Суть этих маневров состоит в том, чтобы за счет своевременного включения двигателей аппарат мог «оттолкнуться» от массивного тела, такого как планета, и изменить свою орбиту на более подходящую, затратив при этом минимальное количество топлива. Обычно гравитационные маневры совершаются в перицентре орбиты аппарата вокруг массивного тела<sup>10</sup>. В этой точке аппарат имеет наибольшую скорость, и даже малое ускорение может кардинальным образом изменить его орбиту. Перемещаясь с орбиты на орбиту с помощью таких маневров, космические аппараты успешно путешествуют по Солнечной системе. Однако каждый оборот на промежуточной орбите может занимать годы, что сильно увеличивает длительность полета. «Хаябуса-2» во время своего путешествия совершила один гравитационный маневр возле Земли и трижды ускорила, сменив три орбиты.

Помимо дистанционного исследования Рюгу с помощью бортовых камер и научных приборов, «Хаябуса-2» сбросила на астероид четыре небольших мобильных модуля, которые успешно достигли его поверхности. Таким образом, «Хаябуса-2» стала первым космическим аппаратом, спускаемые модули которого совершили посадку на астероид<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Замкнутые орбиты всех небесных тел (и искусственных спутников) имеют форму эллипса, в одном из фокусов которого обычно находится массивное тело. Ближайшая к этому телу точка орбиты другого тела или спутника называется перицентром, а самая дальняя – апоцентром.

<sup>11</sup> На самом деле еще в 2001 году космический аппарат *NEAR Shoemaker* совершил первую успешную мягкую посадку на астероид Эрос, но она была импровизацией команды управления. Главная задача аппарата состояла все же в выходе на орбиту вокруг астероида.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.