

Короновский Н. В.
Брянцева Г. В.

ЗЕМЛЯ: таинственная и незнакомая

Просто о сложном



УДК 55
ББК 26
К66

Короновский Н. В., Брянцева Г. В.

К66 Земля: таинственная и незнакомая. Просто о сложном / под ред. В. С. Яценкова. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 152 с.: ил.

ISBN 978-5-93700-188-7

В этой небольшой книге, несмотря на ее скромный объем, мы рассмотрим много проблем, связанных со строением Земли, а главное – обсудим степень достоверности наших знаний. Простым и понятным языком рассказывается о достижениях современной науки; изложены самые важные теории, описывающие происхождение и строение Земли, формируется представление о различных процессах и геологических событиях на нашей планете.

Книга адресована широкому кругу читателей, которые интересуются планетой, на которой мы живем, – от школьников до взрослых, ученых и любителей науки.

УДК 55
ББК 26

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-93700-188-7

© Короновский Н. В., Брянцева Г. В., 2022
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2022

Оглавление

Введение	5
Рождение из хаоса	7
Зарождение Солнечной системы.....	12
Солнце – что внутри и почему оно светит и греет?	17
Что ждет Солнце в будущем?	22
О чем нам говорят астероиды, метеориты и кометы?	24
Астроблемы – звездные раны Земли.....	30
Рождение Земли и Луны	38
Удивительная форма Земли, о которой мы узнали недавно	46
Как геофизика позволила заглянуть вглубь Земли.....	48
Геосферы Земли	51
Магнитное поле Земли	63
Как Луна влияет на Землю?	67
Как образовались внешние геосферы Земли и когда на ней появились вода и кислород?	70
Глобальное потепление – миф или реальность?.....	74
Когда и как возникла жизнь на Земле и как она развивалась	78
Гидросфера – как она появилась на Земле?	83
Океаны.....	85
Осадконакопление в океанах.....	94

Полезные ископаемые в океане	104
Ледниковые периоды, оледенения и криолитозона	109
Континенты (литосферные плиты) и суперконтиненты.....	116
Магматические породы	126
Процессы в земной коре и в верхней мантии	128
Почему земная кора сминается, словно лист бумаги?	136
Может ли Земля изменять свой объем?	141
Природные ресурсы – надолго ли их хватит человечеству?	143
Заключение.....	145
Список рекомендуемой литературы	148
Предметный указатель	150

Рождение из хаоса

Глядя на небо в ясную ночь, мы видим бесконечную россыпь мерцающих звезд, сливающихся в светлую полосу, пересекающую небосвод (рис. 1), и яркий диск Луны. Звезд очень много, обычно мы говорим – тысячи звезд, но на самом деле их сотни миллиардов в одной только галактике Млечный Путь (ГМП) (иногда ее называют просто Галактика), к которой относится и наша Солнечная система. Галактика по космическим меркам относительно невелика, ее диаметр «всего» 100 000 световых лет. А световой год – это $9,6 \times 10^{12}$ км. Галактика Млечный Путь имеет вид спирали, которая, вращаясь, делает один оборот за 240 млн лет. Не исключено, что в центре галактики Млечный Путь существует черная дыра, как в ядрах других спиральных галактик. В одном из спиральных рукавов, носящем название Рукав Ориона, находится крохотная звездочка – желтый карлик класса G2V (рис. 2). Эта звезда и есть наше Солнце, вокруг которого вращаются восемь планет, включая и маленькую Землю.



Рис. 1. Галактика Млечный путь (<https://photogenica.ru/preview-DP.php?directZoom=OWxISGh5TW9NeGRua2NTWndmbVA0aELia0VyeVNYUm5kYlFmVDNqcmF4Tlp2QnU0VmxZNE5QeFJldWFld01Ra1lrajNiU045K0hoa2VHbUZqN00xYmtrWTRFaTc2blFyY3FIVlNQYXdkdVQ4ZHRFTTd3MnJwRnREazdNek5vTHhYNIIMxWk01N21ZWdZ6WTB1NStKdCt3PT0=&hash=2d0b8b37188a5cd5023279d7078b4483e0989ce1bcb84353dbf98d4d03b741b2>)

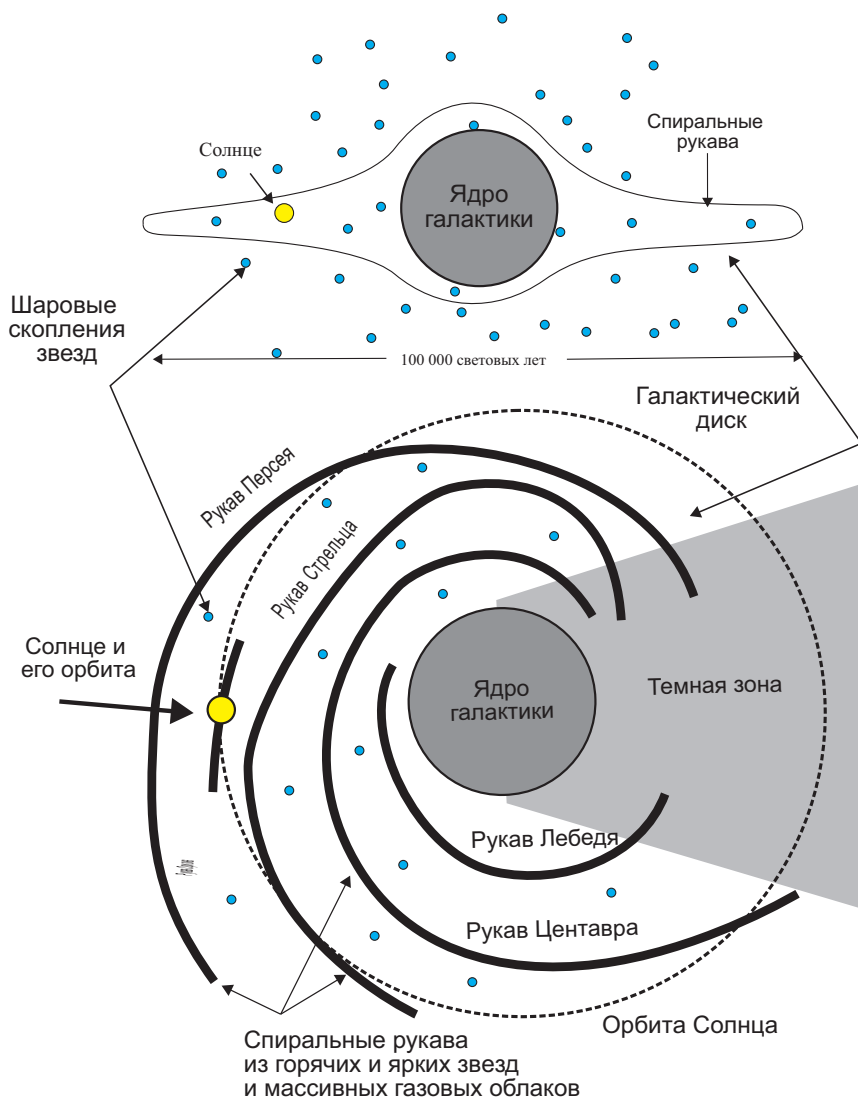


Рис. 2. Строение галактики Млечный Путь

Когда, как и почему возникла Солнечная система? Этот вопрос всегда занимал лучшие умы человечества, но и сейчас еще многие вопросы остаются без ответа или вызывают споры, хотя мы за последнее время и многое узнали.

Галактика Млечный Путь представляет собой всего лишь небольшое скопление звезд, в одном из рукавов которого мы находимся, тогда как галактик в обозримой части Вселенной насчитывается много миллиардов; и где находится край этой Вселенной, и есть ли он вообще, нам доподлинно неизвестно. В том пространстве, которое мы можем наблюдать, находится лишь примерно $1/8$ или $1/9$, а то и меньше массы вещества, из которого, согласно расчетам, должна состоять Вселенная. Следовательно, $8/9$ массы Вселенной от нас скрыто или находится вне горизонта нашего обозрения. В последнее время ученые обсуждают теорию существования Мультивселенной, согласно которой вселенных много и наша Вселенная – лишь одна из них. Но установить, как далеко она простирается, невозможно в принципе.

Давайте попытаемся выяснить, как же все-таки возникла Вселенная. Проблема возникновения Вселенной, или универсума, с глубокой древности занимала умы ученых. В давние времена в различных культурах существовали мифы и сказания о сотворении мира, которое происходило очень быстро, почти мгновенно. Впоследствии были созданы различные теории, в которых обычно тоже отводилось очень мало времени на «сотворение» всего существующего, включая универсум. Так как же «все» возникло из «ничего»?

Предполагается, что рождение «всего» произошло примерно 14 млрд лет тому назад и все вещество Вселенной возникло из крохотной точки, вещество которой обладало немыслимо высокой температурой – более 10^{40} °C – и столь колоссальной плотностью, которую современная физика не может даже описать. Такое состояние бельгийский ученый Ж. Леметр в 1927 г. назвал *сингулярным*. И все это вещество вдруг начало расширяться, одновременно остывая и выделяя огромное количество энергии. Но сразу возникает вопрос – а что было вокруг этой начальной точки, этого сингулярного состояния «всего»? Есть предположение, что *все* было в сингулярном состоянии, и *все*, а не точка начало расширяться. Но это только предположение, как, впрочем, и первое.

В России в 1922–1924 гг. А. А. Фридман, основываясь на общей теории относительности Эйнштейна, доказал, что одним из объяснений явления расширяющейся Вселенной является грандиозный взрыв вещества, находящегося в сверхплотном состоянии, или, как его называли, Большой взрыв (от англ. *big bang*). Проблема

существования космологической сингулярности является одной из наиболее серьезных проблем физической космологии, поскольку никакие сведения о том, что было после Большого взрыва, не могут дать никакой информации о том, что происходило до этого. О самом начале Большого взрыва тоже пока ничего не известно. Мы знаем лишь, что после Большого взрыва вся существующая материя остывала и расширялась, и одновременно выделялось огромное количество энергии, что спровоцировало колоссальное увеличение Вселенной во много раз. Это явление назвали *инфляцией*. По мере остывания первичного вещества в нем возникли и выделились наиболее легкие элементы – водород, гелий и литий. На этом этапе возникло *реликтовое* микроволновое излучение, открытое американскими астрономами А. Пензиасом и Р. Вилсоном в 1964 г., впоследствии получившими за это открытие Нобелевскую премию. Это фоновое излучение имеет одинаковую интенсивность по всем направлениям, не зависит от времени суток и представляет собой реликт равновесного электромагнитного излучения с очень высокой первоначальной температурой, существовавшего на самых ранних стадиях образования Вселенной, сразу же после начала Большого взрыва. Можно сказать, что реликтовое излучение – это эхо Большого взрыва.

В 1925 г. астроном Эдвин Хаббл, работая с самым крупным на то время телескопом, выявил далекие галактики, которые удаляются от нас. И чем дальше располагается галактика, тем она быстрее удаляется. Однако галактики не просто отдаляются от нас, а как бы разбегаются все от всех (рис. 3). И это расширение «всех от всех» в настоящее время хорошо подтверждается рядом экспериментальных фактов. Иными словами, все пространство расширяется, и чем дальше от условного центра расширения находится объект, тем быстрее он удаляется. **Разбегание галактик и их скоплений** доказывается хорошо известным из физики эффектом Доплера, который заключается в том, что спектральные линии поглощения в наблюдаемых спектрах удаляющегося от нас объекта всегда смещаются в красную сторону, а приближающегося – в голубую. Во всех случаях наблюдения спектральных линий поглощения от галактик и далеких звезд смещение происходит в красную сторону, причем чем дальше отстоит от нас объект наблюдения, тем смещение больше.

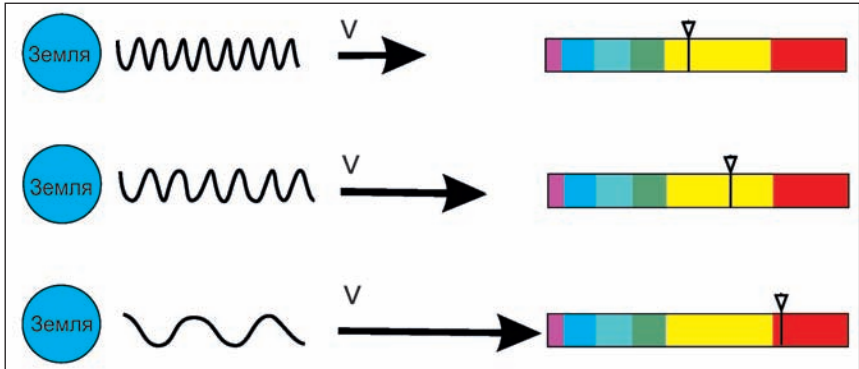


Рис. 3. Доказательство Большого взрыва. Все объекты Вселенной от нас удаляются. При удалении объекта смещение происходит в красную сторону спектра. Эффект Доплера (из кн.: Короновский, Брянцева, 2019)

Все многочисленные галактики содержат миллионы звезд, которые образовались внутри колоссальных облаков газа и пыли. Всего 200 лет назад В. Гершель, сделавший главный вклад в понимание общего устройства Вселенной, открыл *межзвездные облака*, а до этого все пространство между звездами считалось эталоном пустоты. В 1975 г. были обнаружены *гигантские молекулярные облака*, масса которых в миллионы раз больше массы Солнца. Так сформировалась и ближайшая к Солнечной системе туманность Ориона, в которой и сейчас происходит активное звездообразование.

Процессы, протекающие во Вселенной после Большого взрыва, исследуют астрономы, физики и другие ученые. Очень хочется узнать, как все возникло и из чего? Может ли «ничто» образоваться из «ничего»? А еще нас очень интересует Солнечная система, в которой мы живем, и все ее составные части – планеты, их спутники, а также кометы, астероиды и метеориты.

Вселенная возникла около 13–14 млрд лет назад. Галактика Млечный Путь – одна из 100 000 галактик известной нам Вселенной – имеет форму уплощенного диска диаметром около 100 000 и толщиной 20 000 св. лет. Наше Солнце и восемь планет, вращающиеся вокруг него, располагаются в 30 000 св. лет от центра Галактики.

Зарождение Солнечной системы

Наиболее интересным для нас вопросом является происхождение планет Солнечной системы и, конечно, Земли. Солнечная система возникла, скорее всего, на продвинутой стадии развития Вселенной. В это время в галактике Млечный Путь из огромных газопылевых облаков возникли небольшие звезды, в том числе и ближайшая к нам звезда класса «желтый карлик» – Солнце. В центре одного из облаков, в рукаве Ориона, где концентрация частиц была больше всего, их постепенное уплотнение привело к образованию сферы раскаленных газов со средней плотностью, всего в 1,4 раза превышающей плотность обычной воды. Межзвездная пыль из газопылевого облака на месте будущей Солнечной системы при вращении начала закручиваться, газы остывали, выталкивая более мелкие сгустки вещества на дальние орбиты. Но возникает вопрос, каким образом в межзвездном пространстве появилась эта пыль? Что она собой представляла и как образовалась? На этот вопрос существует много противоречивых ответов, ведь нужно объяснить, как миллионы разрозненных атомов могли собраться в пылинку, несмотря на очень небольшую плотность межзвездного вещества. Что заставляло их сближаться? Но, так или иначе, именно межзвездная пыль и послужила тем материалом, из которого были созданы все планеты.

Газопылевое облако по каким-то не очень ясным причинам испытало сжатие и распалось на отдельные фрагменты, которые, вращаясь, образовали кольцо – плоский газопылевой диск. Но почему облако начало сжиматься? По одной из гипотез, на газопылевое облако мог повлиять взрыв близкой сверхновой звезды, ударная волна от которого и заставила облако сжиматься и вращаться, или уплотнение вещества облака могло быть связано с его естественной динамикой. Надо отметить, что из всего процесса формирования Солнечной системы ученым наименее ясен этот начальный момент превращения газопылевого облака в протопланетный диск.

В процессе гравитационного сжатия размеры газопылевого облака уменьшились, что привело к увеличению скорости его вращения в силу закона сохранения углового момента. Возникли мощные турбулентные вихри, ударные волны и гравитационные приливы, перемешивающие облако, которое вследствие этого оставалось однородным. Отдельные частички слипались, образуя сначала маленькие, а потом все более крупные сгустки, так называемые *планетезимали*, которые, неоднократно сталкиваясь между собой, увеличивались и сплавлялись, образуя *хондры*, а потом и более крупные сфероподобные образования – *хондриты* (греч. *Χόνδρος* – зерно) (рис. 4). По мере сжатия протопланетного вещества увеличивались его плотность и температура, особенно в центральной части диска, где из-за быстрого коллапса и повышения температуры до нескольких тысяч кельвинов (К) образовалась *протозвезда*. Когда температура в центре протозвезды достигла миллионов кельвинов, началась термоядерная реакция горения водорода и протозвезда превратилась в обычную звезду – наше привычное Солнце. Постепенно в этом «супе» из планетезималей образовывались отдельные наиболее крупные сгустки – будущие планеты. Как происходила *аккреция* (т. е. «слипание») планетезималей – все еще спорный вопрос, так как неясен механизм слипания.

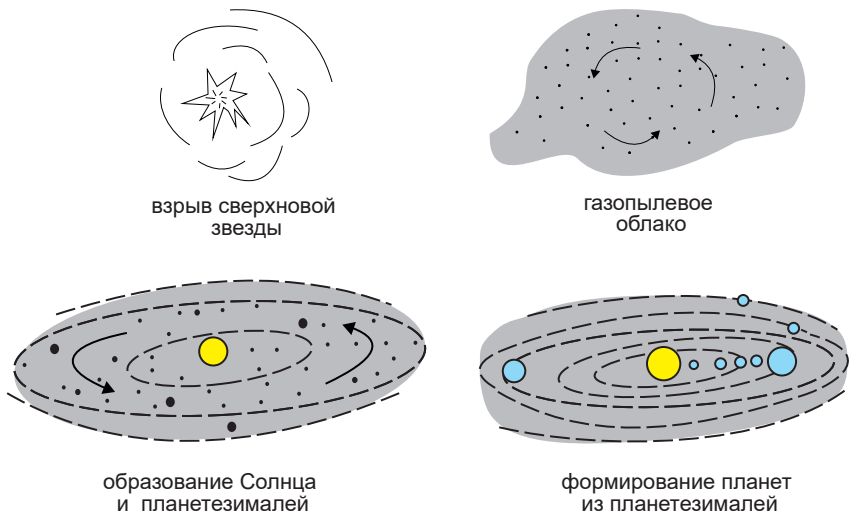


Рис. 4. Формирование Солнечной системы из газопылевого облака
(из кн.: Короновский, Брянцева, 2019, упрощенно)

Все планеты вращаются вокруг Солнца в одном направлении и в одной плоскости – *эклиптике*, в центре которой и сосредоточена вся масса системы. При диаметре Солнца в 1,4 млн км масса Солнца составляет более 99 % всей массы Солнечной системы, а плотность вещества в центре такой звезды около 160 г/см^3 при температуре не менее 15 млн К, тогда как на поверхности температура не превышает 6000 К ($0^\circ \text{C} \approx 273 \text{ K}$).

В каждой звезде, в том числе и в ядре Солнца, происходят *ядерные реакции*, которые и привели к появлению десятков разнообразных химических элементов, превосходящих водород по атомной массе. Химический состав желтого карлика класса G2V (рис. 5), каких очень много в ГМП, соответствует массовому содержанию 73 % водорода и 25 % гелия, на остальные 2 % приходятся более тяжелые элементы, такие как железо, кислород, углерод, азот, кремний, магний, сера и др. Кроме вышеперечисленных, в составе Солнца обнаружено присутствие еще 60 химических элементов. Эти данные стали известны в результате спектроскопических измерений. Кроме них, о веществе Солнечной системы мы можем судить по метеоритам, представляющим собой сгустки того космического вещества, из которого возникли все планеты. Метеориты могут иметь разный состав, поэтому их относят к разным классам, но для нас наиболее важными являются свойства метеоритов, которые называют углистыми хондритами. Они обладают необычным для других метеоритов составом, а именно содержат в своем составе воду, углерод, сложные органические соединения, а также в них выявлено присутствие тугоплавких соединений титана, алюминия и кальция. Очень интересно отсутствие в некоторых экземплярах углистых хондритов – *хондр*. Эти маленькие шарики состоят из вещества, сохранившегося в неизменном виде со времен, предшествовавших образованию Солнечной системы. Нужно подчеркнуть – на это обратил внимание еще профессор МГУ А. А. Ярошевский – почти полное совпадение состава углистых хондритов и Солнца, разве что кроме водорода и еще нескольких элементов, которых нет в хондритах.

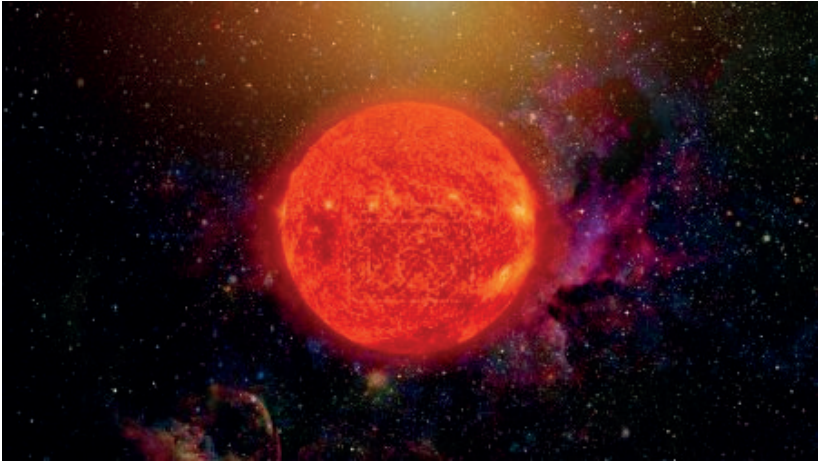


Рис. 5. Солнце – желтый карлик класса G2V (https://photogenica.ru/preview-DP.php?directZoom=aVp1eDExSU04MUxNMG9HeVZ1eWpBZE9SY3BqalpxZFpTYzFWRjJ2dGZCcHJFbmZ6SVhIVDI1bTh3WWFPWkxneUhlMklydHQ0NjFITnZEL1BDU0pLOXlhTjY4Nkgrc2NOTGlvWVWk4L1lxNzJrRG0zVDA0aXRtUkVpWmhQMnRIRDhRSG5HRm04cW9JM0hMTU05ZzE0MXJBPT0=&hash=55562672b073c7b0b9452ef6b09ae445d4ad77bb85edef79eb2b5815b80fa0a1))

Тогда встает вопрос, каким образом из первичного протовещества в раскаленном облаке могли возникнуть различные химические элементы и их соединения, из которых впоследствии и образовалась наша планета? Это, прежде всего, различные силикаты, железо, никель, кобальт, золото, платина, иридий, некоторые виды летучих соединений, таких как лед водяной, твердая уголекислота и ряд других. Кроме того, следует отметить возможное присутствие различных газовых соединений, не дающих твердых фаз. Интересно, какие еще вещества или космические «строительные материалы» должны были существовать, чтобы из них возникла наша планета и другие планеты Солнечной системы, довольно сильно отличающиеся друг от друга?

Для того чтобы более детально рассмотреть этот вопрос, необходимо обсудить физические свойства пород, из которых сейчас состоит Земля. Их средняя плотность – $5,22 \text{ г/см}^3$, а это больше, чем у Марса или Луны, и наша планета значительно отличается от газовых гигантов – Юпитера, Сатурна и др.

Солнечная система, спаянная силами взаимного притяжения небесных тел, возникла из газопылевого облака, которое состояло, скорее всего, из частиц, образовавших углистые хондриты. Солнце содержит 99,866 % всей массы системы, а на восемь планет и десятки их спутников, несколько тысяч малых планет или астероидов, несколько сотен комет и бесчисленное множество метеоритов приходится оставшиеся 0,134 % вещества.

Солнце – что внутри и почему оно светит и греет?

Мы знаем, что Солнце не только светит, но и греет, а вот планеты Солнечной системы такими свойствами не обладают. Все дело в том, что в центре Солнца – в его ядре – вот уже 5 млрд лет работает ядерный реактор в виде газовой сферы с невероятно высокой температурой. Во время ядерной реакции происходит слияние четырех ядер водорода, и в результате образуется одно ядро гелия. Это превращение протекает с выделением огромного количества энергии: 1 г водорода, принимающий участие в термоядерной реакции, выделяет 6×10^{11} Дж энергии. Детали этого процесса стали известны лишь в 1939 г. благодаря исследованиям физика Ганса Бете, впоследствии получившего за свое открытие Нобелевскую премию. Удивительный факт: за прошедшие миллиарды лет масса Солнца стала меньше лишь на очень малую часть, хотя каждую секунду в нем «сгорает» около 4,26 млн т вещества. В почти неизменном виде Солнце продержится еще около 5 млрд лет – настолько велика его масса, хотя оно и считается карликом по звездным меркам.

Внутреннее строение этой маленькой звезды известно довольно хорошо (рис. 6). В центре Солнца располагается *ядро*, состоящее из гелия – «отработанного» горючего. Ядро занимает не более четверти общего радиуса Солнца, но содержит в себе 50 % его массы и имеет температуру около 15 млн К. Выше ядра располагаются две зоны – *излучения* и *конвекции*, в которых бурлит и перемешивается «каша» из плазмы с температурой около 20 000 К. Выше находится слой, называемый *фотосферой*.