

Вольфганг  
Пальц

# ТРИУМФ СОЛНЕЧНОГО ВЕКА

Революция  
возобновляемых источников



**Вольфганг Пальц**  
**Триумф солнечного**  
**века. Революция**  
**возобновляемых источников**  
**Серия «Возобновляемая энергетика»**

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=42207694](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=42207694)*

*Триумф солнечного века. Революция возобновляемых источников:*

*ISBN 978-5-904553-09-8*

**Аннотация**

Эта книга о взлете рынков солнечной энергетики, точнее – об идеях и технологиях, положенных в основу ее развития. Начиная изложение с фундаментальных основ нашего мира, автор разворачивает величественную панораму эволюции звезд, раскрывая роль Солнца в эволюции всего живого на Земле. Эволюции природы вторит картина эволюции научного знания как усилий множества людей, искавших путь к чистому развитию. Осуществление мечты породило технологический взрыв новой энергетики. Книга рассказывает о том, что с начала этого века было установлено более триллиона ватт источников солнечной и ветровой энергии, для чего были мобилизованы триллионы долларов и созданы более 10 млн рабочих мест. «Пришествие» Интернета, которого ждет не менее трех миллиардов людей,

невозможно без электроэнергии, которую можно получить от возобновляемых источников, избегая «ресурсных» ловушек. Новые технологии делают возобновляемые ресурсы информации и энергии доступными для всех.

# Содержание

|  |    |
|--|----|
| Дань Славе Солнца  | 9  |
| Предисловие автора   | 13 |
| Пролог I:  | 15 |
| Пролог II:   | 22 |
| Часть 1  | 33 |
| Глава 1  | 33 |
| 1.1. Человек во Вселенной  | 33 |
| 1.2. Богаты солнцами звездные небеса, но<br>наше Солнце – единственное | 42 |
| 1.3. Энергетический механизм Солнца                                    | 50 |
| 1.4. Солнце, Земля и мы  | 53 |
| 1.4.1. Дети Солнца и Земли   | 53 |
| 1.4.2. Рождение Земли  | 53 |
| 1.4.3. Астероиды и кометы  | 56 |
| Конец ознакомительного фрагмента.                                      | 58 |

# **Вольфганг Пальц Триумф солнечного века. Революция возобновляемых источников**

*Посвящается моему покойному другу Герману  
Шееру, депутату Бундестага, Лауреату  
альтернативной Нобелевской премии (The Right  
Livelihood 1999)*

*Герою Зеленого века по версии журнала Тайм,  
2002.*

© Wolfgang Palz, 2018

© Pan Stanford Publishing, 2018 (english version)

© Составление, перевод: Самсонов А.Л., 2018

© Оформление: АНО «Журнал «Экология и жизнь», 2018



Перевод этой книги на русский язык посвящается также памяти замечательного физика Жореса Алферова (1930–2019), вице-президента Российской Академии Наук. В 1972 году Алферов был награжден Ленинской премией за те открытия, которые лишь в 2000-ом году были признаны как достижение, достойное Нобелевской премии. Почти трид-

цать лет понадобилось миру для осознания важности того, что устройства, созданные Алферовым на гетеропереходах полупроводников, дают возможность не только управления электронами в сверхбыстрых транзисторах, но и квантами света! Благодаря этому прорыву стали возможны миниатюрные твердотельные квантовые генераторы, фотоприемники и источники света. Алферову удалось создать первые полупроводниковые лазеры, проложить путь в космос новому поколению солнечных элементов и дать "путевку в жизнь" светодиодам, т. е. фактически всему тому, без чего просто немыслим современный мир. Зная о готовящемся издании этой книги, посвященной энергии Солнца, он хотел поддержать ее публикацию и написать предисловие, но не успел...





# Дань Славе Солнца

## Музыкальное введение

Рихард Штраус, «Восход» («**Sonnenaufgang**»), симфония «Так говорил Заратустра». Рекомендуем слушать в исполнении Герберта фон Караяна и Берлинского филармонического оркестра, 1984, Берлин.

«Так говорил Заратустра» – симфоническая поэма Рихарда Штрауса, написанная в 1896 году и вдохновленная философским романом Фридриха Ницше с тем же названием. Первая часть произведения называется «Введение, или Восход». Музыка из поэмы использовалась в саундтреке популярного фантастического фильма Стэнли Кубрика «Космическая одиссея 2001 года».

Игорь Стравинский, «Жар-птица». Слушать в исполнении Пьера Булеза (Pierre Boulez) и парижского оркестра (Orchester de Paris), 2009, Париж.

«Жар-птица» – одноактный балет, написанный по заказу Сергея Дягилева для его антрепризы. Первое представление прошло 25 июня 1910 года в рамках знаменитых «Русских сезонов» в Париже. Постановка и хореография были выполнены Михаилом Фокиным по сценарию Александра Бенуа на основе сюжетов русских сказок о Жар-птице.

Людвиг ван Бетховен, соната № 21. Слушать в исполнении Эмиля Гилельса, фортепиано, 1971, Оссиах.

Фортепианная соната Бетховена № 21 до мажор посвящена другу композитора Вальдштейну, откуда ее первое название «Вальдштейновская соната» («Waldstein»). Второе название на итальянском звучит как «L'Aurora» («Заря»), а третье, на английском – «The Dawn» («Рассвет»). Звучание начальных аккордов третьей части сонаты вызывает в воображении различные образы рассвета – от предрассветных сумерек и первой зари до полного восхода Солнца.

Никколо Паганини, «Ла Кампанелла». Слушать в исполнении Клары Джуми Кан, скрипка, 2015, Санкт-Петербург.

Концерт для скрипки № 2 си-бемоль минор, опус 7, сочиненный Никколо Паганини в Италии в 1826 году. В нем Паганини сдерживает демонстрацию виртуозности в пользу большей индивидуальности в мелодическом стиле. Концерт обязан своим названием «Ла Кампанелла» и прозвищем «La Clochette» колокольчикам, которым Паганини предписал отбивку повторов в музыкальной форме рондо (звучание колокольчиков легко услышать в оркестре, сопровождающем исполнение Сальватора Альвареса, но можно заставить и скрипку рассыпаться колокольчиками, звенящими в исполнении Леонида Когана).

Вольфганг Амадей Моцарт, концерт для фортепиано с ор-

кестром № 23. Рекомендуем слушать в исполнении Армена Манасяна, фортепиано, 2013, Москва.

Концерт № 23 ля мажор закончен Моцартом, согласно составленному им самим каталогу, 2 марта 1786 года, за два месяца до премьеры его оперы «Женитьба Фигаро».

Это был один из трех подписных концертов, которые были даны той весной и, вероятно, сам Моцарт играл в одном из них.

Иоганн Брамс. Фортепианный квинтет, опус. 34. Рекомендуется слушать в исполнении квартета Симон и Лонел Стребба, 2014, Париж. Квинтет в фа-миноре был завершен Брамсом летом 1864 года и опубликован в 1865 году. Посвящен принцессе Анне Гессенской. Это произведение Брамса часто называют короной его камерной музыки.

Выбор музыки для этой книги любезно предоставлен Арменом Манасяном, представляющим международную ассоциацию



INTERNATIONAL ASSOCIATION

Примечание: существует электронная версия книги, в ко-

торой предусмотрена возможность прослушивать музыкальные произведения. Она снабжена также множеством интернет-ссылок, позволяющих разъяснить сложные вопросы и получить дополнительную информацию. Эта версия издания книги распространяется через редакцию журнала "Экология и жизнь". Для тех, кто уже купил книгу в интернет-магазинах, редакция вышлет полную версию бесплатно при предъявлении чека о покупке книги.

Для заказа и получения полной версии издания пишите в редакцию по эл. почте [ecolife21@gmail.com](mailto:ecolife21@gmail.com)

# Предисловие автора

После смены веков в 2000 году, мир покатился назад, судя по целой череде событий, ведущих в прошлое, навстречу старым ошибкам – к глобальным загрязнениям и страданиям, которые они влекут за собой, когда климат выходит из-под контроля, а угроза ядерной войны сохраняется – все это в результате безудержного и неустойчивого использования ископаемых и атомных ресурсов. Не все, возможно, осознали это, но с начала XXI века, мы – те, кто видел этот неправильный поворот мира, решительно занялись возвращением на пути к жизни в гармонии с природой, с Солнцем. Эта книга не об экологических мечтах и желании задуматься о лучшем мире. Это просто отчет о том, что произошло, в фактах и цифрах. Идя определенно сейчас по пути Солнца и зная о его преимуществах, в выигрыше остается каждый из нас, а не только климат. Благодаря инновациям и массовому производству, энергия, получаемая от Солнца, теперь превосходит все традиционные источники собственными силами: так работает социальная экономика. В нашем новом, сегодняшнем мире солнечная энергия уже стала дешевле обычных, традиционных источников. Появилась новая экономика, быстро развивающаяся и устойчивая, которая создает миллионы новых рабочих мест для всех.

Книга начинается с основ и обсуждает ключевую роль

Солнца для природы и нашей жизни. В ней рассказано, как фундамент более чистого мира был заложен в начале нового века, и подробно описываются усилия людей, которые внесли вклад в эти изменения, а также круг идей, в котором эти усилия прилагались, и ключевые инновации, достигшие успеха.

Книга посвящена ключевой фигуре, которая возглавила эти перемены, направленные на изменение мира, его улучшение и движение по солнечному пути: покойному Герману Шееру.

Автор, Вольфганг Пальц, является независимым экспертом по вопросам энергетики и экономики. В книге содержится краткое изложение его взглядов на глобальную солнечную революцию, в которой есть и его вклад – он был непосредственным участником описываемых событий. С огромным удовлетворением автор повествует в книге о том, что в конечном итоге стремления и труд множества пионеров солнечной идеи увенчались успехом.

# **Пролог I:**

## **Прозрение будущего из 1970-х**

Уголь и ядерная энергетика, достигли расцвета во второй половине прошлого века, став традиционными источниками энергии. После шокового роста нефтяных цен в 1973 году промышленно развитые страны начали ориентироваться на обеспечение энергетической независимости. В результате сотни атомных электростанций были созданы за рекордное время.

Однако солнечное электричество и энергия ветра имели своих приверженцев, опирающихся на давние европейские традиции получения энергии из возобновляемых источников.

Первичный интерес был проявлен администрацией Соединенных Штатов. Президент Картер сделал тогда все от него зависящее, чтобы поддержать новые солнечные технологии, но тщетно. В то время как сотни гигаватт новой атомной энергии были установлены по всему миру, солнечная фотоэлектрическая энергия в лучшем случае сводилась к нескольким мегаваттам. Нам объясняли, что это «слишком дорого».

В 1977–1978 годах я опубликовал при поддержке бюро ЮНЕСКО в Париже книгу «Солнечное электричество: эко-

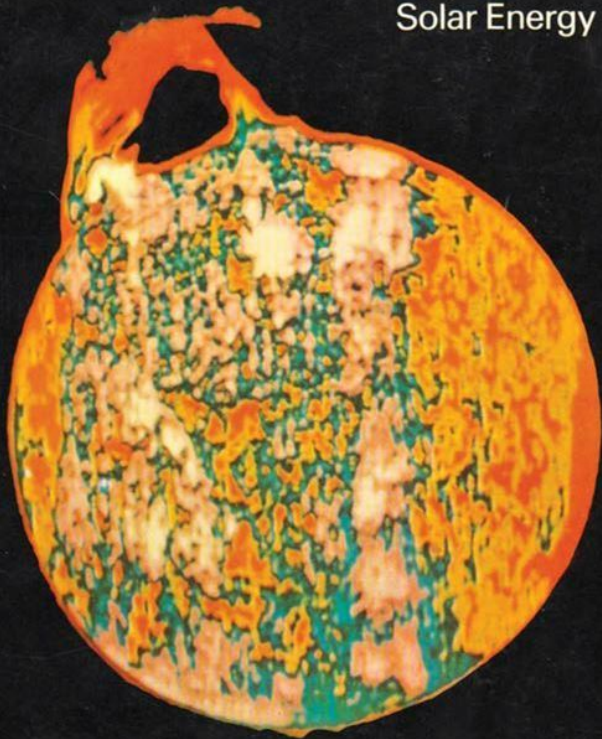
номический подход к солнечной энергии». Этот труд был направлен на то, чтобы обобщить понимание и сформировать рабочий настрой экспертов по солнечной энергии в Европе и США. Администрация США провела к тому времени множество исследований. Например, силами MIT Energy Lab в 1975 году был подготовлен отчет по проекту «Независимость»: обзор энергетических потребностей США до 1985 года («Project Independence report: a review of US energy needs up to 1985»), где были подробно рассмотрены перспективы возобновляемых источников энергии для обеспечения энергетической независимости США. Но доклад был для узкого круга и не стал достоянием широкой общественности. Поэтому та книга, которую я опубликовал при поддержке ЮНЕСКО на английском и ряде других языков, стали для многих первой встречей с солнечной энергией.



Wolfgang Palz

# **SOLAR ELECTRICITY**

An Economic Approach to  
Solar Energy



Butterworths • UNESCO

Обложка книги Вольфганга Пальца «Солнечное электричество: экономический подход к солнечной энергии. Видение будущего», 1977.

Прочитую ряд идей, опубликованных уже в той книге, которые вполне подтвердились в будущем в ходе реализации практических проектов.

«Существует только один способ уменьшить различные типы загрязнений, связанные с крупномасштабным потреблением энергии человечеством, – это прямое преобразование энергии, которая формирует климат Земли. Солнечное излучение можно преобразовать в полезную энергию без термических потерь и химических загрязнений».

«При рассмотрении всех возможных способов преобразования излучения Солнца в полезную энергию в центре внимания оказались методы прямого преобразования света в электричество с помощью солнечных элементов».

«Каждая страна имеет потенциал возобновляемой энергии Солнца намного больший, чем ей когда-либо может понадобиться. Солнечная энергия для любой страны является внутренним ресурсом, способным стать стратегическим резервом».

«Развитие приложений солнечной энергетики не означает начало нового экономического мира. Напротив, новые энергетические системы должны сначала завоевать свое место на общем энергетическом рынке, они должны быть кон-

курентоспособными с нефтью, углем или ядерной энергией, по причине ли истощения обычных ресурсов, термического или химического загрязнения природы и окружающей среды, желания большей независимости от иностранных поставщиков или просто для снижения стоимости».

«Технические и экономические проблемы, связанные с полномасштабным использованием солнечной энергии, решены, фундамент развития заложен».

«Оценка крупномасштабного потенциала солнечной энергии в будущем говорит о том, что высокая стоимость солнечных элементов отнюдь не неизбежна – необходимого масштабного сокращения производственных издержек до уровня рентабельности центральных электростанций можно ожидать в ближайшие 10–15 лет за счет эффектов «экономии от масштаба», а также «прогресса за счет индустриализации».

«В 1975 году существовали только космические применения фотоэлектрических преобразователей, тогда как весь объем рынка наземных применений составлял не более 100 кВт; при этом годовая скорость установки традиционных мощностей достигала сотен мегаватт. Однако крупномасштабный проект производства солнечных преобразователей в объеме 10 ГВт позволит прийти к стоимости «солнечного» ватта в интервале 0,20–0,50 долл. Совокупный эффект, достигаемый на росте объемов производства, опирается на так называемую «кривую опыта».

«Интеграция солнечной энергетики в сетевую энергосистему сопровождается теми же проблемами, которые не дают покоя обычным электростанциям, не умеющим работать иначе, как в режиме генерации энергии. Преодоления этого коренного недостатка связано с введением в энергосистему недостающего звена – устройства накопления энергии».

«Эффективность преобразования энергии для устройств прямой генерации, использующих дешевые солнечные элементы, не зависит от уровня конечной мощности батареи – они могут исправно производить как ватты, так и киловатты. Таким образом, можно создавать генераторы для частных домов и деревенских общин, торговых центров и промышленных предприятий, для целей сельскохозяйственной переработки и фермерских хозяйств; все они обладают таким же КПД, что и крупные солнечные электростанции».

«Солнечные генераторы, установленные рядом с потребителями, обладают рядом привлекательных черт, позволяющих избегать сетевых затрат на передачу энергии по проводам, а при установке на крышах или других расположенных поблизости несущих поверхностях жилой застройки исключают затраты на приобретение земли, подготовку и обслуживание участка».

«Массив солнечных панелей площадью  $45 \text{ м}^2$  поместился бы на крыше большинства семейных домов в США. Если для накопления энергии используется свинцово-кислотная батарея мощностью около  $200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ , то накопитель займет всего

лишь каморку объемом 4 м<sup>3</sup> (1×2×2). Однако подобная система придаст полную автономию любому дому».

# **Пролог II: От триумфа железа к триумфу Солнца**

## **Триумф железа**

Всемирная выставка, проходившая в Париже в 1889 году, представила миру стальные конструкции Эйфелевой башни («временно» возведенной как вход на эту выставку), железобетонные и цельнометаллические здания-ангары, а также корпуса только появившихся тогда автомобилей как триумф новых конструкционных материалов на основе железа. Фактически именно тогда началось то повсеместное использование сплавов железа, которое мы продолжаем наблюдать до сих пор. Но первые автомобили того времени только еще выезжали на дороги Германии, в то время как несколькими годами раньше уже заработали первые электростанции в Англии и США, запущенные Томасом Эдисоном. Кстати, благодаря участию Эдисона в той Всемирной выставке Париж был объявлен городом света. Можно ли представить себе современный мир без электричества и без автомобилей? Переломным моментом на пути к этому и стал 1889 год, оказав-

шийся преддверием энергетически ненасытного XX века.

Начавшийся взрывной рост электроснабжения предопределил огромный рост потребности в угле, необходимого для питания сотен новых электростанций, но вместе с тем давшего начало масштабному загрязнению окружающей среды. Деградация продолжилась во время энергетического кризиса 1970-х годов, когда атомные электростанции получили прямые льготы от политиков, которые продвигали тогда атомную энергетику, обещая, что это будет «неограниченная энергия и почти бесплатно». В результате всего за 30 лет 400 атомных станций (АЭС) были построены до конца века. Когда оглядываешься назад, это представляется всеобщим наваждением.





Эйфелева башня в Париже (фото автора).

Журнал «Forbes» в 1985 году писал: «Экономический провал американской ядерной энергетической программы является крупнейшей управленческой катастрофой в истории бизнеса. Индустрия коммунальных услуг уже инвестировала в нее 125 млрд долл. США, но до конца десятилетия требуется еще 140 млрд. Теперь только слепые или предвзятые люди могут думать, что эти деньги не потрачены впустую».

XX век стал свидетелем еще нескольких ошибок, имевших подобный фундаментальный размах и последствия. Это были две мировые войны с миллионами невинных смертей, две диктатуры, приносящие страдания и смерть миллионам людей, мировой экономический кризис с катастрофическими последствиями и демографический рост, проложивший путь к глобальной нестабильности. При этом загрязнение окружающей природной среды, воздуха, земли и морей достигло невиданных масштабов и изменение климата стало лишь одним из множества последствий. Миллионы тонн пластиковых отходов загрязнили океаны, а выхлопные газы сделали воздух во многих городах мира непригодным для дыхания. Можем ли мы представить себе иным лицо эпохи антропоцена XX века?

Начало XXI века сопровождалось радикальными изменениями. Ушли в прошлое сомнения и «научная» дискреди-

тация энергии Солнца и других возобновляемых источников. Предел безудержному развитию ядерной энергетики положили взрывы двух АЭС – на Украине и в Японии. Закономерно поставить вопрос, не было ли преступлением безоглядно запускать все эти атомные станции, в то время как никто не имел ни малейшего понятия, куда утилизировать опасные ядерные отходы? Взрывы АЭС стали началом конца ядерной эры. Что касается угля, то и в XXI столетии объемы рынка его использования росли. Однако, в конечном итоге загрязнения, которые влечет за собой его использование, и риски изменения климата, которое в наибольшей мере провоцируется его добычей и сжиганием, в последнее время застопорили и применение угля.

С 2000 года мировое производство электроэнергии от атомных станций стало снижаться. В Европе в этом столетии не было введено в эксплуатацию ни одной новой АЭС. Таким же путем шла энергетика США, более того, в Интернете сообщалось, что в 2016 году несколько старых АЭС были отключены от сети. Индия и Китай запустили в эксплуатацию несколько новых АЭС, но ожидаемого оживления оборота ядерного оружия, отчаянно ожидаемого его сторонниками, просто не состоялось. Мировая ядерная промышленность, представленная компаниями «Areva», «Westinghouse», «Toshiba», стала фактически банкротом.

Потребление угля в мире при входе в новый век было на подъеме – оно удвоилось с 1990 года. Однако с 2013 года по-

ребление угля замедлилось, произошла его стабилизация. С этого же года перестало расти и потребление угля на американских электростанциях. К 2016 году потребление угля опустилось до уровня, который последний раз наблюдался в 1970-х годах. В Англии добыча угля снизилась на 82 % в период между 2013 и 2017 годами. Китай, который является мировым лидером в области потребления угля и имеет в три раза больше мощностей, работающих на угле, чем США, продемонстрировал наименьшее потребление угля за предыдущие 3 года в 2016 году. Обозначая конец угольной эры, агентство «Bloomberg», один из лидеров финансовой информации, сообщает: «Добыча угля находится в свободном падении».

Прекращение роста сжигания угля привело к значимому результату: стабилизации выбросов углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), которые прекратили свой рост в течение последних нескольких лет к восторгу климатологов.

К 2018 году едва ли наш новый век достиг совершеннолетия, но он успел распахнуть двери для новой промышленной революции – солнечного века. И действительно сначала этого века мы наблюдали триумф энергетики Солнца.

## **Триумф Солнца**

Начиналось это в Германии, крупнейшей экономике Европы. Почему и как это произошло, мы еще подробно рас-

смотрим в этой книге. А пока заметим, что в 2000 году солнечная фотоэлектрическая энергия вместе с ветроэнергетикой и несколькими другими видами возобновляемой энергии с захватывающей дух скоростью начала победное шествие по Германии. В результате к 2017 году производство электроэнергии из возобновляемых источников возросло в стране в 10 раз и достигло 38 % общего объема потребления. Ветер и Солнце производят сегодня в Германии больше электроэнергии, чем угольные станции и АЭС.

В Европейском Союзе с 2000 года было установлено больше возобновляемых мощностей, чем мощность ядерной и традиционной энергетики вместе взятых, а в 2016 году 86 % устанавливаемой добавочной мощности относились к возобновляемым источникам. При этом и в США с 2008 года возобновляемая мощность превысила половину всей вновь установленной генерации, а к 2016 году только фотоэлектричество и ветряки составляли уже 60 % всех новых энергетических мощностей. Солнечная энергетика США и сегодня номер один по вводу новых мощностей, опережая ветроэнергетику и природный газ.

С 2013 года Китай возглавил мировой рейтинг лидерства в области возобновляемых источников энергии, что коснулось гидроэнергетики, новой ветроэнергетики и получения солнечной энергии от фотоэлектрических и тепловых преобразователей. При этом, однако, солнечное фотоэлектричество в Китае все же вырвалось вперед, хотя не в абсолютном

«зачете», а по скорости ввода новых мощностей.

В целом уже в 2016 году возобновляемые мощности составляли 55 % всех новых мощностей в мире. В этом процессе активно принимают участие почти все страны. Например, в 2016 году каждая из девяти стран в Северной и Южной Америке, Азии и Европе имели ветроэнергетические установки мощностью не менее 10 ГВт, благодаря чему уже в 2015 году глобальная мощность ветровой энергетики впервые превзошла суммарные мощности ядерной энергетики. Согласно данным Международного энергетического агентства в Париже (IEA), мощность возобновляемой энергетики впервые сравнялась в глобальном масштабе с производством энергии из угля в том же 2015 году, когда была достигнута отметка по возобновляемой мощности 1985 ГВт, что составило 31 % общемирового объема производства электроэнергии, тогда как мощность угольной генерации составила 1951 ГВт.

## **«И родился целый новый мир»**

С начала века возобновляемые источники энергии привлекли 3 трлн долл. частных инвестиций. Поскольку и Солнце и ветер были новичками на рынках, определенная политическая поддержка им была ожидаемым фактором. Однако важно осознать, что традиционные виды энергетики сегодня продолжают не только работать, но и выигрывать, благода-

ря гораздо более существенной господдержке, а также налаженным сборам с населения. Только в Германии отрасль эксплуатации и разработки угольных месторождений получила 200 млрд. евро в виде субсидий начиная с 1957 года. Не так давно главы государств «Большой двадцатки» решили отменить все энергетические субсидии к 2025 году. Жаль, конечно, что такие декларации не имеют юридической силы, ведь инвестировать в возобновляемые источники энергии в этом случае окажется выгоднее, чем в обычные станции на ископаемом или ядерном топливе. Объясняется это тем, что возобновляемые источники просто-напросто дешевле, но ведь именно этим они и обязаны успеху, достигнутому на мировых рынках.

Кроме того, многочисленные виды деятельности, связанные с маркетингом, производством, установкой, эксплуатацией и обслуживанием возобновляемых источников энергии, оказываются весьма выгодны и в социальном плане, обладая мощным потенциалом источника новых рабочих мест. С начала XXI века во всем мире создано более 10 миллионов рабочих мест, связанных с возобновляемой энергией. В США в настоящее время 260 тыс. человек заняты в сфере производства солнечного фотоэлектричества; сравните это с численностью работников угольного бизнеса, не превышающей 50 тыс. человек. Заметим, что и для здоровья несомненно лучше работать в чистоте, связанной с солнечными батареями, чем в шахтах, добывая уголь.

Массовое внедрение солнечной энергетики и возобновляемых источников энергии открывает новые перспективы экономики частной жизни. В Европе, США, Японии и Австралии более 6 миллионов семей получили возможности автономного энергоснабжения после установки на их дома фотоэлектрических модулей. Это означает наилучшую стратегию защиты против произвола централизованного поставщика, решения которого по подаче и распределению энергии они не в состоянии оспорить. Возобновляемые источники энергии обеспечивают большую прозрачность и свободу выбора. Добавим к этому чувство удовлетворения от подключения к чистой энергии вместо обычной – опасной и загрязняющей.

Солнечные фотоэлектрические преобразователи делают нас частью мира современных полупроводников, который рождается в «кремниевых долинах», создающих смартфоны и Интернет-коммуникацию. Этот мир несет нам новые возможности, выходящие за пределы GPS-навигации, связи и контроля, которые он уже обеспечил. Он обеспечивает предсказуемость затрат и удобство проживания в более комфортабельных и «умных» домах, вписанных в более устойчивые городские структуры, соединяющие воедино работу и отдых в пределах городского квартала.

Мир биоэнергетики, который будет рассмотрен чуть ниже, обладает рядом крайне важных аспектов. Здесь не только открываются новые перспективы производства биомассы

в сельском хозяйстве, объединенные с технологиями устойчивого обращения с биологическими отходами. Возможно, что он раскроет для нас совершенно новые аспекты борьбы с бедностью в странах «третьего мира», возникающие благодаря преобразованию солнечной энергии, которая раскрывает здесь во всей мощи истинное значение своего имени.

То, о чем мы хотим рассказать в этой книге, позволяет всем читателям, а не только приверженцам и адептам солнечной энергетики, прояснить свои отношения с природой, с нашим Солнцем, со всей Вселенной.



# **Часть 1**

## **Солнце и мы**

### **Глава 1**

#### **Солнечное наследство**

В этой главе мы обратимся к тому, что, очевидно, имеет большое отношение к солнечной энергии, к нам как адептам солнечной энергетики, к самому существованию природы и ее законов, определяющих бытие нашего Солнца и всей Вселенной.

#### **1.1. Человек во Вселенной**

Вселенная – это место. Но мы, люди, не очень ценим свое место в ней. Наша роль в лучшем случае – роль наблюдателя.

Не так уж и давно было принято считать, что человек и Земля являются центром Вселенной. Вспомним Николая Коперника, Иоганна Кеплера и Галилео Галилея, которые первыми показали всю ошибочность «очевидности» того, что Солнце и все звезды вращаются вокруг нас – вращается только сама Земля. Однако лишь недавно, в 1992 году, т. е. почти «вчера», Галилей был реабилитирован Ватиканом «за

неустанную тягу к истине».

Наша Земля действительно не является центром Солнечной системы, так же как и Солнце со своими планетами не находится в центре нашей галактики. Если что и можно найти в центре галактики, то лишь черную дыру, способную поглощать звезды. Солнце принадлежит боковой ветви нашей галактики, которая сформировалась 8,8 млрд лет назад. Солнечная система образовалась всего 4,6 млрд лет назад, тогда как возраст Вселенной оценивается величиной 13,8 млрд лет. Так что нет никаких оснований полагать, что наша галактика играла какую-то особую роль во Вселенной.

Наше Солнце – звезда среднего размера. Такие звезды имеют продолжительность жизни около 10 млрд лет и на завершающей стадии развития превращаются в «красные гиганты». «Жизненный путь» различных звезд хорошо изучен – последовательные трансформации звезд в современной астрономии называют звездной эволюцией, но основная мысль проста: чем больше звезда, тем короче ее жизнь. Например, так называемые массивные звезды, масса которых более чем в 100 раз превосходит массу нашего Солнца, живут всего лишь несколько миллионов лет. В пламени взрыва сверхновой они превращаются в супергигантов, а блеск такой «сверхновой» превосходит светимость Солнца в 500 тысяч раз – быстрая вспышка заменяет свет, который другие звезды испускают миллионами лет (некоторые типы сверхновых служат эталонной «свечой» для измерения рас-

стояний). После взрыва, побыв некоторое время «сверхновой», звезда, следуя по главной последовательности, может, приходя к финалу, трансформироваться в «белого карлика», нейтронную звезду или стать черной дырой, имеющей массу в миллиард раз больше нашего Солнца.

Но поразительны не столько огромные массы и энергии, сколько расстояния во Вселенной. Километры и мили здесь бесполезны, а в качестве универсальной меры используется световой год – расстояние, на которое свет способен распространиться за год. Свет – главный носитель информации во Вселенной. Он не ослабевает, распространяясь в пустом пространстве. Эта его неизменность даже по прошествии 10 млрд световых лет представляет собой совершенно замечательный факт, делающий возможной точнейшую «хронологию» событий во Вселенной. Однако в этом же и его недостаток: скорость света огромна, но не бесконечна, поэтому, наблюдая прошлое Вселенной, мы не в состоянии видеть ее «сегодняшний день». Мы видим только тот свет, который покинул наблюдаемые нами объекты миллионы или миллиарды лет назад.

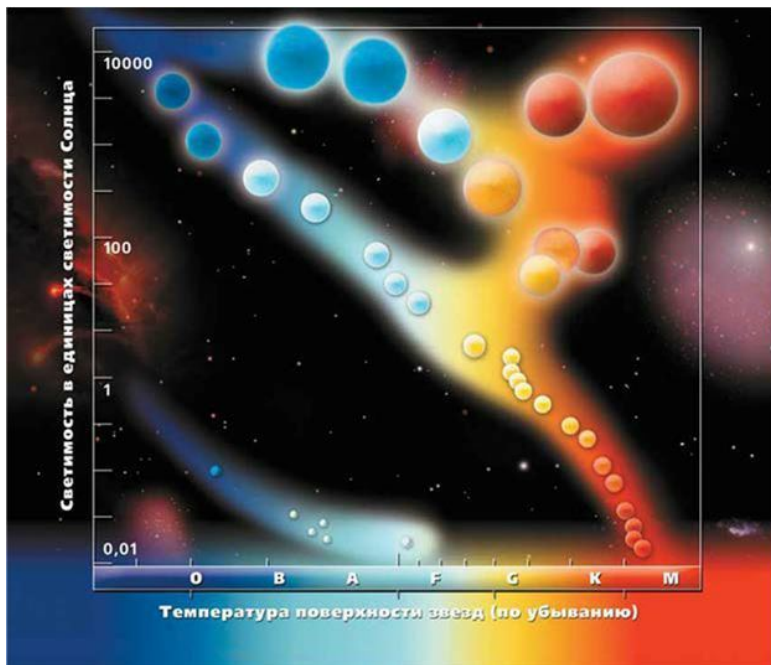


Рис. 1.1. «Жизненный путь» звезд – по мере старения звезда обнаруживается в различных точках изображенной на рисунке диаграммы Герпштрунга – Рассела, чаще всего движение идет по «главной последовательности» – линии точек, идущей из верхнего левого угла диаграммы в нижний правый.

Но, пожалуй, самое замечательное что Вселенная находится в непрерывном движении, подчиняясь законам физи-

ки. Не требуется никакого дополнительного творца, кроме проявления самих законов.

Тем не менее, в описании Вселенной остается множество тайн, и самая главная из них – тайна ее возникновения, «Большой Взрыв». Как могло случиться так, что огромная Вселенная однажды начала развиваться из «шарика», не большего, чем шляпка гвоздя?

В 1927–1929 гг. бельгийский священник Жорж Леметр был первым, кто четко заявил, что объекты, распределение и скорости движения которых и должны быть предметом космологии – это не звезды, а гигантские звездные системы, галактики, населяющие расширяющуюся Вселенную. На основе собственного теоретического предсказания расширения Вселенной он сделал первую правильную оценку постоянной в линейной зависимости скорости «убегания» галактик от расстояния, называемую теперь законом Хаббла.

**Краткая справка по истории открытия «Большого Взрыва»** В 1916 году была опубликована релятивистская теория гравитации Эйнштейна, содержащая уравнения связи кривизны пространства с тензором массы-энергии. Вопрос о стационарности решений этого уравнения возник практически сразу, поэтому в 1917 году Эйнштейн опубликовал первую космологическую модель стационарной Вселенной с постоянной кривизной пространства – времени, для устойчивости которой ему пришлось ввести в уравнения космологическую постоянную

1, отвечающую отталкиванию; в стандартной космологической интерпретации это и есть темная энергия. Введение постоянной в уравнение потребовали соображения устойчивости решений, но в 1922 году устойчивые решения уравнений Эйнштейна нашел математик из Санкт-Петербурга Александр Фридман. В журнале «Zeitschrift für Physik» вышли две его публикации в 1922 и 1924 годах, где рассмотрены космологические модели Вселенных с положительной и отрицательной кривизной. Независимо от Фридмана, описываемую модель разрабатывали Леметр (1927), Робертсон и Уокер (1935), поэтому решение полевых уравнений Эйнштейна, описывающее однородную изотропную Вселенную с постоянной кривизной, называют моделью Фридмана – Леметра – Робертсона – Уокера.

В 1932 году английский астроном Эдуард Милн выступил с утверждением, что Вселенная кинематически расширялась из некоторого крайне малого объема (модель «холодного» Большого Взрыва), но эта идея была жестко раскритикована Максом Борном и рядом других известных физиков. Однако в 1948 году эмигрант из России физик Георгий (Джордж) Гамов, совместно с астрономами Ральфом Альфером и Робертом Германом опубликовали теорию «горячего» Большого взрыва. Идея состояла в том, что в горячем и плотном веществе ранней Вселенной происходили ядерные реакции, и в этом ядерном котле за несколько минут были синтезированы легкие

химические элементы. Самым эффективным результатом этой теории стало предсказание космического фона излучения с температурой 3К (Гамов) или 5К (Альфен). Это СВЧ-излучение наблюдалось не раз как шум, но датой открытия космического фона считается 1964 год, когда американцы А. Пензиас и Р. Вилсон идентифицировали этот шум неизвестной природы как реликтовое излучение с температурой около 3К, предсказанной Гамовым.

У Вселенной много загадок, к которым относится, например, существование «темной материи» в галактиках, но наиболее таинственной представляется субстанция, обладающая антигравитацией – «темная энергия». Добавим, что гигантское темное пятно порождается самим наблюдением Вселенной – с помощью наших приборов мы фиксируем излучение не более 5 % общего объема Вселенной, а все остальное скрыто во тьме. Суть допущения о существовании темной энергии во Вселенной заключена в том, что тем самым «гарантирована» непрерывность ее расширения, ведь в противном случае гравитационная энергия обычного вещества когда-нибудь должна будет обратить любое расширение вспять, что неизбежно приведет к перезагрузке – обратному сжатию в исходную точку Большого Взрыва. В отличие от этой чисто умозрительной посылки обоснование того, что во Вселенной содержится 27 % невидимого (темного) вещества, опирается все же на наблюдения, обнаруживающие, что во вращающихся спиральных галактиках, подоб-

ных нашей, все звезды вращаются вокруг галактического ядра с одинаковой скоростью, хотя следовало бы ожидать замедления скорости от центра к краям. Необходимость предположения о дополнительной темной материи, рассеянной вокруг, связана с тем, что без него звезды на концах спирали должны были бы намного медленнее обращаться вокруг галактического центра.

Говоря о тайнах, стоит упомянуть и о том, что мы не представляем, какова может быть природа сил связи, которые держат протоны столь близко друг к другу в ядрах всех атомов мира. Протон упаковывается этими силами в ядро любого атома, за исключением водорода, где он сам является ядром. Но ведь все протоны имеют один и тот же положительный электрический заряд, и без скрытой силы, которая удерживала бы их вместе внутри ядра, атомы не могли бы быть стабильными и были бы обязаны взрываться. Силы гравитации внутри ядра бесконечно меньше, чем силы отталкивания электрических зарядов – они не в состоянии выполнить роль этой скрытой силы. Но на практике атомы удивительно стабильны, и лишь когда уран или плутоний активно бомбардируются нейтронами, сравнительно небольшая доля энергии связи в ядре атома высвобождается, хотя, как мы знаем, этого достаточно для того, чтобы последствия могли стать ужасными.

И, наконец, загадка точной настройки Вселенной: почему физические константы, определяющие ее облик, невероятно



точные и неизменны? Все они на самом деле очень похожи на случайные числа – кто их выбрал? Возьмите три универсальные константы:  $c$  – скорость света;  $h$  – постоянная Планка, также связанная со светом; и  $G$  – гравитационная постоянная. Почему скорость света равна величине 299 792 км/с? Почему не ровно 300 тысяч? Почему гравитационная постоянная, введенная Ньютоном в закон всемирного тяготения, составляет точно  $6,674 \cdot 10^{-11}$  Нм/кг<sup>2</sup>, иначе говоря, почему то легендарное яблоко, что упало на голову Ньютона в момент открытия закона тяготения, не падало быстрее или медленнее?

В дополнение к трем универсальным константам существует еще ряд физических констант, измеренных с высочайшей точностью – таких как кулон для электрического заряда – и для всех них этот же вопрос остается в силе. Будь одна из них немного иной, была бы Вселенная другой? Сегодня понятно, что эти константы являются вечными эталонами, символами постоянства в меняющемся мире. Многие исследователи предполагали и пытались найти хоть малейшую эволюцию этих констант во времени, но ни одна попытка не увенчалась успехом.

Отмечу в заключение этого раздела, что все эволюционные процессы во Вселенной подчиняются законам физики. То же самое, как мы увидим ниже, справедливо и для биосферы. Нет никаких следов какого-либо творения, кроме тех тайн, которые содержат сами законы физики, тогда как за-

гадки типа «что было до Большого Взрыва» мы не в силах пока объяснить рационально.

## **1.2. Богаты солнцами звездные небеса, но наше Солнце – единственное**

Все звезды, которые вы видите на ночном небе, – это все солнца, за исключением нескольких планет Солнечной системы, в которой есть даже планеты, схожие с нашей (такие как Венера – вечерняя «голубая звезда», появляющаяся первой после заката солнца). Все «настоящие» звезды, которые мы можем видеть на небе, принадлежат к нашей галактике – Млечному Пути. Сегодня известно, что Млечный Путь состоит примерно из 100 миллиардов звезд – представьте, это 100 тысяч миллионов солнц! А ведь это всего лишь одна галактика, тогда как общее число звезд во Вселенной неизмеримо больше.

Современные сверхсложные телескопы, изучающие космос, позволяют увидеть и оценить «начинку» области космоса, вмещающей порядка триллиона (т. е. 1000 миллиардов!) галактик. И поскольку каждая галактика имеет примерно такое же количество звезд, как наш Млечный Путь, то хорошее приближение для полного числа звезд в них есть бесконечность! В то же время огромные массы вещества галактик разделены столь гигантскими расстояниями, что пространство, которое их содержит, может считаться практически пу-

стым. Парадокс? А дело в том, что объем пространства растет как куб расстояния между галактиками и быстро делает объем галактик и вмещающей их пустоты несопоставимыми, позволяя нам тем самым наблюдать эти пространства практически прозрачными и пустыми.

По сей день до конца не ясны причины того, почему большинство звезд не имеет собственных планетарных систем, но все же число планет, подобных Земле, крайне важно для нас – ведь только там может зародиться жизнь и появиться разум! Гигантские расстояния практически исключают какую-либо надежду на коммуникацию: нас разделяют сотни и тысячи световых лет – столько длится путешествие квантов света от далеких звездных систем к Земле, но проект поиска братьев по разуму (проект SETI) все же существует.

Но космос – отнюдь не застывшая в вечности световых лет реальность, а наоборот – динамичная, эволюционирующая система, составляющие его галактики, а тем более звезды, не только находятся в движении, но и активно обмениваются веществом. Например, в 2017 году, в ходе крупномасштабного моделирования процессов обмена веществом между галактиками, американские астрономы выяснили, что до 50 % материала в нашем Млечном Пути на самом деле – захваченное вещество других галактик! Это позволяет нарисовать картину галактических слияний длительностью в миллиарды лет, известную как модель «галактического каннибализма».

Наша Солнечная система обязана своим существованием

взрыву одной или нескольких сверхновых, создавших для этого исходное вещество. Как упоминалось выше, сверхновые звезды теряют устойчивость и взрываются, рассеивая вокруг тяжелые элементы, которые иначе не смогли бы появиться во Вселенной – они обязаны своим существованием термоядерным реакциям, идущим только в недрах звезд. Термоядерный синтез – основной источник энергии, питающий свечение звезд и создающий как энергию света, так и все элементы вещества, которые тяжелее водорода и гелия. Наша Земля, ее биосфера и мы сами сделаны из материала, созданного взрывами сверхновых, за исключением легких элементов, таких как водород. Вся земная вода, в частности, содержит водород, родившийся непосредственно из Большого Взрыва.

С 1987 года, уже около 30 лет, астрономы наблюдают коллапсирующую сверхновую звезду, которая находится на расстоянии 163 000 световых лет от нас в соседней галактике. Это ближайшая к нам сверхновая на пике взрыва давала излучение, как 100 миллионов Солнц. Большая часть ее светимости была вызвана распадом радиоактивного кобальта, возникшего при синтезе, обусловленном гравитационным коллапсом, в ходе которого сверхновая катастрофически сжалась, но вскоре восстановила свой размер за счет вновь зажгшегося термоядерного синтеза.

Исследователи эволюции звезд полагают, что и наше Солнце могло образоваться из остатков таких сверхновых.

Общая теория происхождения Солнца говорит о том, что все началось с гигантского облака молекулярного газа около 65 световых лет в поперечнике, похожего на те, которые существуют до сих пор в нашей галактике. Такие молекулярные облака могут быть, как и все во Вселенной, огромными – их масса более чем в 300 000 раз больше массы Солнца. Облака могут образовываться и распадаться очень быстро по космическим масштабам – менее чем за 10 миллионов лет. Считается, что Солнце сформировалось из «протопланетного диска» менее чем за 50 миллионов лет, что тоже представляет собой относительно короткий по масштабам Вселенной период. При этом важно, что Солнце не было сформировано в одиночку – оно возникло в кластере других звезд, содержавшем от 1000 до 10 000 его звезд-ровесниц.

Недавно была высказана идея, что все обстоит еще сложнее, чем думали раньше, и это вдвойне интересно для нас, ведь разговор в этой книге идет о Солнце. В 2012 году профессор Маттье Гунелле (Matthieu Gounelle), куратор уникальной коллекции образцов «небесных камней» Национального музея естественной истории в Париже, провел моделирование формирования звезд для объяснения высоких содержания магния-26 и никеля-60 в астероидах. Его модель опирается на представление о том, что изначально однородная большая туманность начала сжатие под действием собственного тяготения около 4,6 миллиарда лет назад, в результате чего возникло начальное поколение звезд – те звезды, которых

никто не видел, так как они давно взорвались.

Их число, видимо, было очень невелико – порядка 5000, и они составили первичное «звездное население», которое теперь принято называть поколение III (Population or POP III), так как оно было открыто в последнюю очередь. Это население составили безуглеродные звезды, достигающие огромных масс – сотен или даже тысяч масс Солнца. Зажигаясь, эти гигантские звезды создают такое давление излучения вокруг себя, что разгоняют окружающее их вещество и в результате не могут подпитываться материей, захватываемой их полем тяготения. В результате, спустя примерно 5 миллионов лет, исходное топливо подходит к концу, звезда теряет устойчивость и происходит катастрофический взрыв; большинство звезд начального населения взорвались как сверхновые, освободив тем самым тяжелые элементы. Еще через 2 миллиона лет оставшаяся часть туманности окончательно сжалась, что привело к образованию второго поколения звезд (Population or POP II). Некоторые из этих звезд имели массу порядка 30 масс нашего Солнца (это неустойчивые красные гиганты, склонные к распаду).

В конце концов одна из этих тяжелых звезд примерно 100 000 лет спустя выбросила тот самый материал, из которого родилось современное звездное поколение (Population I), к которому относится наше Солнце и тысячи других звезд.

Это произошло 4,5682 миллиарда лет назад – такой возраст Солнца получается на основе астероидной методики да-

тировки, созданной Матье Гунелле. Звездные сестры Солнца скрылись в глубинах галактик, а спустя несколько миллионов лет огромная звезда, которая выбросила материал для образования Солнца и его сестер, сама превратилась в очередную сверхновую. Ацтеки называли ее Коатлике – матерью Солнца и матерью богов.

И еще: Солнце со своими планетами сегодня немного меньше в диаметре, чем 4,6 миллиарда лет назад, но светит ярче. Оно еще не прошло половины своего жизненного цикла, поскольку в его составе все еще 74 % «топливного» водорода и только 24 % гелия. Ожидается, что Солнце достигнет «совершеннолетия» в возрасте 10,5 миллиардов лет. В результате небольшого уплотнения ядра солнечная радиация увеличивается на 7 % каждый миллиард лет; сегодня оно излучает почти на 30 % энергии больше, чем при рождении. Термоядерный синтез происходит в центральной «плотной» зоне ядра Солнца при температуре около 15 миллионов градусов Цельсия. Однако при таких температурах вещество Солнца непрозрачно, поэтому прохождение тепла от ядра к излучающей поверхности возможно только вследствие теплопроводности, на что требуется в среднем около 100 000 лет; при этом поверхность Солнца охлаждается уносящим тепло излучением и имеет температуру, к счастью, «всего» 5778 К. К счастью, поскольку излучение солнечного ядра с температурой в миллионы градусов, выйдя оно на поверхность, несомненно, выжгло бы на Земле все, включая Миро-

вой океан.

Спектральный максимум излучения поверхностного слоя (фотосферы) Солнца находится в области видимых зелено-голубых волн, для которых атмосфера Земли почти прозрачна, тогда как другие длины волн, в том числе губительного жесткого и коротковолнового ультрафиолетового излучения, атмосфера в основном не пропускает. Мощность потока излучения, поступающего на внешнюю поверхность атмосферы Земли, составляет  $1,367 \text{ кВт/м}^2$ . После прохождения атмосферы часть света рассеивается и интенсивность потока снижается до  $1 \text{ кВт/м}^2$  на поверхности Земли на уровне моря.

Интересные результаты дало проведенное недавно сравнение усредненной солнечной радиации над Европой в течение двух временных отрезков: с 1965 по 1988 год и с 1989 по 2012 год – оно точно выявило вклад загрязнения воздуха. Оптимистичность этого результата состоит в том, что в последние годы поток излучения возрос на  $2\text{--}3 \text{ Вт/м}^2$ . Это совсем не много, но прелесть результата в том, что фактически измерен эффект от снижения загрязнений. Это проявилось, например, в исчезновении кислотных дождей: они были бичом Европы XX столетия, а в нашем веке повсеместно исчезли.

В целом же энергия, излучаемая Солнцем, умопомрачительно велика. Каждую секунду  $627 \text{ млн т}$  водорода превращается в ядре Солнца в гелий – применительно к звез-



дам и нашему Солнцу этот элемент справедливо носит свое греческое имя (Гелиос – Солнце). Невероятное количество энергии Солнце излучает во всех направлениях, а энергия, которую получает Земля, составляет всего миллиардную часть общей светимости Солнца, которую оно обеспечивает 4,6 млрд лет. В 2017 году исследователи обнаружили сюрприз, связанный с ускоренным вращением солнечного ядра. Выяснилось на основе данных, собранных спутником SOHO, исследующего Солнце, что не только поверхность Солнца, но и его объем подвержены дифференциальному вращению: на поверхности скорость вращения максимальна на экваторе (25 дней/оборот) и уменьшается до 35 дней на полюсах, при этом скорость вращения увеличивается и с глубиной, становясь в области ядра в 3–4 раза выше, чем на поверхности, т. е. ядру требуется всего неделя на один оборот.

Последние несколько десятков лет усилия ученых-ядерщиков в Европе направлены на то, чтобы имитировать термоядерный механизм, лежащий в основе работы Солнца, и сопровождаются обещаниями добыть дешевую энергию с помощью термоядерного синтеза. За это время бюджет исследований по термоядерному синтезу достиг 30 млрд евро, которые исправно поступают из грантов международных научных фондов, правда, как правило, без широкой огласки. Однако все больше людей начинают считать, что эти миллиарды тратятся впустую и необходимо оставить попытки ими-

тации происходящего в солнечном ядре.

### **1.3. Энергетический механизм Солнца**

Солнце генерирует энергию за счет процесса, происходящего при колоссальной температуре и огромном давлении, в ходе которого 4 протона ядер атомов водорода сливаются, чтобы образовать ядра гелия. Полное описание процесса состоит в том, что два протона преобразуются в нейтроны, при этом рождаются два позитрона и два нейтрино. Поток неуловимого нейтрино с большим трудом удалось поймать на Земле, и это блестяще подтвердило теорию.

Однако если описание синтеза воспринимается легко и просто, то при практической реализации проекта всегда возникает головоломка, связанная с созданием огромных давлений, так как положительный электрический заряд протонов создает огромную силу отталкивания между ними. Эта сила, препятствующая слиянию, делает невозможным прямой контакт протонов даже при высокой скорости, обусловленной гигантской температурой солнечного ядра.

Надо сказать, что вопрос о том, как Солнце производит свою энергию, всегда вызывал большой интерес у ученых. В XIX столетии Гельмгольц и лорд Кельвин предложили механизм гравитационного сжатия Солнца. Однако вскоре выяснилось, что гравитационной энергии было бы недостаточно, чтобы объяснить длительное существование Солнца. Вско-

ре после открытия радиоактивности в начале XX века, английский ученый Артур Эддингтон предложил в 1920 году механизм слияния ядер водорода, превращающихся в гелий. Он использовал формулу эквивалентности массы и энергии, найденную Эйнштейном, для подсчета дефекта массы, возникающего как разница веса ядра гелия (атомный вес гелия 4,0026) и четырех ядер водорода (атомный вес водорода 1,008).

Эддингтон прозревал далеко идущие последствия ядерного синтеза, уже в те годы поднимая вопрос о «контроле над этой силой для предохранения человеческой расы от самоубийства». В целом Эддингтон был абсолютно прав, но «проклятый» вопрос о кулоновском отталкивании протонов долгое время оставался нерешенным. Прорыв произошел лишь в 1928 году, когда русский (впоследствии – американский) физик Георгий (Джорж) Гамов, поступив в аспирантуру к Макс Бору, сумел с помощью квантовой механики обосновать ненулевую вероятность того, что две одинаково заряженные частицы смогут преодолеть взаимное электростатическое отталкивание в ядре атома. Механизм происходящего он объяснил, используя представление о механизме туннельного эффекта, что породило длительную дискуссию между ведущими физиками того времени – Теллером, Бете, Вайцеккером и многими другими.

В 1937 году Карл Фридрих фон Вайцеккер предложил механизм реакции, позже получивший название CNO цикла

Бете – Вейцеккера. Цикл описывает каталитические свойства углерода, азота и кислорода (обозначения которых и составляют аббревиатуру, ставшую названием цикла), которые содержатся в звездах лишь в небольших количествах, но при этом существенно облегчают условия процесса превращения четырех протонов в гелий (прежде всего позволяет звездам иметь намного меньшую массу, чем это характерно для звезд поколения III, где этих элементов нет). Немецкий ученый Ганс Бете, сыгравший впоследствии большую роль в Лос-Аламосе, участвовал в дискуссии на конференции в 1939 году, где предложил цикл CNO для объяснения механизма выработки энергии Солнцем. Однако на этой же конференции, происходившей в Вашингтоне, была предложена альтернатива – прямая реакция между протонами путем туннелирования, которая отстаивалась Гамовым и Критчфилдом. Тогда они сумели доказать свою правоту, а Бете признал, что ошибся. Однако на самом деле в звездах возможны оба механизма, и вопрос в том, какой из них преобладает: если для нашего Солнца преобладающее значение имеет прямой туннельный синтез, то в более тяжелых и горячих звездах (и в звездах поколения II) работает каталитический цикл CNO. В определенном смысле нам повезло, что прямое слияние протонов столь сильно затруднено огромными силами отталкивания между ними и делает скорость слияния минимальной, ведь не будь квантовых ограничений, все протоны могли бы объединиться сразу, а Солнце просто немедленно

бы взорвалось.

## **1.4. Солнце, Земля и мы**

### **1.4.1. Дети Солнца и Земли**

Разумно называть Землю нашей матерью, а Солнце нашим отцом. Действительно, на языках с латинскими корнями, таких как французский или испанский, Земля женского рода, а Солнце – мужского. Но в других языках иначе: на немецком языке Земля и Солнце – женского рода, а Луна – мужского. Очевидно, однако, что и такая параллель ошибочна, так как упускает из виду, что наше повседневное существование полностью регулируется лишь парным поведением Солнца и Земли.

Возьмем, например, сон. Он рожден регулярной сменой дня и ночи при движении Земли в лучах Солнца. Или возьмем разницу во времени: Солнце диктует местное время, поэтому происходят временные сдвиги при путешествиях на большие расстояния, когда приходится переводить часы.

### **1.4.2. Рождение Земли**

Вероятно, Земля и все планеты произошли из той же плоской туманности молекулярного водорода, которая породила и наше Солнце. Рождение планет должно было про-

изойти вскоре после образования нашей звезды, «всего лишь» от 10 до 100 миллионов лет спустя. Мнение об общности происхождения основано на том, что орбиты всех планет лежат в той же плоскости, что отвечает собственному вращению Солнца. Первым, кто предположил, что планеты образовались конденсацией из вращающейся туманности-небулы, был Иммануил Кант, а чуть позднее идею развил Пьер-Симон Лаплас. В 1943 году Карл фон Вайцеккер, который, как мы упоминали, работал над проблемой энергетики Солнца и CNO-катализом ядерной реакции, выдвинул еще одну столь же далеко идущую гипотезу о том, как могла бы образоваться наша Земля и все планеты, объяснившую с помощью орбитальных резонансов давно мучившую астрономов загадку, известную как правило связи средних радиусов планетарных орбит (правило Титуса – Боде).

Вайцеккер также предполагал, что планеты должны были первоначально иметь состав элементов, идентичный Солнцу, т. е. содержать более 98 % водорода и гелия плюс небольшой процент тяжелых элементов. На планетах, расположенных ближе к Солнцу, таких как Земля, легкие элементы выбрасывались, как из пращи, из-за их быстрого вращения, что привело за миллиарды лет к обогащению планет более тяжелыми элементами. Внешние планеты, расположенные дальше от Солнца, были более холодными, наличие льда помогало им в удержании водорода, поэтому современная пропорция содержания водорода в Юпитере и его содержание в со-

ставе Солнца практически совпадают.

В настоящее время точный химический состав Земли и Солнца нам известен. Земля содержит в основном 4 элемента: кислород, железо, кремний и магний. Все остальные составляют не более 0,3 % общей массы Земли и, как уже упоминалось, все эти элементы ранее были сформированы в массивных звездах при температурах, более чем в 100 раз превосходящих жар ядра Солнца.

После истощения водорода звезды продолжают синтез, используя в качестве топлива гелий, но из-за нехватки энергии сжимаются, а температура продолжает расти. В последующей череде ядерных синтезов сначала образуются углерод и кислород, затем магний и кремний, а после достижения температуры в 3 миллиарда градусов К начинается возникать железо. Образование железа – сигнал, что звезда приближается к состоянию, близкому к взрыву сверхновой, тогда как элементы более тяжелые, чем железо, возникают уже в пламени самого взрыва.

Интересно, что Солнце содержит все те же тяжелые элементы, что и Земля, но в пропорции 1,76 %, тогда как остальное – водород и гелий. Доли тяжелых элементов на Солнце не совсем те же, что на Земле, но их пропорции между собой очень близки – это относится не только к кислороду, имеющему на Земле самую высокую концентрацию, но справедливо и для пропорции железа, кремния и магния на Солнце.

На сегодня предложен целый ряд моделей формирования планет. Можно полагать, что это одна из тем, в которой окончательного решения никогда не будет, во всяком случае до тех пор, пока последний физик не скажет свое последнее слово. В настоящее время можно считать преобладающей так называемую SNDM-модель (Solar Nebular Disk Model – модель солнечного небулярного диска), которая описывает рождение протопланет. Модель, содержащая соответствующие уравнения, впервые появилась в книге российского ученого Виктора Сафронова, вышедшей на русском языке в 1969 году, а в 1972 году – на английском. Но в целом она не так уж сильно отличается от модели Вайцзеккера.

### **1.4.3. Астероиды и кометы**

Существенным процессом формирования основной массы нашей Земли было накопление космической пыли в виде плоского орбитального диска. За этим последовал выброс большей части водорода и началась массивированная бомбардировка астероидами и кометами. Полезно напомнить, что одним из таких столкновений, пережитых примитивной Землей, была «ударная» встреча с небольшой протопланетой, что и привело к рождению Луны.

Астероиды, чьи ледяные уколы столь часто достигают Земли, происходят из «пояса Койпера» – области, лежащей за пределами планеты Нептун. Это «отходы» образования



Юпитера и, следовательно, они столь же старые, как и сама Солнечная система. Вращаясь вокруг Солнца, они, как правило, имеют возможность иногда пересекать орбиту Земли.

Считается, что кометы отличаются от астероидов тем, что приходят извне Солнечной системы. Число комет исчисляется миллиардами, но лишь 184 из них идентифицированы как обладающие периодом возвращения к Солнцу. Состоят кометы в основном из ледяного ядра, пыли и газов. Под солнечными лучами лед испаряется и кометы распускают пышные хвосты на расстояние до 10 миллионов километров. Совершив приблизительно 500 оборотов вокруг Солнца, кометы становятся простыми скалами, точно такими же, как астероиды.

Замечательным прорывом современной астронавтики стал визит искусственного модуля-лаборатории «Rozetta» на комету «Чюрюмова – Герасименко» («Tchouri») в 2016 году. Несмотря на то что модуль разбился при посадке, он сумел измерить и передать изотопный состав ксенона в атмосфере кометы, а это в свою очередь позволило путем сопоставления с образцами на Земле и солнечными спектрами прийти к выводу, что вода в составе кометы не принадлежит Солнечной системе.

# 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.