

**Ф.Ю. Зигель**

**Путешествие по недрам  
планет**

**Популярная литература**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 52  
ББК 22.6  
Ф11

Ф11      **Ф.Ю. Зигель**  
Путешествие по недрам планет: Популярная литература / Ф.Ю. Зигель – М.:  
Книга по Требованию, 2021. – 218 с.

**ISBN 978-5-458-29312-9**

В увлекательной форме рассказано о первых успехах нового направления в науке — сравнительной планетологии. Читатель узнает о новейших достижениях геофизики в изучении недр планеты и спутников, космических связях геофизики, роли гравиметрии в определении фигуры Земли, предсказаниях землетрясений, вулканических процессах на планетах. Значительное место удалено проблемам происхождения Солнечной системы и планет, использованию их недр для технических нужд человечества. Доп. информация: Для широкого круга читателей. Из введения: Мы плохо знаем нашу Землю. Самые глубокие буровые скважины достигают глубин около 10 км, что составляет менее 1/600 земного радиуса. О том, что творится в недрах Земли, нам известно лишь по косвенным данным, которые подчас можно истолковывать по-разному. До сих пор не прекращаются споры о природе центрального ядра Земли, происхождении нефти, расширении земного шара. Легко указать и ряд других дискуссионных тем в области геофизики и геологии. Не лучшие обстоят дело и с изучением внешней газовой оболочки Земли. Неудачные прогнозы погоды (а они весьма часты) говорят не только о сложности проблемы, но и о плохой изученности многочисленных связей между Землей и Солнцем. Земная магнитосфера, как признают специалисты, изучена очень поверхностно. Долгое время считалось, что земная атмосфера постепенно сходит на нет где-то на высотах 1000—2000 км. Сенсационным оказалось недавнее открытие вокруг нашей планеты внешней плазменной оболочки. Хотя ясно, что процессы в ней оказывают громадное влияние на Землю и солнечно-земные связи, механизм этих процессов пока не известен. Между тем в этом случае речь идет о причинах магнитных бурь, полярных сияний, нарушениях радиосвязи, что имеет большое практическое значение.

**ISBN 978-5-458-29312-9**

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

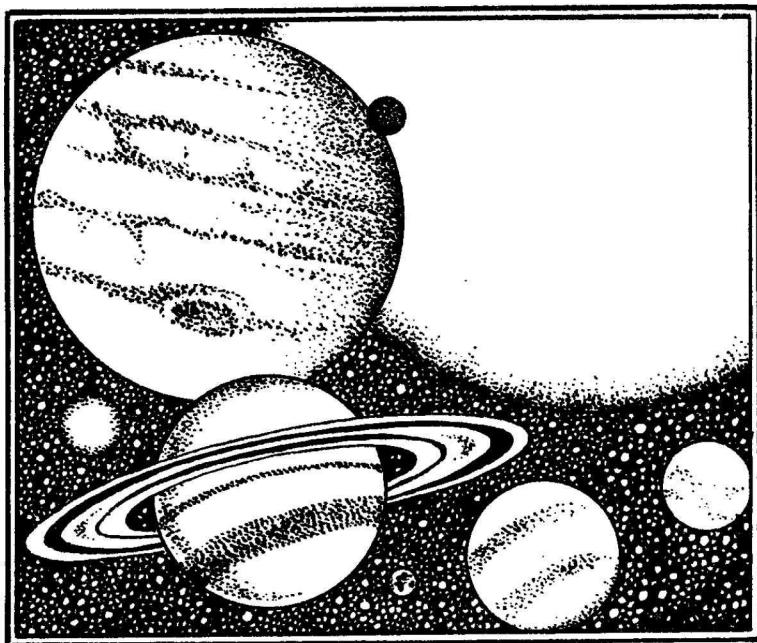
Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



планетами и Землей, привлечет наше особое внимание.

Успехи космонавтики за последние годы существенно пополнили наши знания о Солнечной системе. В этой иерархии планет Земля занимает среднее место, возглавляя группу планет земного типа. Для нас она навсегда останется родиной, домом, хотя человечество предполагает и впредь осваивать космические дали. В этой титанической работе знание физической природы планет совершенно необходимо. Автор надеется, что и о Земле в книге для многих найдется что-то новое, неизвестное и это рассеет ложное предубеждение, что нам о Земле все известно. Эволюция жизни на Земле тесно связана с ее недрами, с взаимодействием различных оболочек Земли — геосфера. Двум из них — биосфере и ноосфере — в книгеделено особое внимание. В любом случае приобретение новых знаний доставит любознательному человеку высокое интеллектуальное удовлетворение.



## О ТЕЛАХ МАССИВНЕЕ ЗЕМЛИ

Самые простые на свете тела --  
это звезды...

*К. Эддингтон*

Центрами максимального сгущения  
материи и энергии в Галактике  
являются звезды...

*В. И. Вернадский*

Подавляющее большинство космических тел гораздо массивнее Земли. Эти тела мы называем звездами и они составляют типичное «население» космоса. Есть немало убедительных аргументов в пользу того, что наша планетная система далеко не уникальна. Подобные системы, скорее всего, есть вокруг многих звезд. Однако не все из них обладают населенными планетами, подобными Земле. Пример Солнечной системы наглядно показывает, что для возникновения и развития жизни нужно особое сочетание массы планеты и внешних условий. Так что существование планетной системы само по себе еще не является гарантией того, что в окрестностях данной звезды существует жизнь.



## Недра звезд

Любаясь звездным небом, человек не всегда сознает, что перед его глазами — самые распространенные космические образования. И наоборот — земная твердь, ощущаемая под ногами, — это величайшая редкость, и по крайней мере по массе планетам в космосе отведена незначительная роль.

Любой, самый неискушенный наблюдатель замечает не только разницу в блеске звезд, но и различие в их окраске. Причина этому — размеры звезд, их температура и расстояние до них. Но, как бы ни были многообразны звезды, их объединяет одно — это тела самосветящиеся, излучающие свет за счет своей внутренней энергии. Одно время полагали, что эта энергия выделяется при постепенном сжатии звезды. Подобно тому, как накачивая велосипедным насосом камеру, Вы заставляете его разогреваться, сжатие за счет гравитации исполинского газового шара звезды неизбежно вызывало его разогрев. Правда, подсчеты вскоре показали, что такой механизм не может обеспечить самосвечение звезды в течение миллиардов лет.

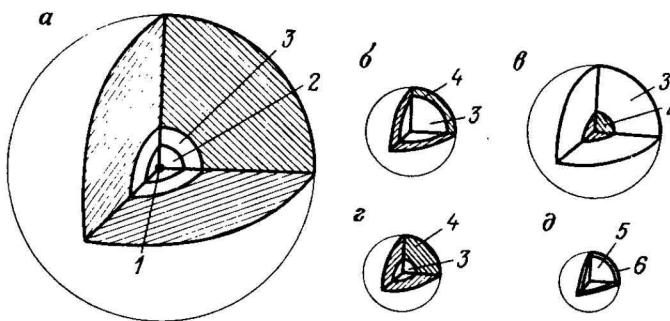
Несостоятельной оказалась и другая гипотеза — предположение, что звезда разогревается за счет непрерывного падения на нее метеоритов. Наконец, только к середине текущего века нашлось как будто правильное решение — энергия звезд поддерживается теми ядерными реакциями, которые совершаются в их недрах. Трудно наглядно представить себе эти недра, где давление газа достигает миллиарда мегапаскалей, а температура — миллиона градусов. Теоретики-астрофизики строят модель звезды и происходящих внутри нее ядерных реакций, а затем сравнивают эту умозрительную схему с наблюдениями. Кто-то из них однажды сказал, что самое простое на свете — это звезда. И на самом деле, даже любое мельчайшее знакомое нам живое существо несравненно сложнее звезды. Речь идет не только о сложных высокомолекулярных соедини-

ниях, составляющих тело всех организмов, но и о тех процессах, которые поддерживают в них жизнь.

А звезда на самом деле устроена очень просто. Это водородно-гелиевый газовый шар, в каждой точке которого тяготение к центру уравновешивается силой давления газа. Для обычных широко распространенных звезд температура их центральных областей заключена в пределах от 10 до 20 млн. градусов. Так как на поверхности звезд температура значительно ниже, чем в их центре, в любой звезде совершается постоянный перенос энергии изнутри наружу. Механизмом этого переноса может служить как лучеиспускание, так и конвекция. Достигнув поверхности, внутренняя энергия звезды излучается в пространство.

Устойчивость любой звезды объясняется противоборством двух главных сил — тяготения и давления газа. Первая заставляет звезду сжиматься, но упругость газа, или, как говорят, его давление, этому препятствует. Равновесие двух сил в каждой точке звезды и обеспечивает ее стабильность как космического тела. При некоторых допущениях можно рассчитать, как распределяются плотность, давление и температура вдоль каждого радиуса звезды, т. е., иначе говоря, построить модель звезды, дающую представление о ее общем строении. В современных моделях звезд учитываются не только гравитация и упругость газа, но и потоки электромагнитной энергии, излучаемой звездой. Эта энергия также должна участвовать в создании равновесия внутри звезды, а потому расчеты звездных моделей — дело весьма трудоемкое, требующее привлечения быстродействующих электронно-вычислительных машин.

Рассмотрим теоретические модели некоторых типов звезд. Красные гиганты (рис. 1,*a*) имеют небольшое гелиевое ядро, в котором температура практически постоянна (изотермическое ядро). Это ядро окружено узкой зоной, в которой выделяется энергия за счет термоядерных реакций. Далее следует зона, где энергия переносится лучеиспусканием. В остальной же части звезды энергия передается конвекцией, т. е. за счет перемешивания вещества. У звезд разных участков так называемой главной последовательности ядра сильно различаются. У бело-голубых звезд (рис. 1,*a*) сравнительно небольшое конвективное ядро окружено зоной



**Рис. 1. Модели некоторых типов звезд.**

*a* — красный гигант; *б* — Солнце; части главной последовательности; *в* — верхняя (бело-голубые звезды), *г* — нижняя (красные карлики); *д* — белый карлик; *1* — изотермическое гелиевое ядро; *2* — энерговыделяющий слой; *3* — зона переноса энергии излучением; *4* — конвективная зона (ядро); *5* — вырожденный электронный газ; *6* — идеальный газ

«лучистого» переноса энергии. В нижней части той же последовательности, т. е. у красных карликов (рис. 1,*г*), роль этих зон, как видит читатель, меняется. У звезд типа Солнца (рис. 1,*б*) толщина конвективной зоны составляет примерно одну седьмую радиуса звезды.

Несколько особняком стоят белые карлики (рис. 1,*д*). В основном они состоят из так называемого «вырожденного газа» — смеси свободных электронов, протонов и альфа-частиц. В этом газе главную роль играют электроны — ими определяется давление вырожденного газа, температура которого близка к 10 млн. градусов. Снаружи белый карлик окружен оболочкой из обычного идеального газа<sup>1</sup>.

Какие же процессы совершаются в недрах звезд? Общего ответа на этот вопрос пока нет. У разных звезд различны и термоядерные реакции.

Большинство современных астрономов считают, что в недрах Солнца при температуре около 14 млн. градусов водород «перегорает» в гелий за счет так называемого протон-протонного цикла ядерных реакций. Этот цикл состоит из трех этапов.

<sup>1</sup> Идеальным называется сжимаемый газ, подчиняющийся закону Бойля — Мариотта, т. е. газ, силами взаимодействия между молекулами которого можно пренебречь.

*Этап первый.* Водород  ${}^1\text{H}$  превращается в дейтерий D (изотоп водорода с атомной массой 2) с выделением позитронов  $\beta^+$  и нейтрино  $\nu$ . Схематически это можно записать как  ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow \text{D} + \beta^+ + \nu$ .

Напомним читателю, что позитрон — это частица, по массе равная электрону, но имеющая положительный заряд, а нейтрино — электрически нейтральная частица исчезающее малой массы.

*Этап второй.* Дейтерий при взаимодействии с водородом превращается в изотоп гелия с атомной массой  ${}^3\text{He}$ . Этот процесс сопровождается гамма-излучением ( $\gamma$ ) — электромагнитным излучением с очень малой длиной волны:  $\text{D} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$ .

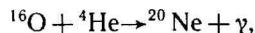
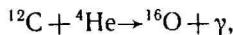
*Этап третий.* Два атома изотопа гелия превращаются в нормальный атом гелия  ${}^4\text{He}$  и два атома водорода:  ${}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^1\text{H}$ .

Таким образом, в ходе протон-протонного цикла ядерных реакций водород превращается в гелий. При синтезе ядер гелия часть вещества (за счет так называемого «эффекта упаковки») превращается в излучение. Количество выделяемой при этом энергии можно вычислить по формуле Энштейна:  $E = mc^2$ , где  $E$  — количество выделенной энергии;  $m$  — масса вещества, превратившегося в излучение;  $c$  — скорость света (300 000 км/с).

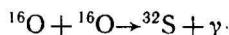
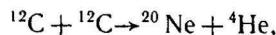
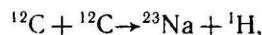
Таким образом, Солнце светит и... «тает», непрерывно уменьшаясь в массе. Каждую секунду Солнце превращает в излучение 4 млрд. тонн своего вещества. Тем не менее запасы вещества Солнца так велики, что термоядерные реакции могут обеспечить его свечение на миллиарды лет!

В центральных ядрах звезд-гигантов и сверхгигантов водорода практически нет, температура здесь достигает сотен миллионов градусов и источником энергии таких звезд служат процессы превращения гелия в углерод по схеме:  ${}^3\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$ , где  $\gamma$  — выделяемое в ходе ядерных процессов коротковолновое излучение. Расчеты для принятых звездных моделей показали, что запасов гелия в гигантских звездах хватит лишь на 10 млн. лет. После этого, если масса звезд достаточно велика, произойдет сжатие ядра звезды, сопровождающееся повышением температуры до 500 млн градусов. Наступит (продолжающийся несколько сотен тысяч лет) период синтеза все более сложных атом-

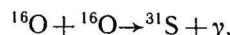
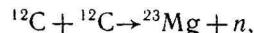
ных ядер (с участием оставшихся в небольшом количестве ядер гелия). Схематически это можно изобразить так:



Чудовищная температура в 500 млн. градусов все же недостаточна для синтеза более тяжелых элементов. Требуются температуры более 3 млрд. градусов, чтобы начались, например, такие реакции:



Реакции этого типа в конце концов могут привести и к образованию ядер атомов железа. При сверхвысоких температурах в недрах звезд совершаются и такие процессы:



где  $n$  — свободные нейтроны. Они играют весьма значительную роль. Попадая снова в ядро какого-нибудь элемента, нейtron может превратиться в протон, при этом порядковый номер атомного ядра повысится. Так могут возникать тяжелые элементы до висмута  $^{209}\text{Bi}$  включительно.

Замечательно, что переход от одного типа ядерных реакций к другому сопровождается сжатием и разогреванием звезды — процессом, который был предсказан еще Г. Гельмгольцем, но получил ныне иное истолкование. В некоторых случаях сжатие звезды может привести к резкому выделению из ее недр энергии, т. е.

фактически к взрыву звезды, при котором в ее недрах синтезируются наиболее тяжелые из химических элементов. Таким образом, в современных моделях звезд эти космические тела рассматриваются как ядерные топки, в которых за счет ядерных реакций происходит синтез всех химических элементов, от гелия до самых тяжелых.

Расчеты показывают, что через 5 млрд. лет ядро Солнца сожмется до плотности  $10^6$  г/см<sup>3</sup>, а диаметр его будет в 100 раз меньше нынешнего поперечника Солнца. Остальное же вещество Солнца образует расширяющуюся и постепенно охлаждающуюся атмосферу, окутывающую сжавшееся ядро. Иначе говоря, Солнце превратится в красный гигант. За несколько десятков тысяч лет оболочка этого гиганта пройдет через орбиту Земли и рассеется в межзвездном пространстве. На месте же теперешнего Солнца останется сжавшееся ядро, т. е. белый карлик. Во время всех этих метаморфоз температура на нашей планете сначала возрастет до 1000 °C, а затем постепенно уменьшится почти до абсолютного нуля ( $-273$  °C). Такая судьба ожидает Солнце и Землю, если принимаемые ныне теоретические модели звезд соответствуют действительности.

Полной уверенности в этом, впрочем, нет. Не исключено, что источником энергии Солнца и звезд служат не ядерные реакции, а совершенно иные процессы. По этой причине нынешние пессимистические прогнозы могут и не оправдаться. В этом отношении показательна история с солнечным нейтрино. Как уже отмечалось, нейтрино возникает внутри Солнца при совершающихся там ядерных реакциях. Так как эти элементарные частицы обладают фантастической пробивной способностью, поток нейтрино практически беспрепятственно должен доходить до Земли. Однако, несмотря на очень тщательные и многолетние попытки уловить солнечные нейтрино на Земле, до сих пор это не удалось.

Несколько лет назад группа астрономов Крымской астрофизической обсерватории во главе с академиком А. Б. Северным открыла, что Солнце имеет очень малые колебания с амплитудой около 10 км и периодом 2 ч 40 мин. Такие колебания могли возникнуть только в том случае, если Солнце имеет почти однородную

структурой. Но тогда, по расчетам А. Б. Северного, в центре Солнца температура достигает всего 6,5 млн. градусов, чего явно недостаточно для протон-протонного цикла. Как объяснить это несоответствие, пока неясно. Однако замалчивать его бессмысленно, так как нередко из таких «мелких недочетов» рождаются великие открытия.

Массы огромного большинства звезд составляют от 0,05 до 80 масс Солнца. Но есть уникальные объекты, значительно превосходящие эту величину. В соседней с нами звездной системе (Большом Магеллановом Облаке) недавно обнаружена сверхзвезда, излучающая свет в 100 миллионов раз сильнее Солнца. Несложные расчеты показывают, что по поперечнику она в 90 раз превосходит наше дневное светило, а вещества в ней хватило бы на изготовление 3 200 солнц! Современная теория внутреннего строения звезд не может объяснить устойчивость подобного образования — считается, что звезда с массой более 100 солнечных масс неизбежно развалится на части под действием «распирающего» ее изнутри светового давления. Не исключено, что некоторые квазары (квазизвездные радиоисточники) представляют собой сверхзвезды с массой в миллиарды раз больше солнечной. Теоретически объяснить устойчивость таких объектов пока не удается.

Со стороны малых масс мы, очевидно, вправе ожидать существование объектов, по массе промежуточных между наименьшими из известных звезд и наибольшими из знакомых нам планет. В 1983 г. на расстоянии всего 28 световых лет<sup>1</sup> был замечен странный объект, получивший наименование «бурый карлик». Размеры его сравнимы с размерами планет, масса настолько мала, что термоядерные реакции в его недрах просто невозможны, а тусклое свечение бурого карлика возникает за счет обычного гравитационного сжатия. Этот объект, обозначенный LHS2924, излучает в основном в инфракрасной области спектра, а температура его поверхности близка к 1950 °С. Не исключено, что межзвездное пространство заполнено множеством таких бурых карликов, которых мы не замечаем из-за их крайне малой светимости.

<sup>1</sup> Световой год — единица звездных расстояний, равен пути, который свет проходит за год, т. е.  $9,46 \cdot 10^{12}$  км.

Звезды хотя и долговечны, но не вечны. Для каждой из них неизбежно наступит момент, когда спустя миллиарды лет после рождения звезда погаснет, покроется твердой корой и в конце концов превратится в то, что принято называть «звездным трупом». Дальнейшая судьба таких бывших звезд неизвестна, хотя их существование вряд ли можно оспаривать. Известный американский астроном Х. Шепли (1885—1972 гг.) назвал эти темные тела лилипутами, что вполне оправдано их малой массой.

«В конце концов,— писал он<sup>1</sup>,— нам может быть удастся пронаблюдать их радиоизлучение (если эти невидимые тела обладают электрически заряженными атмосферами) или усиление их вулканической активности. Одно из таких тел может в один прекрасный день забрести в нашу планетную систему и мы сможем обнаружить его по отражению им солнечного света или по возмущениям движения наших самых внешних планет и комет».

Произойдет это событие или нет, никто, конечно, не знает. Пока же природа предоставила нам возможность изучать тела, которые долгое время считались полузвездами, сочетающими в себе некоторые качества звезд и планет. Возглавляет их величайшая из планет Солнечной системы — Юпитер, названная именем верховного бога древних римлян.



### Величайшая из планет

В 1913 г. в очередном издании своей знаменитой «Популярной астрономии» К. Фламмарион писал: «Юпитер, по-видимому, еще формирующийся мир, который недавно — несколько тысяч веков тому назад — служил Солнцем в своей собственной системе». Так можно было

<sup>1</sup> Шепли Х. Звезды и люди.— М.: Иностранная литература, 1962.