

The background of the entire cover is a vibrant cosmic scene. It features a bright yellow sun in the upper right, with rays of light extending across the frame. Several planets are visible: a large, cratered planet in the top left, a smaller dark planet in the top center, and a large planet with a blue and white atmosphere in the bottom left. The space is filled with stars and nebulae, creating a sense of depth and wonder.

УДИВИТЕЛЬНАЯ

СОЛНЕЧНАЯ

СИСТЕМА

Александр Громов

СОВРЕМЕННАЯ  
НАУКА О МИРЕ  
ВОКРУГ НАС

**Александр Николаевич Громов**  
**Удивительная**  
**Солнечная система**  
**Серия «Популярная наука»**

*Текст предоставлен правообладателем*

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=3297765](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=3297765)*

*Удивительная Солнечная система / Александр Громов.: Эксмо; Москва;  
2012*

*ISBN 978-5-699-55311-2*

### **Аннотация**

Солнечная система – наш галактический дом. Она останется им до тех пор, пока человечество не выйдет к звездам. Но знаем ли мы свой дом? Его размеры, адрес, происхождение, перспективы на будущее и «где что лежит»? Похоже, что мы знаем наш дом недостаточно. Иначе не будоражили бы умы открытия, сделанные в последние годы, открытия подчас удивительные и притом намекающие на то, какую прорву новых знаний мы должны обрести в дальнейшем. Уже в наше время каждая новая книга о Солнечной системе устаревает спустя считанные годы. Очень уж много информации приносят телескопы и межпланетные аппараты. Сплошь и рядом астрономические исследования и даже эксперименты кардинально меняют старые представления о том закоулке Галактики, где мы имеем

удовольствие жить. Цель этой книги – дать читателю современное представление о Солнечной системе как части Галактики.

# Содержание

От автора	5
1. От истоков	13
2. Рождение Солнца	46
Конец ознакомительного фрагмента.	55

# Александр Громов

## Удивительная Солнечная система

### От автора

Несколько лет назад была издана книга «Вселенная. Вопросы больше, чем ответов»<sup>1</sup>, написанная мною в соавторстве с астрофизиком и космологом А. Малиновским. Поскольку книга была тепло встречена читателями, уже тогда возникла мысль написать еще одну популярную книгу, посвященную не «астрономии вообще», а какому-либо ее разделу. Ведь втиснуть всю информацию о Вселенной в книгу конечного объема попросту невозможно, и тем более это немыслимо в рамках объема книги, пригодной для сложившейся книжной серии. Некогда теме «астрономии вообще» были посвящены замечательные, но, увы, устаревшие книги Фламмарiona и Воронцова-Вельяминова – так вот, объем нашей книги поневоле оказался в два с лишним раза меньше, хотя объем астрономических знаний человечества вырос с той поры колоссально. При этом перед нами стояла задача

---

<sup>1</sup> Издавалась также под названием «Вселенная. Полная биография». – *Примеч. авт.*

рассказать о сложном просто и по возможности живым языком, что тоже требует места на страницах. Выход был только один: «рубить хвосты» и говорить о многом вкратце, а кое-что и вовсе опускать. Нам пришлось пожертвовать переменными и вспыхивающими звездами, экзопланетами, резонансными явлениями в Солнечной системе, развенчиванием некоторых лженаучных сенсаций и так далее. «Нельзя объять необъятное», – справедливо утверждал Козьма Прутков. Он же дал дельный совет насчет фонтана, и мы ему последовали.

Теперь попробуем разобраться с нашим космическим домом, понимая под ним не только Землю, но и всю Солнечную систему.

Должен сразу предупредить: автор этой книги не профессиональный астроном, а любитель астрономии, по основной же профессии – писатель-фантаст. Из этого не следует, что я намерен выдумывать небылицы, вместо того чтобы излагать реально имеющиеся сведения о Вселенной, – тут просто другой жанр. Поверьте, и фантасту иногда хочется отдохнуть от необходимости выдумывать странное, благо, в астрономии странных явлений навалом. Часто они обнаруживаются там, где никто их не ждет.

Ну вот и вся преамбула. Перейдем теперь к теме книги. Солнечная система? А что, это так уж жгуче интересно? Вопрос законный. Он наверняка возникнет у многих читателей, особенно тех, кто более или менее в курсе недавних

открытий, сделанных в астрофизике и космологии и перевернувших старые представления о том глобальном мире, в котором нам выпало жить. Наша Вселенная странна и завораживает умы пытливых землян именно странностью. В течение всего двух-трех десятилетий выяснилось, что мы попросту не знаем глобальных законов Вселенной, законов, куда Общая теория относительности Эйнштейна входит лишь как частный случай – подобно тому как механика Ньютона годится лишь для описания процессов, протекающих при небольших скоростях и в достаточно слабых гравитационных полях. Еще не созданы разделы физики, позволяющие описать процессы, происходившие в первые мгновения после Большого взрыва; ничего нельзя сказать о породивших его причинах; сохраняется пока полная неясность относительно физической природы темной материи и темной энергии; не вполне понятны процессы внутри черных дыр; не установлено, сколько же все-таки пространственных измерений существует во Вселенной, верна ли теория суперструн и так далее. По сравнению с невообразимо грандиозными масштабами процессов, породивших нашу Вселенную и продолжающихся в ней по сей день, – ну что такое наша старая добрая Солнечная система? Казалось бы, мелочь, пустяк. В масштабах только нашей Вселенной (при том, что существуют, по-видимому, и другие вселенные, причем в количестве колоссальном) Солнце с окружающей его семьей планет, со всеми астероидами и кометами – даже не микроб на коже

слона, а нечто неизмеримо более ничтожное. Как упомянутому микробу безразличны ландшафты вокруг слона и отношения в слоновьем стаде, так и нам в общем-то не жизненно важны космологические процессы – ведь они не проявляют себя грубо и зримо в ничтожных масштабах окрестностей заурядной желтой звездочки, чьей энергией имеет удовольствие пользоваться все живое на Земле. Вот и остается по сути лишь одно – зато существенное – соображение: Солнечная система – наш дом, и это достаточная причина для того, чтобы интересоваться его архитектурой, изучать закоулки и любопытствовать насчет его истории и перспектив.

Пусть так. Но существует еще одна проблема, грозящая отравить жизнь популяризатору: считается, что Солнечная система к настоящему времени довольно хорошо изучена и уже лишена сколько-нибудь серьезных тайн. И хотя я надеюсь показать, что это, мягко говоря, немного не так (а кое в чем совсем не так!), проблема остается: книга о Солнечной системе грозит превратиться в чисто описательный курс, унылый до зевоты. Притом «еще один», ибо сведений о том или ином космическом теле предостаточно как в учебниках и справочниках, так и в Интернете.

Незачем плодить то, чего и без того много, – эту установку автор данной книги принял и намерен ее придерживаться. Чересчур въедливую детальность без целостности картины я полагаю безусловным злом. Разумеется, нельзя обойтись вовсе без конкретики, но я постараюсь не злоупотреблять ею.



Главная же цель этой книги – создать у читателя общее и по возможности целостное представление о нашем галактическом доме, Солнечной системе.

О галактическом доме сказано не для красного словца. Я глубоко убежден, что нельзя рассматривать Солнечную систему, так сказать, изолированно – вне связи с Галактикой и вообще Вселенной. Замкнуться внутри орбиты Плутона – примерно то же самое, что внимательно изучать в очень большой гостиной один лишь камин, принципиально игнорируя все остальное. К сожалению, именно этим грешат некоторые популярные книги по астрономии. А ведь Солнечная система не обнесена никаким забором – она открыта в Галактику. Из нее к нам приходят заряженные космические частицы, разогнанные до релятивистских скоростей, свет звезд и туманностей, нейтрино, межзвездные газ и пыль и, возможно, более крупные тела. Сквозь нее идут пока еще достоверно не обнаруженные, но несомненно существующие гравитационные волны, порождаемые катастрофическими процессами во Вселенной. В свою очередь, Солнечная система отдает вовне свет, порой «отпускает на волю» кометы, а также вносит свою скромную лепту в гравитационное и магнитное поле Галактики. Более того, уже несколько запущенных людьми космических аппаратов имеют такие скорости, что должны со временем выйти из преобладающего гравитационного влияния Солнца и продолжить вольный полет уже как самостоятельные галактические тела. Это ли

не достаточная причина для того, чтобы не считать Солнечную систему чем-то замкнутым вроде устричной раковины?

Наконец, сами границы Солнечной системы точно не определены, их можно провести лишь условно, и они мало-помалу меняются в связи с движением Солнца в Галактике. Можно ли в таком случае рассматривать Солнце и находящиеся под его гравитационным воздействием тела как некую изолированную систему? То есть, разумеется, можно, но такой подход кажется автору устаревшим и малопродуктивным. Он приведет лишь к повторению сведений, уже опубликованных тысячи раз, и доля новых открытий не сделает погоды. В мою же задачу входит сделать книгу по возможности интересной.

Поверьте пока на слово: есть научная поэтика и в областях астрономии, прямо не связанных с квазарами, великими аттракторами и темной материей. Интересное есть везде, «имеющий глаза да увидит».

Говоря о предшествующей литературе, я, разумеется, имел в виду достойные книги, в какой-то мере отражающие установленные факты и предлагающие вниманию читателя разумные гипотезы, а не расплывшуюся в последние десятилетия лженаучную писанину а-ля «Земля налетит на небесную ось». Серьезные популяризаторы астрономии обычно брезгуют не только вступать в полемику с изобретателями глупых сенсаций, но и упоминать их выдумки. Я не побрезгую.

Почему?

Потому что надеюсь показать: развенчивание выдумок чьего-то воспаленного ума – тоже подчас увлекательная задача, притом, полагаю, небесполезная. Например, совершенно удручает количество людей, подчас неглупых, но далеких от науки, которые с подачи СМИ на полном серьезе рассуждают, например, о страшном катаклизме, грозящем нам, когда ось вращения Земли внезапно сместится на десятки градусов – или когда выдуманная планета Нибиру учинит на Земле еще какой-нибудь катаклизм. Понимаю, тяжело муравью сдвинуть гору (а глубокомысленное невежество – еще какая гора!), но вовсе отказаться от этой задачи я не намерен. Будем же понемногу толкать упомянутую гору – или разгребать авгиевы конюшни, кому какая аналогия больше нравится.

Я также не намерен детально останавливаться на космических программах и описывать, какая АМС (автоматическая межпланетная станция) несет какую аппаратуру. Это привело бы к загромождению книги материалом, не слишком необходимым для основной ее цели. Читатели, интересующиеся технической стороной вопроса, должны будут поискать иные источники информации на книжных полках или в Интернете.

Материал этой книги будет частично пересекаться с соответствующими главами книги «Вселенная. Вопросов больше, чем ответов». Это неизбежно. Однако о многом будет

рассказано более подробно, и притом с привлечением сведений, добытых наукой лишь в самое последнее время.

Часть материала будет подана не в той последовательности, в какой она обычно излагается в научно-популярных книгах. Иногда это способствует лучшему пониманию.

Ну что ж, поле деятельности определено, методы работы намечены. Начали?

# 1. От истоков

Прежде чем начать рассказ об истории и предыстории Солнечной системы, полезно сказать несколько слов о развитии человеческих представлений о ней. Едва ли не для каждого народа древности понятие «Солнечная система» вообще отсутствовало как таковое за полной его ненужностью. Существовала Земля – плоский или чуть выпуклый диск, окруженный прозрачной (чаще всего хрустальной) полусферой с нанесенными на ее поверхность небесными светилами, или системой из нескольких полусфер, вложенных друг в друга. Омывался ли диск Океаном, стоял ли на спинах слонов или иных животных – тут разные народы допускали всевозможные фантазии<sup>2</sup>. Для древних – скажем, времен Гомера – греков такая конструкция Вселенной, напоминающая тарелку, накрытую миской, казалась вполне достаточной. Земной диск считался большей и главнейшей частью Вселенной, остальное шло к нему приложением. Но каковы размеры диска и где его центр?

Западный край диска был известен: Геркулесовы Столпы, то есть Гибралтар. До финикийцев, совершивших по приказу фараона Нехо плавание вокруг Африки, до фокейских мореплавателей, достигших западного побережья Пиренейско-

---

<sup>2</sup> В буддизме и индуизме существует весьма сложная космология, но не о ней сейчас речь. – *Примеч. авт.*

го полуострова, и уж тем более до знаменитого мореплавателя Пифея, добравшегося как минимум до Балтики и Скандинавии, еще оставалось несколько веков. Противоположным краем Земли считался Кавказ. Не зря Зевс приказал приковать строптивого титана Прометея именно к кавказской скале – подальше с глаз долой. О том, что Кавказ достаточно протяжен, греки, видимо, не очень задумывались.

Царь олимпийских богов Зевс не обладал всеведением и подчас был вынужден добывать сведения через эксперимент. Известен миф: однажды Зевс, томимый желанием узнать, где находится центр земного диска, приказал двум орлам лететь с противоположных его краев навстречу друг другу. С таким начальством, как Зевс, особо не поспоришь – орлам можно посочувствовать. Естественно, они должны были стартовать одновременно и выдерживать одинаковую скорость, но не это было главной проблемой. Откуда стартовать? Принять спущенные сверху «вводные» насчет Геркулесовых Столпов и Кавказа (вероятно, какой-либо его точки на побережье Каспия) – или попытаться открыть глаза на истинное положение вещей недалекому, но вспыльчивому громовержцу? В конце концов орлы поступили так, как часто и ныне поступают подчиненные, выполняя приказ могущественного, но некомпетентного босса, – сделали работу скрупулезно, а там хоть трава не расти. Встреча произошла над дельфийским святилищем Аполлона, и Зевс торжественно объявил, что центр Земли найден. Хихикали ли втихомолку орлы, о

том миф умалчивает.

Уже во времена греко-персидских войн, а тем паче походов Александра Македонского эллинам пришлось привыкнуть с мыслью о том, что даже Ойкумена (под которой подразумевалась обитаемая часть мира) гораздо более обширна, чем представлялось прадедам. Вселенная, естественно, получалась еще больше. Общение некоторых греческих философов с египетскими жрецами привело к распространению идеи о шарообразности Земли. Существенно более древняя, нежели греческая, древнеегипетская цивилизация прилежно собирала и хранила знания, в том числе географические и астрономические, чему способствовали как многочисленность и ученость жреческой касты, так и многие столетия относительно спокойного развития страны. Наблюдения затмений Луны, а также принципиальная схожесть затмений солнечных и лунных неминуемо должны были подвигнуть внимательного наблюдателя (имеющего перед собой к тому же описания многих предшествующих аналогичных явлений) именно к представлению о том, что Земля – шар.

Великому географу Эратосфену Киренскому на рубеже III–II веков до н. э. удалось даже измерить его размеры. Как он это сделал? Слово автору интересной книги «Занимательная Греция» М.Л. Гаспарову:

«На юге Египта был город Сиена – ныне Асуан, где стоит большая нильская плотина. Сиена лежала как раз на северном тропике: раз в году, 22 июня, солнце в полдень стоя-

ло там в зените, и предметы не отбрасывали тени. (Путешественники нарочно приезжали в Сиену посмотреть на такую диковину.) Этим и воспользовался Эратосфен. Александрия была севернее, там от предметов и в этот день падали тени. Эратосфен измерил, под каким углом они падают, — получилось семь с лишним градусов, одна пятидесятая часть окружности. Следовательно, заключил Эратосфен, расстояние по суше между Сиеной и Александрией равняется одной пятидесятой части всей окружности земного шара. Расстояние это у египтян считалось равным 5 тысячам стадиев, то есть около 800 км (египетский стадий был немного короче обычного). Следовательно, окружность Земли была в 50 раз больше — около 40 тыс. км.

Точно это или неточно? Две тысячи лет спустя, накануне французской революции, французские астрономы сделали такое же измерение у себя во Франции и получили окружность Земли ровно в 40 тыс. км. (говорю «ровно», потому что именно от этого измерения пошла наша нынешняя единица «метр»: она равна «одной сорокамиллионной парижского меридиана».) Точность Эратосфенова измерения изумительна. Это одна из самых славных побед античной науки».

Трудно, впрочем, быть уверенным в том, что измерение земного шара, выполненное Эратосфеном, было хронологически первым. Скорее нет, чем да. Во всяком случае, великий астроном античности Евдокс Книдский в начале IV века



до н. э. уже не сомневался в шарообразности Земли, а раз не сомневался, то, вероятно, пытался вычислить ее размеры тем или иным путем<sup>3</sup>.

В сцене из «Тайс Афинской» И.А. Ефремова, где Лисипп рассказывает Тайс о Евдоксе и его вычислениях, куда больше реализма, чем фантастики. Также кажется правдоподобной сцена из романа «Фараон» Б. Пруса, где выдуманный автором жрец сообщает о шарообразности Земли выдуманному фараону. Персонажи-то вымышленные, зато в высоком (по тем временам) уровне их знаний нет ничего удивительного.

Тем не менее вплоть до Коперника во взглядах астрономов торжествовал наивный геоцентризм. Плоская или шарообразная, Земля все равно помещалась в центре Вселенной и была окружена некоторым количеством концентрических прозрачных сфер. Неизвестно, был ли Евдокс Книдский первым, кто предложил систему эпициклов для объяснения движения Солнца, Луны и планет, но идея прижилась. Суть ее проста. Какие бы зигзаги и петли ни выписывало какое-либо светило на небе, основное его (светила) движение все-таки круговое, а зигзаги и петли можно представить опять-таки как круговые движения, накладывающиеся на основное. Представим себе колесо, на ободе которого расположена ось другого, меньшего колеса, а на ободе этого меньшего колеса – светило. Колес может быть больше, к тому же в реальности

---

<sup>3</sup> К сожалению, этого нельзя утверждать наверняка, поскольку наши сведения о жизни и деятельности Евдокса Книдского весьма скудны. – *Примеч. авт.*

это не колеса, а сферы – сути простейшей модели это не меняет. Для объяснения всех видимых движений Евдоксу понадобилось 27 сфер: одна для «неподвижных» звезд, по три для Солнца и Луны и по четыре для каждой из планет.

В целом получилось удовлетворительно – для первого раза. Калиппу, ученику Евдокса, для объяснения тех же самых движений понадобились уже 33 сферы, а Аристотелю – аж 56. Причем Аристотель считал сферы не фиктивными, как Евдокс и Калипп, а вполне реальными, сделанными из идеально прозрачного хрусталя. Так умозрительная модель, придуманная для удобства интерпретации, может обрести «вещественность», а позднее на многие столетия стать аксиомой, спорить с которой опасно.

К счастью для античной науки, служители разнообразных культов в то время не стремились к столь тотальному контролю над мировоззрением людей, каковой был характерен для Средневековья. Так, например, замечательный римский писатель Лукиан Самосатский (II век н. э.) отправлял своих героев на Луну и Венеру – такие же шарообразные тела, какова и наша Земля. Персонажам Лукиана не приходилось дырявить хрустальные сферы во время космических путешествий. Как видим, воззрения Аристотеля в дохристианском мире еще не считались обязательными для всех.

Большого античные мыслители, предпочитавшие изучать мир лишь с той «аппаратурой», которой человека снабдила природа, предложить, пожалуй, и не могли. А когда в какой

бы то ни было области знания не наблюдается «вертикального прогресса», остается и даже интенсифицируется «горизонтальный прогресс», то есть античные ученые, не в силах совершить прорыв, принялись дотошно описывать то, что можно было исследовать доступными средствами – глазами и простейшими угломерными инструментами.

Фалес Милетский, переняв опыт египтян, в 585 году до н. э. предсказал солнечное затмение. Гиппарх составил первый звездный каталог, включив в него около 3000 звезд. Он же разделил звезды по блеску на 6 звездных величин, присвоив ярчайшим звездам первую величину, а еле-еле видимым невооруженным глазом – шестую. Евдокс определил угол наклона земной оси к эклиптике и (довольно неточно) максимальное угловое удаление Венеры от Солнца. Грекам, всегда тесно связанным с морем, требовались определенные астрономические знания хотя бы для морской навигации – и античные кормчие вполне сносно вычисляли географическую широту места (с долготой дело обстояло много хуже). Что до прочего, то домыслы в астрономии не просто допускались – они властвовали. Достаточно сказать, что великий Аристотель считал кометы не астрономическими объектами, а земными испарениями. Анаксагор же полагал Солнце сгустком огня, оторвавшимся от Земли вследствие ее вращения. Таковыми же он считал и звезды, а Луну полагал населенной живыми существами, за что был изгнан из Афин как безбожник и подрыватель основ.

В IV веке до н. э. Гераклид Понтийский заявил, что Земля вращается вокруг своей оси, а столетием позже Аристарх Самосский доказывал, что Солнце гораздо дальше от нас, чем Луна, и что оно больше Земли в 300 раз. А раз так, то вовсе не Земля, а Солнце является центром Вселенной, Земля же занимает подчиненное положение. Доказать это так, чтобы ни у кого не осталось сомнений, он не смог, но примечательно, что эти мысли высказывались за 1800 лет до Коперника. Большого античная наука предложить, видимо, и не могла, но отдельные взлеты мысли греческих ученых, право же, впечатляют.

Отдельная песня – «практическое применение» астрономии к бытовым нуждам людей, издревле известное под именем астрологии. Как только люди начали улавливать закономерности в движении небесных тел (29,5-суточный период обращения Луны, 2,1-летний цикл противостояний Марса, 12-летний цикл движения Юпитера по эклиптике и т. д.), у них возникло подозрение: за этими цифрами скрывается нечто большее и, вероятно, насущно важное. «Это «ж-ж-ж» неспроста», – примерно с таким же основанием утверждал Винни-Пух.

Уже упомянутый Лукиан Самосатский, писатель, весьма острый на язык, никогда не стеснявшийся морально уничтожать тех, кто, по его мнению, того заслуживал, в сочинении «Об астрологии» неожиданно отозвался о ней похвально и даже почти восторженно. Одно только «но»: он не разделял

астрологию и астрономию. Предсказания, сделанные на основе анализа движения небесных тел, казались ему важными, но и «просто открытия» заслуживали, по Лукиану, всяческого внимания, а труд наблюдателей – уважения. Даже в том случае, если нет и в ближайшем будущем не предвидится практического применения этим открытиям. Почему? Да просто потому, что Лукиан понимал: лишнего знания не бывает.

Этого понимания был лишен император Тиберий, который изгнал из Рима астрологов, но простил тех из них, кто раскаивался и обещал оставить свое ремесло. Изгоняли астрологов и другие римские императоры: Клавдий, Вителлий и т. д. Конечно, изгнать жуликов, наживающихся на доверии простодушных обывателей, дело благое, но этак можно выплеснуть с водой и ребенка. В известном смысле астрономия выросла из астрологии, как прорастает крепенький шампиньон на навозном субстрате. Странно, что сам Тиберий верил пророчествам, гаданиям и гороскопам, но пусть мотивы поступков этого мрачного упыря исследуют историки – у нас другая тема<sup>4</sup>.

И все же даже невеликий (по меркам нашей современности) уровень астрономических знаний античности был бы потерян в раннем Средневековье, если бы не Альмагест – под этим арабским именем известен 13-томный текст II века

---

<sup>4</sup> Римский император Септимий Север (годы правления 193–211 н. э.) занимался астрологией лично, причем с большим рвением. – *Примеч. авт.*

н. э., суммировавший астрономические знания прошлых веков и переведенный на арабский язык в IX веке. Слишком уж в те времена люди были заняты в Европе: варвары – грабежом и созданием раннефеодальных королевств, греки и римляне – попытками выжить, византийцы же тщились отвоевать утраченные империей территории, пока не истощились в этих попытках настолько, что в серьезный упадок пришла даже традиционно любимая учеными греко-римской цивилизации история, не то что астрономия.

Многие считают, что астрономия как наука до XIV–XV веков развивалась (если не считать Китая) практически только в мусульманском мире. Это не совсем так, хотя надо признать, что подавляющее большинство названий звезд – арабские, не говоря уже о звездных каталогах ас-Суфи, Абу Рейхана ал-Бируни и других ученых. Астрономия развивалась и в Индии, и в Армении, и даже в доколумбовой Америке. Хотя, говоря о Старом Свете, пожалуй, правильнее будет сказать, что она не столько развивалась, сколько поддерживалась на некоем уровне, достигнутом еще в античности. Если прогресс и наблюдался, то был преимущественно «горизонтальным» – вширь, а не ввысь.

Но характерно, что в средневековую Европу, ученые которой были заняты чрезвычайно интересными и, главное, полезными спорами о том, например, сколько ангелов может поместиться на острие иглы, новые веяния пришли с Востока. На поверку они были довольно старыми – просто основа-

тельно забытыми в Европе. Скажем, Роджер Бэкон почерпнул идею о вечности и несотворимости материи у арабского философа Аверроэса, а никак не у античных авторов. По-настоящему же астрономические знания, сбереженные на Востоке, стали востребованными в Европе несколько позже – с началом Ренессанса и (особенно) Реформации. Отсюда лежит прямая дорога к осторожному Копернику, неистовому Джордано Бруно, любознательному Галилею, кропотливому Тихо Браге, гениальному Кеплеру, великому Ньютону и т. д. Рационализм европейцев оказался той благодатной почвой, на которой наконец-то взошли семена, посеянные еще в античности. Во многом умозрительные построения древних уступили место знаниям, полученным на основе точных наблюдений и измерений.

Так и хочется автоматически дописать «а также экспериментов». Увы, увы – с экспериментами в астрономии всегда было туго. Пожалуй, лишь метеориты можно было изучать экспериментально, но они были признаны гостями из космоса лишь в конце XVIII века. Только с наступлением космической эры астрономия понемногу начала превращаться в науку экспериментальную. Стукнуть ядро кометы специальным снарядом и посмотреть, что из этого получится, – типичный эксперимент. Предложить гипотетическим марсианским бактериям питательную среду для их бурного размножения – тоже эксперимент. Пока, правда, такие эксперименты немногочисленны и ограничены рамками Солнечной

системы.

Еще хуже с космологией – эта структурная часть астрономии в принципе ограничена в области методологии, так как имеет дело с одним объектом – Вселенной, в которой мы живем и часть которой наблюдаем. Да и нет пока у человечества возможностей экспериментировать даже с одним объектом таких масштабов...

Как изменялись со временем взгляды европейских ученых на Вселенную – тема интереснейшая, но не для этой книги. Здесь мы ограничимся современным состоянием научных знаний, причем не обо всей Вселенной, а лишь о невообразимо крошечной ее части – Солнечной системе.

Начать, правда, придется с макроскопических явлений и протянуть нить от грандиозных процессов рождения Вселенной к нашей современности.

По современным представлениям наша Вселенная образовалась в результате Большого взрыва примерно 13–14 млрд лет назад. Мы ничего не знаем о причинах взрыва и о физике этого процесса в диапазоне времени от нуля до  $10^{-43}$  с. Эта величина – так называемое планковское время – маркирует собой временного границу, после которой к расширяющейся Вселенной можно применять известные нам законы физики, но до этой границы лежит область действия квантовой гравитации – науки, пока еще не созданной. В крайне молодой и очень горячей расширяющейся Вселенной шли процессы, сколько-нибудь подробное описание ко-



торых увело бы нас слишком далеко от темы этой книги. Нас интересует только эра вещества.

До  $10^{-36}$  с материи еще нет – есть лишь так называемое скалярное поле, и Вселенная расширяется экспоненциально. Температура ее в момент рождения вещества чудовищна – порядка  $10^{29}$  К. На  $10^{35}$  с происходит рождение барионной асимметрии Вселенной, то есть барионов (представленных в то время кварками) родилось чуть больше, чем антибарионов. «Чуть» означает примерно одну миллиардную долю, но этого оказалось достаточно, чтобы впоследствии, после аннигиляции частиц и античастиц, Вселенная оказалась состоящей из вещества, а не из антивещества.

Существуют, правда, теории «холодного бариогенезиса», в которых рождение привычной нам материи с возникновением барионной асимметрии произошло гораздо позже – вблизи  $10^{-10}$  с. Легко понять, что для нас сейчас эти тонкости не имеют значения.

К  $10^{-10}$  с температура Вселенной за счет расширения упала до  $10^{16}$  К. Вещество Вселенной – плазма. Она расширялась уже гораздо медленнее – по степенному закону. На  $10^{-10}$  с произошел «электрослабый фазовый переход», когда силы единого электрослабого взаимодействия разделились на силы слабого взаимодействия и силы электромагнитные. Приобрели массу все известные нам элементарные частицы, безмассовым остался только фотон. Однако при столь больших

температурах и плотностях о «нормальном» веществе говорить еще не приходится – во Вселенной могли существовать лишь кварки, нейтрино и частицы-переносчики слабого взаимодействия. Вселенная представляла собой своеобразный «кварковый суп». Лишь к моменту времени  $10^{-4}$  с от Большого взрыва при температуре  $10^{12}$  К из «слипшихся» кварков смогли наконец образоваться протоны и нейтроны. Аннигиляция вещества и антивещества привела к появлению громадного количества фотонов. На каждую частицу материи ныне приходится около миллиарда фотонов.

К исходу первой секунды жизни Вселенной ее температура упала «всего» до 10 млрд К. Это как раз характерная температура звездных недр. Что происходит в звездных недрах? Правильно, там идут ядерные реакции. Шли они и в очень молодой (но уже состоявшей из вещества) Вселенной. Но реакции реакциям рознь. Что же могло образоваться из первичного горячего и плотного скопища протонов и нейтронов за весьма ограниченное время?

Во-первых, дейтерий. Во-вторых, гелий-3 и гелий-4. И, наконец, литий. Последнего образовалось немного – не более 1 % от общей массы вещества во Вселенной. Дейтерия и двух изотопов гелия – несколько больше. Но все же основная часть протонов и нейтронов не успела прореагировать в отпущенный ей малый отрезок времени. Что до более тяжелых, чем литий, элементов, вроде бериллия или бора, то до образования сколько-нибудь заметного их количества де-

ло просто не дошло – уже к двухсотой секунде от момента Большого взрыва расширяющаяся Вселенная успела остыть настолько, что ядерные реакции в ней прекратились.

Первые 50 тыс. лет во Вселенной доминировало излучение: плотность его энергии превышала плотность энергии вещества. Но так как первая зависит от размеров Вселенной в четвертой степени, а вторая – лишь в кубе, то рано или поздно должен был наступить момент доминирования вещества. Он и наступил – пока, впрочем, лишь для темной материи<sup>5</sup>, не взаимодействующей с излучением. Казалось бы, что нам за дело до нее? Но именно темная материя, стекая в первичные, случайно возникшие и пока еще незначительные, гравитационные «ямы», начала «углублять» последние, подготавливая их для барионной материи.

Лишь спустя 300 тыс. лет после Большого взрыва излучение «отклеилось» от барионного вещества и получило возможность распространяться свободно. Температура Вселенной упала до 3000 К, и ядра получили возможность захватывать электроны. Барионная материя начала «сползать» в подготовленные темной материей гравитационные «ямы», подготавливая рождение крупномасштабной структуры Вселенной. Надо сказать, что каждая такая «яма» дала начало скоплению, а то и сверхскоплению галактик.

---

<sup>5</sup> По современным представлениям, около 20 % массы Вселенной заключено в темной материи, проявляющей себя только через гравитацию; обычная же материя составляет не более 4 % массы Вселенной. – *Примеч. авт.*

Отчего в молодой расширяющейся Вселенной возникли неоднородности, превратившиеся в гравитационные «ямы»? Вопрос, думается, лишен смысла. Гораздо труднее представить себе полностью однородную расширяющуюся Вселенную, лишенную каких бы то ни было, даже самых малых, флуктуаций плотности и температуры и сохраняющую однородность по мере расширения в бесконечность. Таких чудес в природе не бывает. А коль скоро флуктуации существуют, то в дальнейшем они будут только усугубляться. Температура же вещества будет все время падать и не станет препятствием к появлению в гравитационных «ямах» огромных облаков материи.

Так оно и происходило в действительности. Каждое такое облако имело определенную массу, температуру и некий интегральный момент вращения. В нем также возникали гравитационные «ямы» меньших размеров, куда стекало вещество. Со временем каждое облако делилось на меньшие облака, связанные друг с другом гравитационным взаимодействием, а те, в свою очередь, на еще меньшие. Так образовались скопления и меньшие, чем скопления, группы галактик вроде нашей Местной системы<sup>6</sup> и отдельные галактики.

---

<sup>6</sup> Местной системой называется группа галактик на дальней периферии большого скопления галактик в созвездии Девы, включающая в себя нашу Галактику с ее карликовыми галактиками-спутниками, Туманность Андромеды М31 с ее спутниками, Туманность Треугольника М33, несколько карликовых эллиптических и неправильных галактик и несколько не связанных с галактиками шаровых скоплений – всего около 50 объектов. – *Примеч. авт.*

Есть похожие галактики, но нет двух одинаковых. В 20-х годах XX века Эдвин Хаббл разделил галактики на три основных типа: спиральные (S), эллиптические (E) и неправильные (Irr). В неправильные попали все галактики, которые не удалось причислить ни к спиральным, ни к эллиптическим.

Рассмотрим – в самом общем приближении – механизм формирования галактики. Мы увидим, что наша Галактика (часто называемая Млечным Путем) не зря относится к S-галактикам. Будь она E-галактикой, в ней вряд ли могли бы образоваться в достаточном количестве планеты земной группы, а следовательно, вероятность возникновения жизни, тем более разумной, была бы малой, чтобы не сказать ничтожной.

Эллиптические галактики (рис. 1 на цветной вклейке) представляют собой более или менее сплюснутые сфероиды, состоящие из большого количества звезд – от десятков миллионов для карликовых E-галактик до триллиона для сверхгигантских E-галактик. Степень сжатия E-галактик характеризуется цифровым индексом за буквой E – от  $E_0$  для сферических галактик до  $E_7$  для сильно сжатых. Эллиптических галактик, более сжатых, чем  $E_7$ , не существует. Если галактика сжата сильнее, в ней уже образуются спиральные рукава, что выводит галактику из типа E. Само собой, речь идет о реальном сжатии, а не о кажущемся, вызванном положением наблюдателя относительно галактики. В целом E-галак-

тики довольно невыразительны и в большинстве своем похожи друг на друга.

Спиральные галактики (рис. 2, 3 на цветной вклейке), напротив, демонстрируют разнообразие форм. Галактики подтипа Sa мало сплюснуты, их спиральные рукава не отходят далеко от обширного центрального *балджа* (окружающего галактическое ядро «вздутия», несколько напоминающего E-галактику), не фрагментированы и не имеют ответвлений, а темная полоса пыли вдоль галактического экватора (характернейшая деталь S-галактик) довольно узка. Галактики подтипа Sc иные – у них маленькое ядро и совсем маленький балдж, если он вообще есть, рукава отходят от ядра резко, они фрагментированы и изобилуют ответвлениями, а пылевая полоса по экватору таких галактик мощная и широкая. Промежуточное положение между Sa и Sc занимают галактики подтипа Sb. Например, широко известная Туманность Андромеды ( $M_{31}$ ) относится к подтипу Sb, а Туманность Треугольника ( $M_{33}$ ) – к Sc. Хороший пример галактики Sa –  $M_{104}$  («Сомбреро»), см. рис. 4 на цветной вклейке.

Спиральные галактики могут отличаться друг от друга также по количеству спиральных рукавов. Часто их два, но не обязательно. Один из рукавов может быть «редуцирован» и превратиться в этакий едва заметный рудимент, и тогда у галактики по сути остается всего один рукав. Бывает, что у галактики развиваются три, четыре и более рукавов. У  $M_{33}$  три основных рукава и с десятков мелких, обрывочных. У га-

лактики  $M_{63}$ , известной под кличкой «Подсолнух», десятка два рукавов. У галактики  $M_{109}$  (рис. 5 на цветной вклейке), внешне похожей на нашу, четыре рукава, причем отходят они не от ядра, а от концов *бара* – перемычки, проходящей через ядро. Такие галактики с перемычками обозначаются как SBa, SBb и SBc.

Легко классифицировать галактики, глядя на них со стороны. Установить спиральную структуру нашего собственного Млечного Пути нам, находящимся внутри него, оказалось в высшей степени трудно. Теперь известно, что наша Галактика относится к подтипу SBb и имеет четыре основных спиральных рукава. Существуют и местные рукава – ответвления от основных. В одном из таких местных рукавов-ответвлений находится наша Солнечная система.

Казалось бы, к чему весь этот разговор об эволюции Вселенной и о галактиках, коль скоро тема книги – Солнечная система? Подождите немного, читатель, а пока поверьте на слово: это сделано не зря.

Во времена Хаббла считалось, что галактики в своем развитии проходят стадии от неупорядоченных Ir-галактик (рис. 6 на цветной вклейке) к Sc, Sb, Sa и далее к аккуратным (пусть и скучным) E-галактикам. Этакое превращение дремучего леса во французский регулярный парк. Существовала и диаметрально противоположная точка зрения: галактики-де рождаются эллиптическими, затем в них развивается вращательная неустойчивость, что приводит к образованию

спиральных рукавов, после чего галактика мало-помалу теряет структуру и становится неправильной. Словом, обратная эволюция: от регулярного парка – к дремучему лесу с буреломами.

Прошло изрядное время, прежде чем была понята наивность подобных воззрений. Галактики рождаются либо как спиральные, либо как эллиптические, либо как неправильные и остаются таковыми на протяжении миллиардов лет, а если не произойдет тесного сближения (или столкновения) с другой галактикой, то и на протяжении всего существования галактики. Исключение здесь может быть только одно: некоторые карликовые неправильные галактики могут со временем превратиться в спиральные. Пример: Большое Магелланово Облако (БМО). В оптических лучах эта неправильная галактика демонстрирует нам некую барообразную структуру, но и только. Зато снимок в лучах нейтрального водорода выявляет заведомую спираль. Таким галактикам просто не хватило времени, прошедшего от рождения Вселенной, чтобы стать спиральными галактиками. У них еще все впереди.

Каким же образом некоторая масса материи, скопившаяся вокруг гравитационной «ямы», может «знать», в какого типа галактику ей превратиться?

Ответ: все дело в массе вещества и его моменте вращения.

Представим себе сферическое газовое облако определенной (галактической) массы, начисто лишённое момента вращения. Под действием собственного тяготения оно будет



сжиматься. При идеальной сферичности и идеальной однородности облака (такого в природе не бывает, но вообразить-то мы можем) облако останется идеально сферическим во время всего сжатия и не будет фрагментировать на меньшие облака. Кончится это скверно. Пусть при достижении сжимающимся газом температуры в несколько миллионов кельвинов внутри облака начнутся ядерные реакции – при массе облака порядка миллиардов солнечных масс они не смогут остановить сжатие. Получится не галактика и не звезда чудовищной светимости, а сверхмассивная черная дыра.

Реализовывался ли подобный сценарий на практике, никому не известно. Но в меньших масштабах – реализовывался многократно. В центре практически каждой упорядоченной галактики находится «центральный монстр» – сверхмассивная черная дыра. Если в центре нашей Галактики она сравнительно мала – около 3 млн солнечных масс, – то масса «центрального монстра» Туманности Треугольника оценивается (впрочем, неуверенно) в 100 млн солнечных масс. Очень возможно, что в центрах крупных эллиптических галактик находятся еще более массивные черные дыры. Похоже на то, что самые центральные и плотные области протогалактического облака все-таки сжимаются по описанной схеме, а стекающий в образовавшуюся черную дыру газ дополнительно увеличивает массу «центрального монстра».

Другой сценарий – достаточная масса протогалактического облака и малый момент вращения. При этих «вводных»

облако начнет сжиматься, причем на полюсах оно будет сжиматься сильнее, чем на экваторе, в результате чего примет форму сплюснутого сфероида<sup>7</sup>. Умозрительно понятно, что вращающееся тело приобретает некоторую сплюснутость, как, например, слегка сплюснут земной шар, но механизм сплющивания у газового облака иной. Представим себе две частицы, обращающиеся вокруг центра облака где-нибудь на его периферии, и примем из соображений простоты, что экваториальные составляющие их орбитальных скоростей равны, – меридиональные же составляющие также равны, но противоположны по направлению (рис. 7 на цветной вклейке). Что произойдет с частицами при соударении?

Если мы перейдем в систему координат, связанную с частицами, то поймем, что экваториальная составляющая их скорости не изменится. С меридиональной составляющей все будет иначе: ведь лишь при абсолютно упругом соударении частицы стукнутся друг о друга и разлетятся прочь, как резиновые мячики. Но атомы (а протогалактическое облако состоит из ионизованных или неионизованных атомов) ведут себя не как резиновые мячики. При ударе атомы могут перейти в возбужденное состояние, на что будет затрачена часть кинетической энергии частиц. Как следствие, разлет частиц прочь друг от друга будет происходить с мень-

---

<sup>7</sup> Иногда такие фигуры называют эллипсоидами вращения, что неправильно: если фигура образована эллипсом, вращающимся вокруг малой, а не большой оси, то это сплюснутый сфероид, а не эллипсоид. – *Примеч. авт.*

шей скоростью, чем скорость их сближения до удара, а возбужденные атомы со временем избавятся от избытка энергии, спонтанно испустив кванты, и эти кванты скорее всего беспрепятственно покинут протогалактическое облако. Меридиональная составляющая скорости частиц уменьшится, а экваториальная не изменится.

На практике, конечно, столкновения между частицами во вращающемся облаке носят самый замысловатый характер, но наша простейшая модель помогает понять главное: облако будет сплющиваться, причем пресловутая центробежная сила тут решительно ни при чем. Дальнейшее зависит от плотности облака: если основная часть газа успеет превратиться в звезды до достижения облаком сплюснутости, характерной для галактик E7, то родится эллиптическая галактика. Ведь механизм сплющивания перестанет действовать, поскольку газ будет собран в звездах, а столкновение звезд в галактике — явление настолько редкое, что его не стоит принимать во внимание.

Если же начальный момент вращения облака велик, то облако успеет сжаться до кондиций спиральной галактики еще до фазы активного звездообразования. Разовьется неустойчивость, в результате чего появятся спиральные рукава и, возможно, бар. Самая заметная часть излучающего вещества будет собрана в галактическом диске, а наиболее яркой его частью станет спиральный узор.

А почему, собственно говоря, он наиболее яркий? А по-

тому, что в спиральных рукавах собраны молодые горячие звезды высокой светимости. Скажем, типичная звезда спектрального класса  $O_5^8$  имеет массу порядка 30 масс Солнца и светимость порядка 200 тыс. солнечных. Старыми такие звезды не бывают, вернее, их старость и смерть наступают еще в детском возрасте. (Астрономы пользуются термином «инфантильные объекты».) Логично предположить, что коль скоро горячие звезды высокой светимости сконцентрированы преимущественно в спиральных рукавах, то они там и родились. Хуже того: там им суждено провести всю свою недолгую (зато какую яркую!) жизнь.

Доказано, что скорость движения звезд вокруг центра какой бы то ни было спиральной галактики и скорость вращения ее спирального узора – совсем не одно и то же. В самом деле, за время существования Вселенной галактики должны были совершить не один десяток оборотов, а спиральные рукава редко закручиваются более чем на один-два оборота. В чем дело? А в том, что рукава – это не какие-то материальные образования, а *волны* плотности, обращающиеся вокруг галактического центра практически как твердое тело. По силовым линиям галактического магнитного поля в рукава натекает ионизованный газ, сталкивается здесь с уже

---

<sup>8</sup> Звезды делятся на спектральные классы, образуя следующую основную последовательность, от горячих звезд к холодным: O, B, A, F, G, K, M. Подклассы обозначаются цифрами от 0 до 9. Например, звезда F0 горячее, чем F1, но холоднее, чем A9. – *Примеч. авт.*

имеющимся газом, и образующаяся ударная волна запускает процесс звездообразования. Именно в спиральных рукавах и барах звездообразование идет интенсивнее всего. Именно поэтому там много горячих молодых ярких звезд. (Разумеется, там хватает и менее ярких звезд, но не они главным образом «ответственны» за спиральный узор.)

Центральный балдж, шаровые скопления и звезды галактического *гало* – иное дело. В отличие от плоской подсистемы звездного населения спиральной галактики, представленной галактическим диском с рукавами, они образуют сферическую подсистему. Ее вращение вокруг галактического центра происходит совершенно иначе (гораздо медленнее), а сплюснутость если и наблюдается, то невелика. Совершенно очевидно, что шаровые скопления и звезды балджа образовались из локальных уплотнений на самых ранних стадиях формирования галактики, когда она еще была более или менее сфероидальным облаком.

Итак, в каждой спиральной галактике (и в нашей тоже) существуют две подсистемы: сферическая и плоская. Раньше их называли звездным населением I и II типа соответственно, но эта терминология была не вполне точна: ведь в подсистемы входят не только звезды, но и газово-пылевая материя. В нашу эпоху крупные газово-пылевые облака не обнаруживают сколько-нибудь заметной концентрации к галактическому центру, зато уверенно концентрируются к галактическому экватору. Не зря по экватору всех спиральных га-

лактик проходит полоса пыли.

Между прочим, Солнце обращается вокруг центра Галактики почти в плоскости галактического экватора, расстояние до которого от нас в нашу эпоху составляет всего-навсего 30 световых лет – и это при том, что толщина галактической «линзы» на данном удалении от центра Галактики никак не менее 1000 световых лет. Слой галактической пыли, внутри которого находится Солнце, сильно мешает астрономам наблюдать объекты, расположенные под малым углом зрения к галактическому диску, поскольку активно поглощает лучи видимого частотного диапазона. Например, слой пыли между Солнцем и центром Галактики ослабляет видимый свет на 27 звездных величин! Поскольку разница в одну звездную величину соответствует «в размах» 2,512, то нетрудно подсчитать, что ослабление на 27 звездных величин эквивалентно ослаблению примерно в 6 млн. раз. В оптическом диапазоне наблюдения центра Галактики, а тем более внегалактических объектов в направлении на него практически невозможны – приходится обходиться средствами инфракрасной и радиоастрономии.

Печально? Для астрономов – да. Но галактическая пыль – это чрезвычайно важно. И не только потому, что без нее не было бы планет земной группы, а следовательно, и нас с вами, – пыль, как мы увидим далее, играет заметную роль в процессе звездообразования. Нельзя рассказывать о рождении Солнца, не разобравшись с ролью межзвездной пыли.

Прежде всего: откуда она берется?

Мы помним, что после краткого периода ядерных реакций в очень молодой расширяющейся Вселенной вещество было представлено крайне убогим набором химических элементов: водород, гелий, немного лития – и только. Эти три элемента вместе с их изотопами совершенно не склонны слипаться в некие агрегаты, образуя пылинки. Молекулы водорода  $H_2$ , способные образовываться при небольших температурах и разрушающиеся при нагревании, – вот по сути и все, на что способна столь бедная смесь элементов. Можно считать, что химическая история Вселенной (и нашей Галактики, конечно) началась лишь в звездную эпоху.

Наша Галактика с ее четырьмястами миллиардами звезд считается как минимум гигантской; некоторые классификации относят ее даже к сверхгигантским. Таких галактик, как наша, одна на тысячу. Хвастаться тут, конечно, нечем (и не перед кем) – важно понять, что благодаря значительной массе газового облака, давшего начало Галактике, процесс ее формирования был довольно быстрым. Разумеется, сверхгигантские Е-галактики вроде NGC6166, чья масса оценивается в 14 трлн солнечных масс, сформировались еще быстрее, но не в этом дело. Важно понять, что по сравнению с Солнечной системой Галактика довольно стара: ей никак не менее 12 млрд лет. За время, прошедшее от рождения первых звезд Млечного Пути до возникновения Солнечной системы, химическая история Галактики успела продвинуться

далеко вперед.

Широко известен источник горения звезд: ядерные реакции превращения водорода в гелий. Они вроде бы ничего не добавляют к убогому первоначальному набору химических элементов, составляющих материю Вселенной. Правда, в боковой ветви протон-протонной реакции образуются бериллий и бор, но они же большей частью и тратятся в недрах звезды на образование того же гелия. Откуда берутся более тяжелые элементы?

В межзвездном пространстве ядерные реакции не идут – следовательно, тяжелые элементы рождаются опять-таки в звездах. Но не во всех. Водородное «горючее» звезды – ресурс принципиально исчерпаемый. Предположим, что в плотном и горячем ядре некой звезды, где как раз и шли ядерные реакции, водорода больше не осталось. Что произойдет? Звезда начнет понемногу остывать и со временем погаснет?

Да, если ее масса менее 0,35 массы Солнца. Нет – если масса звезды превышает указанный порог. В этом случае после исчерпания водородного «горючего» центральные области звезды сожмутся и разогреются, температура в центре звезды превысит 100 млн К (вместо 10–20 млн К для «нормальной» звезды), и «включится» другая ядерная реакция – тройной гелиевый процесс. Суть этой реакции в том, что при столь значительной температуре две альфа-частицы (ядра гелия) могут, преодолев кулоновский барьер отталкива-



ния, слиться в ядро неустойчивого изотопа бериллия-8. Последнее скорее всего распадется обратно, но может так случиться, что в него врежется еще одна альфа-частица, обладающая высокой энергией. В этом случае образуется устойчивый изотоп углерода-12 и выделяется энергия. Светимость звезды увеличивается по сравнению с «нормальной» в десятки, если не сотни раз, ее внешние области сильно разбухают и охлаждаются до 2500–3500 К, и звезда становится красным гигантом. Подобные звезды широко известны, скажем, красный Альдебаран в созвездии Тельца – типичный красный гигант.

Если масса звезды достаточна, то ядерные реакции не прекращаются и после «выгорания» гелия в центральных областях. Температура звездных недр вновь повышается, и тогда становятся возможны (и действительно идут) реакции между углеродом и гелием с образованием кислорода и других элементов. Внутри звезды возникает слоистый источник энерговыделения: ближе к поверхности идут реакции на еще уцелевшем водороде, глубже – тройная гелиевая реакция, а еще глубже – самые разнообразные реакции между углеродом и гелием, а также между гелием и кислородом, азотом и т. д. Суть этих реакций – в последовательном присоединении альфа-частиц. Таким путем образуются все более тяжелые элементы – вплоть до «железного пика». Элементы тяжелее железа, никеля, кобальта в недрах «обычных» (пусть сверхгигантских по светимости) звезд не образуются. Нет, ядер-

ные реакции, в результате которых могли бы образоваться и более тяжелые элементы, в принципе существуют, но они идут с поглощением энергии, а значит, как только они начинаются, температура недр звезды падает, и эти реакции прекращаются сами собой – типичный пример *отрицательной обратной связи*, стабилизирующей текущую ситуацию.

Но откуда во Вселенной взялись элементы тяжелее железа? Ведь на Земле существуют месторождения меди, свинца, ртути, золота, урана. И каким образом тяжелые элементы попадают из звездных недр в межзвездную среду? Неужели звезда выбрасывает их, подобно тому как Солнце выбрасывает поток частиц, известный под именем «солнечного ветра»?

Ни в коем случае. Солнце выбрасывает лишь электроны, протоны, ядра гелия, а доля более тяжелых элементов в «солнечном ветре» невелика. Правда, изредка встречаются «коптящие» звезды – массивные красные сверхгиганты высокой светимости с раздутыми холодными атмосферами, охваченными бурной конвекцией. Эти звезды действительно выбрасывают углерод, причем в виде пыли – отсюда и название. Но не так уж много того углерода. И как быть с остальными элементами?

Типичный красный гигант оканчивает свое существование превращением в белый карлик – крошечную звездочку низкой светимости. Внешние же области красного гиганта отделяются от него с небольшими (порядка десятков кило-

метров в секунду) скоростями и образуют так называемую планетарную туманность (рис. 8-10 на цветной вклейке), постепенно рассеивающуюся в пространстве<sup>9</sup>. Однако и планетарные туманности не могут обеспечить наблюдаемое во Вселенной (и особенно на Земле) обилие элементов.

Взрывы сверхновых звезд – вот тот «плавильный тигель», где образуются элементы тяжелее железа, и одновременно способ их доставки в межзвездную среду. Нет необходимости в рамках этой книги описывать быстротекущие (порядка одной-двух секунд) процессы, происходящие во время взрыва звезды. Описание этих процессов, к тому же далеко еще не изученных, увело бы нас слишком далеко от темы. Важно запомнить: во время этих катастрофических процессов вблизи ядра звезды при колоссальных давлениях, создаваемых ударной волной, и температурах порядка триллиона кельвинов в быстротекущих ядерных реакциях создается все разнообразие тяжелых элементов. Взрыв приводит к выбросу газовой оболочки, обогащенной этими элементами, в межзвездное пространство со скоростями от 1000 до 10 000 км/с. На месте бывшего сверхгиганта остается весьма компактный объект – нейтронная звезда, а расширяющаяся газовая оболочка постепенно тормозится о межзвездную среду (обжимая ее локальные уплотнения и стимулируя тем

---

<sup>9</sup> К планетам эти туманности не имеют никакого отношения, они были названы так за сходство некоторых из них с атмосферами планет, и это неудачное название прижилось. – *Примеч. авт.*

самым звездообразование) и мало-помалу рассеивается.

Так межзвездная среда обогащается химическими элементами. Обилие тех или иных элементов определяется прежде всего вероятностью соответствующих ядерных реакций и наличием «сырья» для их протекания. В общем и целом наблюдается понятная закономерность: чем элемент тяжелее, тем меньше его во Вселенной, хотя и тут есть свои «пики» и «провалы». Например, в земной коре не так уж мало (относительно, конечно) урана-238, несмотря на то что этот изотоп нестабилен, с периодом полураспада 4,5 млрд лет, зато ничтожно мало (десятки миллиграммов) астата. Основную причину такой «несправедливости» следует искать в конкретных ядерных реакциях, идущих при взрывах сверхновых звезд.

Но общее количество тяжелых элементов, выбрасываемых при взрывах звезд, довольно велико, и эти элементы присутствуют в космосе преимущественно в виде пылинок, формирующихся по мере остывания расширяющегося облака продуктов взрыва. Так, например, известный радиисточник Кассиопея А – самый мощный объект своего класса, являющийся остатком взрыва сверхновой, вспыхнувшей около 1680 года, содержит достаточно пыли для образования десяти тысяч таких планет, как Земля. И это еще самая скромная оценка. Выходит, что при взрыве звезды в космос было выброшено весьма значительное количество тяжелого вещества – не менее 3 % массы Солнца.

По современным представлениям, многократно подтвержденным наблюдениями, звезды рождаются из холодной газопылевой материи. В очень молодой Галактике, лишенной тяжелых элементов, но с уже достаточно остывшей газовой средой, рождалось очень много массивных горячих звезд с ничтожным (по астрономическим меркам) сроком жизни. Взрываясь как сверхновые, эти звезды быстро обогатили межзвездную среду газом и пылью. Астрономам пока еще не удалось найти в Галактике звезду, полностью лишенную тяжелых элементов (а наличие их в звездных фотосферах запросто «ловится» спектроскопией). Пока что рекордсменом по химической бедности является одна слабая звездочка в галактическом гало – она в 100 тысяч раз беднее тяжелыми элементами, чем Солнце. Ясно, что говорить о наличии у этой звезды планет земного типа не приходится – им просто неоткуда взяться.

Отсюда понятно, что Солнце, коль скоро мы живем на поверхности его твердого спутника, никак не могло быть звездой «первого поколения» – оно образовалось значительно позже, когда обилие тяжелых элементов в газовой-пылевой материи Галактики было уже близким к современному. Вообще считается, что любой атом Земли (и вашего тела, читатель) в прошлом трижды побывал в недрах звезды – в среднем, конечно. Иначе откуда бы взялось то обилие элементов, которое обеспечивает столь сложные химические процессы, какие протекают в живых организмах?

## 2. Рождение Солнца

Возраст Земли оценивается в 4,6 млрд лет. Поскольку считается (и не без оснований), что звезды и их планетные системы рождаются в рамках единого процесса, вряд ли Солнце намного старше Земли. Итак, к моменту рождения Солнца возраст Галактики уже превышал 7 млрд лет и диффузная материя в ней уже была обогащена тяжелыми элементами – почти до современного их количества. Среди тяжелых (я имею в виду: более тяжелых, чем водород и гелий) элементов важнейшее значение для звездообразования имеет углерод.

Именно его атомы имеют склонность слипаться в пылинки и, в частности, образовывать сложные структуры типа фуллеренов (последние найдены в космической пыли). Агрегат из сотни атомов – уже пылинка. Но для процесса звездообразования важно не то, что углерод в межзвездном облаке присутствует частично в виде пыли, а то, что он вообще там присутствует. Прочие атомы и молекулы (а в межзвездной материи спектроскопическими методами выявлено более 50 молекул, среди которых есть даже 13-атомная молекула цианодекапентина  $\text{HC}_{11}\text{N}$ ) не играют столь серьезной роли.

Дело вот в чем. Углерод легко поглощает ультрафиолетовые кванты, излучая взамен инфракрасные. Для инфракрас-

ных квантов не очень плотное газово-пылевое облако прозрачно, так что они беспрепятственно покидают его, унося энергию. За счет этого температура многих облаков межзвездной материи невелика. Углерод, как говорят, играет роль «холодильника», и это обстоятельство имеет важнейшее значение.

Всем известно, что звезды рождаются из газово-пылевой материи вследствие ее конденсации под действием собственной силы тяжести. О том же говорит и вся совокупность наблюдательных данных. Альтернативные гипотезы вроде рождения звездных скоплений по причине распада каких-то неведомых сверхплотных тел не нашли подтверждения. Известно также, что средняя плотность межзвездного газа в Галактике составляет в настоящее время примерно 1 атом на кубический сантиметр. Но гораздо раньше, чем была оценена средняя плотность межзвездного газа, стало ясно, что газ и пыль распределены по Галактике отнюдь не равномерно, а образуют облака, или туманности. Если между облаками плотность газа менее 0,1 атома на кубический сантиметр, то в облаках она обычно превышает 10 атомов на кубический сантиметр. Можно показать, что межзвездная среда, первоначально сравнительно однородная, обязательно будет делиться на облака диффузной материи и сравнительно пустое пространство между ними.

Некоторые из облаков малы, другие громадны. Есть темные и светлые туманности, холодные и нагретые излучени-

ем молодых горячих звезд, атомарные ионизованные, атомарные неионизованные и, наконец, молекулярные. Но какое облако будет сжиматься под действием собственной гравитации, а какое нет?

Прежде всего, сильно нагретые облака ионизованного газа сжиматься не будут. Бешеное излучение горячих ОВ-звезд, находящихся в этих облаках или вблизи них, нагревает облака настолько, что сила собственной гравитации облака полностью уравнивается кинетической энергией атомов. Газ в таких облаках, известных как эмиссионные туманности, полностью ионизован и имеет температуру порядка нескольких тысяч кельвинов. Пылинки – и те разрушаются под действием мощного ультрафиолетового излучения горячих звезд. Хороший пример такой туманности – Большая туманность Ориона (рис. и на цветной вклейке).

Не будут сжиматься и неионизованные атомарные облака с температурой в несколько сотен кельвинов. Конденсация под действием собственной гравитации возможна лишь для холодных молекулярных облаков (они потому и молекулярные, что холодные) с температурой в несколько десятков кельвинов.

Но станет ли сжиматься, например, облако с массой газа, равной массе Солнца, температурой 20 К и поперечником в 1 парсек<sup>10</sup>? Нет, не будет по причинам, которые уста-

---

<sup>10</sup> Парсек (пк) – внесистемная единица измерения межзвездных расстояний, принятая в астрономии. Это такое расстояние, с которого радиус земной орбиты



новил замечательный английский физик Джеймс Джинс еще в 1902 году. При определенной температуре и определенной плотности сферического (для простоты) облака существует критическое (джинсовское) значение его радиуса, при превышении которого облако начнет сжиматься. Из полученных Джинсом формул следует, что взятое мною для примера маломассивное облако сжиматься не будет, а вот облако той же плотности и температуры, но с поперечником в десятки парсеков – будет.

Дело в том, что тепловая энергия облака зависит от его радиуса в кубе, тогда как гравитационная энергия – от радиуса в пятой степени. Следовательно, при определенной плотности облака и определенной его температуре существует такой радиус облака, при превышении которого облако обязательно начнет сжиматься, и тем «охотнее», чем больше его размеры (при заданных значениях температуры и плотности).

Отсюда ясно, что прежде всего начнут конденсироваться громадные холодные облака молекулярного водорода, известные как газовой-пылевые комплексы. Каждый такой комплекс может породить тысячи звезд.

Почему тысячи, а не одну суперсверхгигантскую – достаточно понятно. Во-первых, внутри газовой-пылевого комплекса поперечником в десятки парсеков неизбежно со-

---

равен одной угловой секунде. Один парсек равен 3,26 светового года. – *Примеч. авт.*

держится несколько тысяч звезд, разогревающих среду вокруг себя, несмотря ни на какие «старания» межзвездного углерода. Таким образом, газово-пылевая среда комплекса неоднородна изначально. Во-вторых, формы газово-пылевых комплексов далеки от сферических, и разные их части имеют свои хаотические скорости. При сжатии комплекс неизбежно будет фрагментирован на отдельные, уже более плотные, облака со скоростями относительно друг друга порядка десятков км/с. В свою очередь, эти облака, сжимаясь, разделятся на более мелкие облака. Из каждого такого облака в дальнейшем сформируется рассеянное звездное скопление. Наконец, достаточно маленькое и плотное облако, имеющее, однако, заметный момент вращения, также разделится надвое, а затем, глядишь, и на четверо. Получится четверная звездная система.

Если посмотреть в бинокль на звезду Эпсилон Лиры, то отчетливо видно, что эта звезда, кажущаяся одиночной невооруженному глазу, распадается на две звезды примерно равной яркости. Однако взгляд в телескоп с диаметром объектива от 100 мм при увеличении не менее 100–150 крат при ясном небе и отсутствии значительной турбуленции в атмосфере раскрывает истинную картину: каждая из двух звездочек также является двойной! То есть звезда Эпсилон Лиры – четверная, состоящая из двух пар, причем все четыре звезды имеют примерно одинаковый блеск. Расстояние между парами – значительное (почти 3,5 угловой минуты), то-

гда как расстояние между компонентами в парах значительно меньше – около 2 секунд дуги. Это означает, что сжимающееся облако, породившее четверную систему, имея некоторый начальный момент вращения, вращалось все быстрее (по закону сохранения момента количества движения), пока не разделилось на два почти равных по массе облака. Впоследствии каждое из этих облаков после еще более сильного сжатия, сопровождавшегося ускорением вращения, также разделилось примерно пополам.

Другой вариант – тройная система Альфа Центавра. Компонент А этой системы весьма похож на Солнце и принадлежит к тому же спектральному классу, компонент В – оранжевая звездочка класса К1, а слабый компонент С – знаменитая Проксима Центавра – красный карлик 11-й звездной величины класса М5. Из-за близости к нам Проксима Центавра заметно удалена на звездном небе от компонент А и В, которые, «как порядочные», обращаются вокруг общего центра масс сравнительно недалеко друг от друга. У астрономов возникал даже вопрос: ли принадлежит Проксима Центавра системе Альфа Центавра? Ответ: скорее да, чем нет. Ведь в пространстве все три звезды движутся в одном направлении с примерно равными скоростями. По всей видимости, период обращения Проксимы Центавра вокруг общего центра масс тройной системы превышает миллион лет.

Как можно интерпретировать рождение подобной системы? Вероятно, на периферии протозвездного облака с са-

мого начала существовало локальное уплотнение, которое в конце концов обособилось и породило компоненту С, чье расстояние от А и В составляет примерно 0,2 светового года. Основное же прото-звездное облако (точнее, его плотная центральная часть) разделилось уже гораздо позднее.

Еще более удивительная система – Кастор (Альфа Близнецов). В телескоп она разрешается на две компоненты с небольшой разницей в блеске. Вокруг этих двух звезд, обращающихся вокруг общего центра тяжести, движется по удаленной орбите спутник – слабая красная звездочка. И каждая из этих трех звезд является спектрально-двойной, то есть настолько тесной звездной парой, что ее двойственность выявляется лишь спектроскопическими методами. Здесь примерно та же ситуация, что и с системой Альфа Центавра, только каждое из трех протозвездных облаков успело до рождения звезды разделиться надвое, чему, несомненно, «помог» избыток момента вращения.

У любознательного читателя может возникнуть вопрос: а что будет, если сжимающееся протозвездное облако, имеющее массу, скажем, 10 тыс. масс Солнца, окажется сферическим и практически не вращающимся? «Этого не может быть», – ответит астроном. «Ну а все-таки если?..»

Неужели родится звезда чудовищной массы и совершенно невообразимой светимости?

Нет, не родится. Теоретические расчеты показывают, что предел массы для звезды – около 100 солнечных масс. Све-

тимость ее при этом составит порядка миллиона солнечных. Характерный пример: переменная-сверхгигант Р Лебедя. Звезда большей массы и, естественно, еще большей светимости будет просто-напросто разрушена собственным излучением. Теоретические выкладки подтверждаются наблюдениями: звезды с массами более 100 солнечных во Вселенной не обнаружены. Астрономов долго интриговал объект R136a в Большом Магеллановом Облаке. Выгляда звездой, он имеет массу порядка 2000 солнечных, что резко противоречит теории. Так что же, теория неверна? Отнюдь. Просто данный объект оказался не звездой, а тесным скоплением из минимум 70 молодых горячих звезд. Выяснилось это лишь с помощью космического телескопа им. Хаббла...

«Большие неприятности» гарантированы звезде и в том случае, если ее масса превышает 70 солнечных масс. К примеру, звезда Эта Киля находится на грани устойчивости и погружена в туманность, состоящую из вещества, выброшенного звездой при вспышке. Как видим, чрезмерно массивная звезда пытается как-то подстроить свою структуру под «общий стандарт», избавляясь от излишков вещества. Кстати, Эта Киля – вероятный кандидат в сверхновые. Не исключено, что она взорвется в течение ближайших одной-двух тысяч лет.

Стоит подчеркнуть, что нарисованная выше картина рождения кратных звезд является предельно упрощенной, не учитывающей ни влияния магнитных полей, ни вихревых

движений в сжимающемся облаке. Впрочем, главное для нашей задачи – понять в общих чертах, как возникла Солнечная система, поэтому такое упрощение, пожалуй, не является чрезмерным.

Важно следующее: звезды, как правило, рождаются не поодиночке, а кратными системами, чаще всего в составе молодого рассеянного скопления, которое, в свою очередь, входит в состав звездной ассоциации, содержащей сотни тысяч, если не миллионы звезд, а та, в свою очередь, нередко является частью звездного комплекса с характерным поперечником 600 пк. Почему мы говорим о рассеянных скоплениях вроде показанного на рис. 12 (см. цветную вклейку)? Потому что в наше время в Галактике уже давно не образуются шаровые скопления, содержащие сотни тысяч звезд. Все шаровые скопления Галактики (рис. 13), а их известно более 130, – старые объекты, содержащие старые звезды. Шаровые скопления рождались на самых ранних этапах жизни Галактики, когда диффузная материя для их создания имела в избытке. Теперь же в Галактике содержится слишком мало газа (не более 10 % от массы Галактики)<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Имеется в виду только масса обычной материи, а не «темной». – *Примеч. авт.*

# 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.