

## Глава 2. Солнце и его характеристики

В этой главе мы поговорим о некоторых характеристиках центрального тела Солнечной системы – Солнца, к которому с Земли уже отправился первый искусственный спутник, чтобы найти ответ на вопрос: почему демонстрируется противоречие с законом сохранения энергии, то есть почему поверхность Солнца холоднее, чем его корона?

**Солнце как представитель звезд.** Как известно, Солнце – звезда типа желтый карлик. Это огромный светящийся шар, состоящий преимущественно из водорода и гелия, диаметром около 1,4 млн км. Это в 109 раз больше диаметра Земли (и это означает, что в него можно поместить 1,3 млн шаров размером с Землю). Масса Солнца в 745 раз больше, чем масса всех планет вместе взятых, и в 333 тыс. раз больше массы Земли (Ридпат 2004: 292; Громов 2012). Солнце является основным системообразующим объектом Солнечной системы, содержащим более 99,8 % входящего в нее вещества (Уиппл 1984: 13; Язев 2018: 9). Естественно, что сила его притяжения в огромной степени определяет движение планет.

Каждую секунду термоядерные реакции в ядре Солнца превращают 4 млн т водорода в электромагнитное излучение (Язев 2018: 292). Как и в других звездах, эта энергия проникает на поверхность не сразу, а с очень долгим лагом, в среднем в один миллион лет. И это неудивительно, так как только один протон на миллиард в каждый момент способен вступить в протон-протонную реакцию, которая и дает термоядерную энергию в звездах. Таким образом, до излучения доходит не вся энергия, поскольку каждый слой задерживает ее часть, поглощая кванты внутренней энергии и выделяя уже менее мощные кванты. Так что КПД Солнца, как и любой системы, не 100 %, но это продлевает его жизнь (*правило вариативной трансформации вещества*). Несмотря на то что Солнце каждую секунду сжигает миллионы тонн водорода, все же его способность к энергосбережению не может не изумлять. Здесь мы наблюдаем Солнце как один из множества представителей звезд, как саморегулируемую систему.

В настоящее время Солнце находится на так называемой главной последовательности (на которую звезда выходит примерно через 50–100 млн первых лет существования). Это основная часть жизни звезды. В это время звезда существует и светит потому, что в ней в результате термоядерных реакций выгорает водород. Поэтому время жизни на стадии главной последовательности зависит в основном от массы звезды: чем она больше, тем быстрее идут процессы сгорания топлива, тем короче стадия главной последовательности. Поскольку масса Солнца в сравнении с другими звездами не столь велика, оно может провести на главной последовательности еще порядка 4–5 млрд лет. При этом звезда сохраняет свои размеры и форму благодаря взаимной борьбе двух сил: гравитации, которая пытается сжать звезду, и газового давления, образующегося в результате термоядерных реакций и мощного разогрева. Важно отметить, что существует динамическое равновесие между температурой и давлением газа. При повышении температуры газ расширяется и совершает работу против сил гравитации, что ведет к его охлаждению. Таким образом, поддерживается температурный баланс. В жизни звезд, как и галактик, а также на всех остальных уровнях эволюции мы можем многократно и в разных видах наблюдать результирующую двух противоположных процессов, взаимодействие которых позволяет существовать «индивидам». Процессы ассимиляции и диссимиляции поддерживают жизнедеятельность в биологических организмах, процесс размножения животных и уничтожения их хищниками поддерживает в нормальном виде баланс популяции, процессы производства и потребления есть основа существования обществ и т. д. (Гринин 2013: 128). Это взаимодействие противоположных процессов можно определить как *пример универсального гегелевского закона единства и борьбы противоположностей, но также и двоичность, парность, бинарность основных процессов (можно сформулировать как паттерн двоичности, бинарности основных процессов; см. об этом также в Главе 5).*

Напомним также, что Солнечная система располагается в звездном комплексе, а такие комплексы – в спиральных рукавах. Но что касается «нашего» звездного комплекса, в котором находится Солнце, то нельзя не отметить важную особенность: он (и соответствен-

но Солнце) размещается не в рукаве, а между основными спиральными рукавами Галактики, в одном из ответвлений, получившем название местного рукава Ориона – Лебедя. Другая особенность Солнечной системы связана с особым углом наклона рукава – он намного больше, чем у двух соседних рукавов (Гринин 2017: 28–29).

Средняя плотность Солнца меньше полутора граммов на кубический сантиметр ( $1,409 \text{ г/см}^3$ ), тогда как плотность газа в ядре –  $140\text{--}180 \text{ г/см}^3$  (Громов 2012). То есть плотность вещества в ядре и средняя плотность различаются на два порядка.

В центре Солнца температура достигает 14–15 млн градусов. А на поверхности, как мы увидим ниже, всего 5–6 тыс. градусов. То есть перепад температур составляет больше трех порядков! Но и на Земле (а равно и на некоторых других планетах, например, Юпитере, Сатурне) имеется нечто похожее. Ядро Земли отличается по температуре от поверхности также примерно на три порядка. Ядро раскалено до температуры несколько выше 6 тыс. градусов (Абрамова, Пшеничнер 2014: 22), то есть его температура приблизительно такая же, как на поверхности Солнца, а поверхность Земли холодная, во многих местах имеет температуру в несколько градусов.

**Структура.** Структура Солнца весьма сложная, и даже видимая и наблюдаемая его часть довольно быстро усложняется в наших представлениях благодаря новым открытиям.

Давно замечено, что звезды и другие небесные тела имеют схожую структуру. Солнце и планеты Солнечной системы – не исключение. Солнце условно можно разделить на три вложенные друг в друга части, примерно равные по радиусу. Эти зоны отличаются и функционально, и по энергетическим механизмам, но в итоге возникает целостный системный результат. И в этом отношении Солнце имеет системное сходство с другими сложными системами, в которых есть функциональное разделение между частями, например, с биологическими организмами. Для этих случаев можно говорить о принципе или паттерне *функционального разделения в рамках сложной системы*. В этом и состоит, собственно, системность: части целого образуют не конгломерат однородных элементов, а некоторую специализацию частей, каковая и обеспечивает целостность системы. Части взаимозависимы, они нуждаются друг в друге. Конечно, для биологических организмов

такой принцип кажется очевидным, а его формулирование – вроде бы банальным. Но если его распространить на звезды, то смысл становится более глубоким: мы видим менее сложные, но все-таки достаточно выраженные черты этого принципа в космических объектах. Можно найти функциональное разделение даже в таких универсальных системах, как атом или молекула, и это делает данный принцип поистине универсальным. В еще более сложных, чем биологические, то есть в социальных, системах он перерастает в разделение труда.

Итак, внутренняя треть Солнца – это зона энерговыделения, здесь идут ядерные реакции на водороде. Общеизвестно, что огромная масса Солнца благодаря силе тяжести создает сильный нагрев вещества в чрезвычайно плотных недрах Солнца (см. выше). А при высоких давлениях и температурах в ядре звезды начинаются реакции *термоядерного синтеза*. В процессе этих реакций при объединении ядер атомов водорода образуются ядра атомов гелия и некоторых других элементов. При этом, как известно, выделяется энергия в виде интенсивного электромагнитного излучения, которое выходит из недр звезды и распространяется в окружающем пространстве. Именно это обеспечивает нагрев окружающих вокруг Солнца тел и всего, что на них находится (Громов 2012; Язев 2011: 9–10). Промежуточная зона, можно сказать, выполняет функцию посредника. Это область лучистого переноса энергии. Вещество Солнца здесь уже недостаточно нагрето для ядерных реакций, но еще имеет довольно высокую температуру, обеспечивающую газу прозрачность. Это не значит, что здесь вообще не происходит перемешивания вещества, однако за транспортировку энергии отвечает главным образом лучистый перенос. И, наконец, третья, внешняя зона – это зона конвекции. Вещество в ней уже достаточно холодное, оно становится непрозрачным. В результате энергия задерживается в веществе, оно оказывается в состоянии тепловой неустойчивости. Поэтому перенос энергии из более глубоких слоев к поверхности осуществляется с помощью конвекции (Громов 2012). Последняя является очень важным механизмом не только для звезд, но и для планет, в частности для тех, которые имеют жидкое ядро или другие жидкие слои, а также для газовых планет. Конвекция проявляет себя также в атмосферах, гидросферах и т. д.

Таким образом, Солнце имеет три больших части/зоны: внутреннюю, где идут ядерные реакции, промежуточную – это зона переноса энергии, и внешнюю – зону конвекции. Троичное строение имеет место также на Земле и других планетах. Так, на Земле есть внутреннее ядро, внешнее ядро и мантия. В газовых планетах есть ядро, жидкая мантия и атмосфера, которая является частью планет. Троичная структура есть и в других системах, в частности в биологических (например, многие насекомые состоят из трех очевидных частей: голова, грудь и брюшко), в общественных, в Мир-Системе (ядро/центр – полупериферия – периферия), в биологической клетке также можно выделить ядрышко, ядро, цитоплазму.

Определенное сходство в строении между планетами (и спутниками планет) и Солнцем, конечно, во многом *задается гравитацией*. Последняя определяет и шарообразную форму<sup>12</sup>, и то, что более тяжелые элементы опускаются к центру, в котором образуется соответственно более тяжелое и плотное ядро. В такой похожести чувствуется и некий *эволюционный паттерн матрицы или повторения* (отбирающий наиболее экономные формы и структуры), который может повторяться или «копироваться» у менее крупных частей системы, у менее крупных тел. Это прослеживается и на других уровнях, особенно общественном, где структура центра так или иначе копируется провинциями.

**Оболочки, пятна и другие формы солнечной активности.** Об оболочках, которые формируют структуру небесных тел и ее взаимодействие с окружающей средой, ранее уже шла речь (Гринин 2013: 149; 2017: 50, 94). Мы также формулировали своего рода эволюционную идею: *наличие оболочек – важнейший способ (паттерн) отделения системы от внешней среды*. Эта идея является иллюстрацией правил формообразующего влияния среды на организм и правила роста устойчивости и приспособляемости систем (см.: Гринин и др. 2008). Внешняя оболочка, наружная часть – практически обязательный элемент всех достаточно сложных систем, хотя эти оболочки могут быть самыми разными (кожа, границы государства и т. д.). В любом случае, без нее нет саморегулируемой системы. Это, несомненно, важнейший паттерн, с которым мы не раз еще столкнемся, в частности в исследовании абиогенной

---

<sup>12</sup> Гравитация притягивает вещество к центру одинаково во всех направлениях, а давление точно так же одинаково отталкивает вещество во всех направлениях от центра.

химической эволюции в процессах создания предбиологических организмов (*Глава 11*). В данном же случае, несомненно, наличие структурная и частично функциональная схожесть Солнца с планетами и спутниками в строении оболочек и их роли.

Кстати, не исключено, что наружная часть Солнца в определенной мере более сложная (о ее сложности см. далее) или, по крайней мере, более разнородная, чем внутренняя. Более определенно, что внешняя оболочка Земли, то есть кора, пропорционально гораздо более сложная и неоднородная. В самом деле, мы знаем, что на Земле неоднородность земной коры создается за счет рельефа, гидросферы, ледников, атмосферы, которая имеет целый ряд собственных структурных элементов, а также их постоянного взаимодействия. Конечно, кажущаяся большая разнообразность и структурная сложность внешних оболочек Солнца и Земли может быть просто следствием нашего незнания, поскольку не только о глубинах Солнца, но и о глубинах Земли мы знаем не так много. Но все же мы полагаем, что в отношении тех или иных типов объектов можно говорить о некоей закономерности. Последняя связана с тем, что пограничные с другой средой части (поверхности, границы) в целом более сложны (на единицу площади, массы и т. д.), чем внутренние. В этом случае можно было бы говорить о *правиле относительного усложнения пограничных зон (частей), а также их повышенной эволюционности*.

Поверхность Солнца называется *фотосферой* («сфера света»). Она состоит из бурлящих газов температурой  $5500^{\circ}\text{C}$  (температура намного холоднее по сравнению не только с ядром, но даже с короной). На этой поверхности видны постоянные изменения в виде крапчатого явления, похожих на рисовые зерна гранул; данный феномен называется *грануляцией* (диаметр гранул от 300 до 1500 км)<sup>13</sup>. Оно вызвано присутствием ячеек горячего газа, булькающего в фотосфере подобно воде, закипающей в кастрюле. Край солнечного диска выглядит темнее, чем его центр. Это явление называется потемнением к краю и обусловлено тем, что газ в фотосфере в какой-то мере прозрачен, в результате чего в центре видны более глубокие области Солнца. В фотосфере различаются более

<sup>13</sup> В начале 2020 г. пришло сообщение, что американские астрономы с помощью телескопа DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope), расположенного на острове Мауи Гавайского архипелага, получили наиболее подробные на сегодняшний день снимки Солнца, которые показывают детали поверхности этой звезды с разрешением «всего» в 30 км, то есть в несколько раз больше, чем можно было наблюдать ранее.

горячие участки (так называемые *факелы*), которые выглядят более ярко, чем остальная часть поверхности, и более холодные. Последние – это всем известные солнечные пятна, которые выглядят темнее остальных областей поверхности Солнца. Их размеры могут равняться величине вышеупомянутых гранул, но могут превосходить во много раз размеры Земли (Ридпат, Тирион 2001: 293–294). Последние видны невооруженным глазом. Пятна – это временные образования. Предполагают, что они возникают там, где силовые линии магнитного поля выходят из глубин Солнца на поверхность фотосферы. Возможно, присутствие сильного магнитного поля препятствует выносу теплового потока из Солнца, и в результате возникает холодное пятно. Вероятно, это один из способов регуляции температуры и расхода энергии, фактически – форма саморегуляции (см. о ней: Гринин 2013; 2017). У пятна есть темная центральная область, называемая *тенью*, с температурой около 4000 °С, окруженная более светлой *полутенью* с температурой около 5000 °С.

Крупное пятно непостоянно, оно сначала растет, достигая примерно за неделю своего максимального размера, а потом сокращается, но более медленно, исчезая примерно за две недели. Интересно отметить, что пятна не являются особенностью только Солнца. Ниже мы увидим, что они есть и на планетах-гигантах, правда, в отличие от Солнца, эти пятна (по крайней мере, красное пятно на Юпитере и коричневое на Сатурне) присутствуют на них постоянно. Менее долговечным оказалось Большое темное пятно Урана.

Пятна Солнца образуют группы, размер групп наиболее крупных пятен достигает сотен тысяч километров (иными словами, этого достаточно, чтобы охватить большую часть расстояния от Земли до Луны). В максимуме цикла пятна расположены вблизи солнечного экватора, а поскольку наклон плоскости земной орбиты к солнечному экватору составляет чуть больше 7°, то выбросы оттуда могут задеть Землю, что время от времени и происходит (Громов 2012). Группа пятен может существовать на протяжении одного-двух оборотов Солнца (один-два месяца).

В размерах пятен и последовательности их поведения проявляется уже какая-то протоструктура, обусловленная силой магнитного поля и другими силами.

Дело в том, что обычно «группа пятен содержит два основных компонента, которые расположены в направлении восток – запад. Пятно, которое лидирует при движении по диску из-за вращения Солнца (р-пятно), обычно имеет больший размер, чем следующее за ним f-пятно. Предшествующие и последующие пятна имеют противоположные заряды, подобно концам подковообразного магнита. При этом пятна соединяются петлеобразными силовыми линиями (Ридпат, Тирион 2001: 293). Это тоже довольно частый паттерн, точнее, несколько паттернов: первый связан с тем, что какие-то феномены (регулярно или закономерно появляющиеся) нередко появляются группами<sup>14</sup>; второе – что эти групповые феномены имеют какую-то, обычно не очень сложную структуру. Но уже и она существенно их оформляет и характеризует. Как часто бывает в динамической системе, она нестабильна, в ней происходят сильные напряжения. Так, если силовые линии магнитного поля в сложной группе пятен запутываются, это приводит к так называемым вспышкам, то есть сильному и внезапному выделению энергии. Вспышка длится от нескольких минут до часа (на Земле это может быть заметно как северное сияние). Другой причиной северного сияния, даже более мощной, чем вспышки, являются так называемые корональные выбросы массы, то есть огромные пузыри горячего газа, извергаемые Солнцем.

Некоторые структурные компоненты внешней части Солнца с Земли видны только во время полного солнечного затмения, когда сверкающая фотосфера скрывается и не мешает видеть более слабое свечение (примерно так, как мы видим ночью звезды). Это хромосфера, солнечная корона и протуберанцы. Подобно остальным образованиям на поверхности Солнца, они контролируются магнитным полем (Там же: 296).

*Хромосфера* – это тонкий слой газа, находящийся над фотосферой, глубина хромосферы – около 10 000 км. Во время затмения хромосфера видна как розоватый серп над Солнцем, за что она и получила свое название, которое переводится как «цветная сфера».

---

<sup>14</sup> Мы описали это явление как *распространенный случай в эволюции*: появление (образование, рождение) либо одиночных, либо парных (групповых) объектов – в данном случае при появлении новых объектов, но здесь речь идет о повторяющихся процессах.



Розовый цвет обусловлен свечением водорода. Огромные выбросы газа, тянущиеся из хромосферы в космическое пространство и также имеющие розовый цвет, называются *протуберанцами*. Они могут простираются от Солнца на огромные по земным меркам расстояния – 100 тыс. км и даже более, и порой видны в течение нескольких месяцев. Это так называемые спокойные протуберанцы, но есть те, что живут несколько часов (*эруптивные протуберанцы*). Они видны как вспышки на краю Солнца, выбрасывающие вещество в пространство со скоростью около 1000 км/с (Ридпат, Тирион 2001: 296).

*Корона* – это слабо светящееся газовое гало (гало обычно есть у любой звезды), которое представляет собой как бы венчающий Солнце ореол.

Очертания короны меняются на протяжении солнечного цикла. Лучи коронального газа (они похожи на лепестки) выходят из экваториальной области Солнца, а короткие перья – из полярных областей. Корона состоит из очень разреженного газа температурой от 1 до 2 млн °С. Тот факт, что более далекая от Солнца корона в десятки раз горячее поверхности Солнца, является загадкой. Каким-то образом это связано с саморегуляцией нашей звезды. В следующей главе мы увидим, что нечто подобное происходит и в атмосфере Земли, где после так называемой мезопаузы температура от –68 °С вновь начинает расти и вырастает в ионосфере до +700–1500 °С, то есть становится намного горячее поверхности Земли.

Многие внешние для нас проявления активности Солнца имеют общий механизм. И не случайно все формы солнечной активности – пятна, вспышки и протуберанцы – имеют 11-летний цикл (Там же: 296). Это позволяет говорить о том, что, во-первых, имеется какая-то общая причина такой цикличности, пока науке неизвестная. Налицо наиболее распространенный паттерн эволюции и вообще существования мира: *одни и те же причины внешне обычно проявляются вариативно*, иногда с очень широкими вариациями. Вновь мы видим, что один и тот же феномен весьма разнообразен, можем наблюдать огромный спектр проявлений в прин-

ципе единого процесса в самых разных характеристиках. Это многообразие в единстве всегда поражает, и очень трудно добраться до причины возникновения этого единства, которую раньше философы любили называть сущностью. Ну и, конечно, *цикличность* – также очень распространенный на всех уровнях эволюции и жизни, на всех линиях паттерн.

Газ из короны выбрасывается в Солнечную систему непрерывно. Он образует *солнечный ветер*, который играет *определенную роль и в геологии планет, особенно безатмосферных*. Заряженные частицы солнечного ветра, которые фиксируются на Земле, имеют скорость около 400 км/с. Интересным и наиболее заметным его проявлением является отклонение кометных хвостов от Солнца. Солнечный ветер простирается далеко за пределы орбиты самой удаленной планеты, в конечном счете смешиваясь с разреженным межзвездным газом. В этом смысле можно считать, что все планеты Солнечной системы находятся внутри короны Солнца (Ридпат, Тирион 2001: 296). Таким образом, дальное действие Солнца особенно заметно в связи не только с гравитацией, но также с солнечным ветром и переносом энергии. Здесь мы видим удаленное влияние, которое выходит за рамки границ Солнечной системы. Это показывает, что полностью закрытых систем не бывает.

Солнце вращается вокруг своей оси. Вращение по оси занимает примерно 25 земных суток. Его можно наблюдать по движению солнечных пятен по поверхности, что является частью общего движения звезды вокруг своей оси. Наблюдения показывают, что скорость вращения пятен уменьшается по мере приближения к полюсам, где период вращения вокруг оси может достигать 38 дней. Таким образом, Солнце вращается не как твердое тело, а дифференцированно, то есть оно движется быстрее на экваторе и медленнее на полюсах. Это связано с тем, что Солнце не является твердым телом. Газовые гиганты, которые, как и Солнце, не являются твердыми телами, тоже имеют дифференциальное вращение. Как известно, Солнце и вся Солнечная система также вращаются вокруг центра галактики Млечный Путь. Один оборот занимает около 230 млн лет.

**Загадка вращательного момента в Солнечной системе.** Медленность вращения Солнца вокруг своей оси связана с передачей его вращательного момента орбитальному моменту планет (Холщевников 2012а: 64). Это одно из наиболее странных явлений, о котором мы уже писали (Гринин 2017: 132–133).

Существует загадка момента количества движения, который почти весь сосредоточен почему-то в планетах и других малых телах (98 % количества движения Солнечной системы)<sup>15</sup>. А на Солнце приходится всего 2 % этой величины, хотя его масса составляет более 99 % всей массы Солнечной системы (Язев 2011: 347–348).

Если момент вращения отнести к единице массы, введя, таким образом, удельный угловой момент, то различие получится в 50 тыс. раз: обладая малой суммарной массой, планеты и другие малые тела обладают огромным угловым моментом. Этот факт требует объяснения (Там же).

И. С. Шкловский (1987: гл. 10) дает весьма любопытный комментарий к проблеме момента количества движения. Он предлагает рассмотреть следующий мысленный эксперимент. Что было бы, если бы все планеты Солнечной системы слились с Солнцем? Так как в изолированной системе момент количества движения должен сохраниться, а масса всех планет ничтожно мала по сравнению с массой Солнца, то последнее с необходимостью должно было бы вращаться с экваториальной скоростью, в 50 раз большей, чем сейчас (так как его вращательный момент должен был бы увеличиться с 2 до 100 % полного момента количества движения Солнечной системы, *поскольку существует закон сохранения количества движения*). Следовательно, экваториальная скорость вращения Солнца стала бы близкой к 100 км/с. Но это как раз нормальная скорость вращения звезд, более массивных и горячих, чем оно. Напрашивается важный вывод: скорость вращения Солнца, которая когда-то была довольно высокой, резко уменьшается (в 50 раз) благодаря тому, что основная часть момента количества движения была передана планетам.

---

<sup>15</sup> Момент количества движения может быть определен как «запас вращения» системы. Это вращение складывается из орбитального движения планет и вращения вокруг своих осей Солнца и планет (Шкловский 1987).

В связи со сказанным заметим: одна из особенностей космических сил заключается в том, что здесь почти всегда получается (как и должно быть в математике), используя социологический термин, *нулевая сумма*, то есть если у кого-то прибавилось, следовательно, у кого-то убавилось. Это жесткая система, которая явно ограничивает возможности накопления изменений и эволюции. На более высоких уровнях эволюции это смягчается, поскольку приобретение одних не всегда становится потерей для других, во всяком случае, в биогеоценозах мы видим сложную систему взаимовыгодного использования ресурсов. Еще больше это смягчается в социальной сфере. Словом, *чем дальше развитие отходит от системы с нулевой суммой, тем быстрее происходит накопление изменений и развитие.*