

Солнце: его состав и внутреннее строение

Солнце и звезды



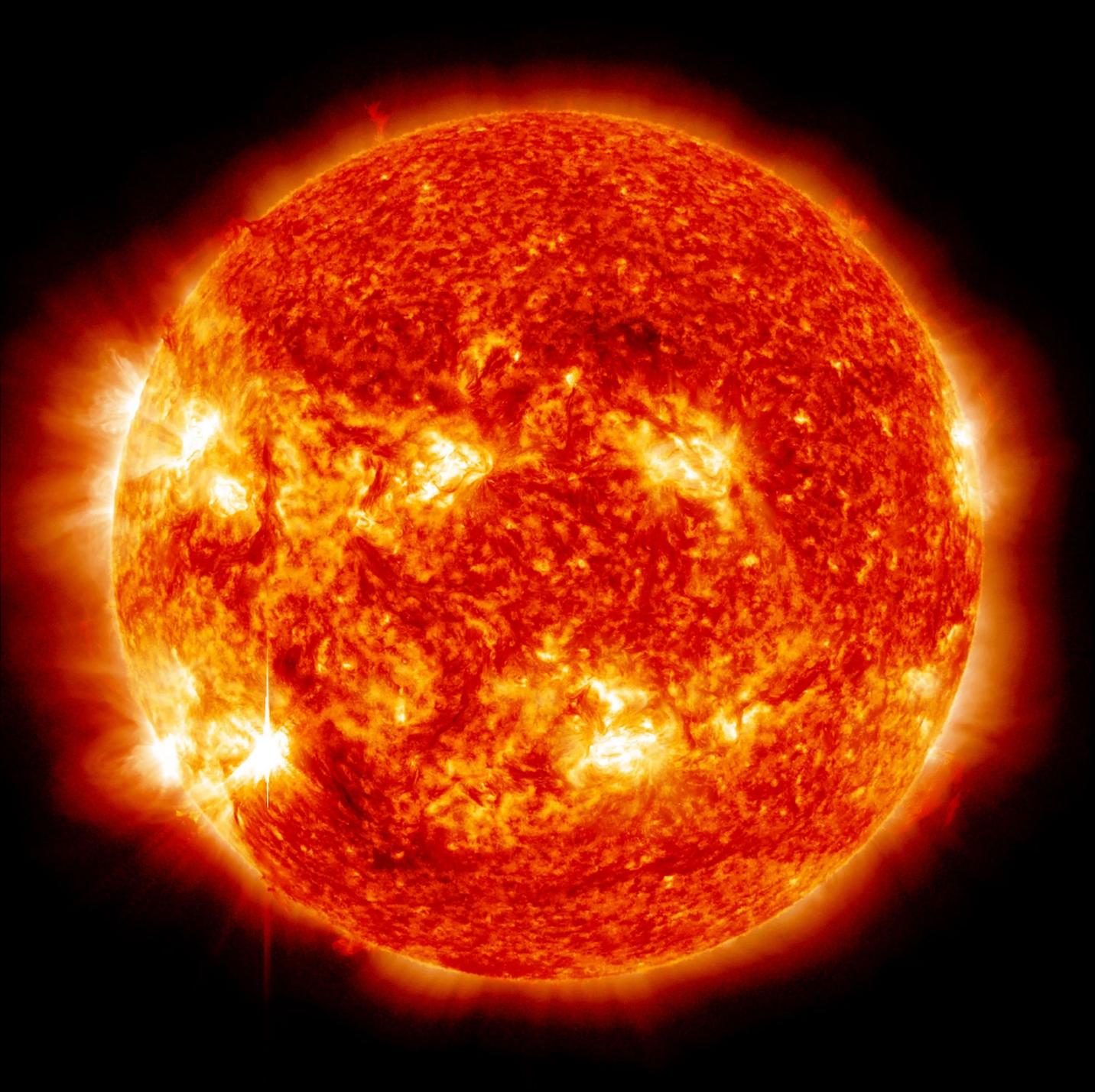
Солнце занимает исключительное положение в жизни человека. Оно обеспечивает нас светом, теплом, является источником всех видов энергии, используемых людьми. Солнце влияет на магнитное поле и верхние слои атмосферы Земли, вызывая магнитные бури, ионизацию и циркуляцию атмосферы. Солнечная «погода» влияет на климат, биосферу и земную жизнь в целом. Значение Солнца

Солнце — центральное тело Солнечной системы, типичная звезда, представляющая собой раскаленный плазменный шар. Солнце — одна из 100 млрд звезд нашей Галактики. Детально изучая физическую природу Солнца, мы получаем важнейшие сведения о природе остальных звезд.

Диск Солнца, видимый с Земли, - ослепительно желтый круг со средним угловым диаметром 32'. Свет от него доходит до Земли за $8 \frac{1}{3}$ мин.



Диаметр Солнца равен 1 млн 392 тыс. км (109 диаметров Земли). Объем Солнца, таким образом, более чем в миллион раз превосходит объем Земли, а его масса составляет $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30}$ кг, что примерно равно 330 000 земных масс.



Количество приходящей от Солнца на Землю энергии принято характеризовать **солнечной постоянной**.

Солнечная постоянная - поток солнечного излучения, который приходит на поверхность площадью 1 м^2 , расположенную за пределами атмосферы перпендикулярно солнечным лучам на среднем расстоянии Земли от Солнца (1 а. е.).

Солнечная постоянная равна $1,37 \text{ кВт/м}^2$. Умножив эту величину на площадь поверхности шара, радиус которого 1 а. е., определим полную мощность излучения Солнца, **его светимость**, которая **составляет $4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$** .



С помощью законов излучения можно определить температуру фотосферы Солнца.

Энергия, излучаемая нагретым телом с единицы площади, определяется **законом Стефана—Больцмана**:

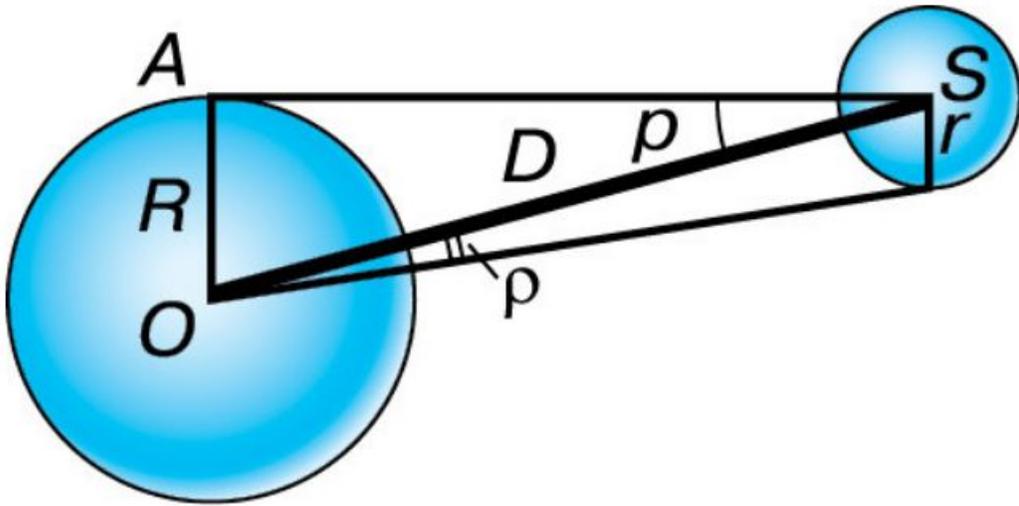
Закон Стефана—Больцмана:

Мощность излучения абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени температуры:

$$E = \sigma \cdot T^4$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – постоянная Стефана-Больцмана

Светимость Солнца (полное количество энергии, излучаемое Солнцем по всем направлениям в единицу времени) известна, остаётся узнать, какова площадь поверхности Солнца.



С Земли мы видим Солнце как небольшой диск. Угловой диаметр солнечного диска примерно $30'$. Зная расстояние до Солнца (150 млн км), нетрудно вычислить его линейные размеры и площадь поверхности. Радиус Солнца равен приблизительно 700 тыс. км.

$$r = D\rho$$

величина ρ выражена в радианах

Теперь можно узнать, какова температура фотосферы. Светимость Солнца

$$L = 4\pi R^2 \cdot E$$

или

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Откуда

$$T = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi R^2 \sigma}}$$

Подставив в эту формулу численные значения входящих в неё величин, получим $T = 6000$ К. Очевидно, что такая температура может поддерживаться лишь за счёт постоянного притока энергии из недр Солнца.



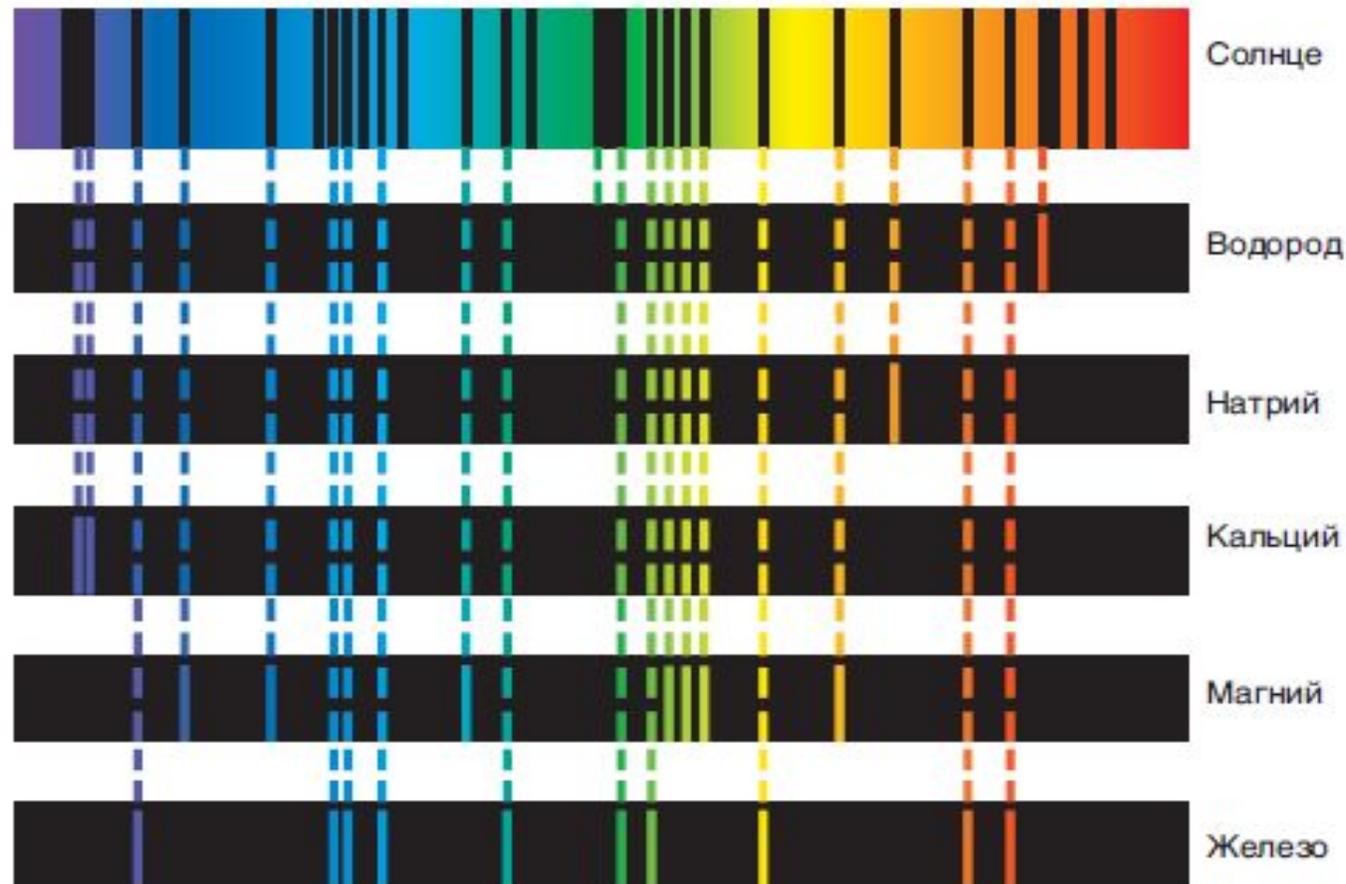
Для изучения Солнца используются телескопы особой конструкции — башенные солнечные телескопы. Система зеркал непрерывно поворачивается вслед за Солнцем и направляет его лучи вниз на главное зеркало, а затем они попадают в спектрографы или другие приборы, с помощью которых проводятся исследования Солнца. Благодаря большому фокусному расстоянию солнечных телескопов (до 90 м) можно получить изображение Солнца диаметром до 80 см и детально изучать происходящие на нём явления.



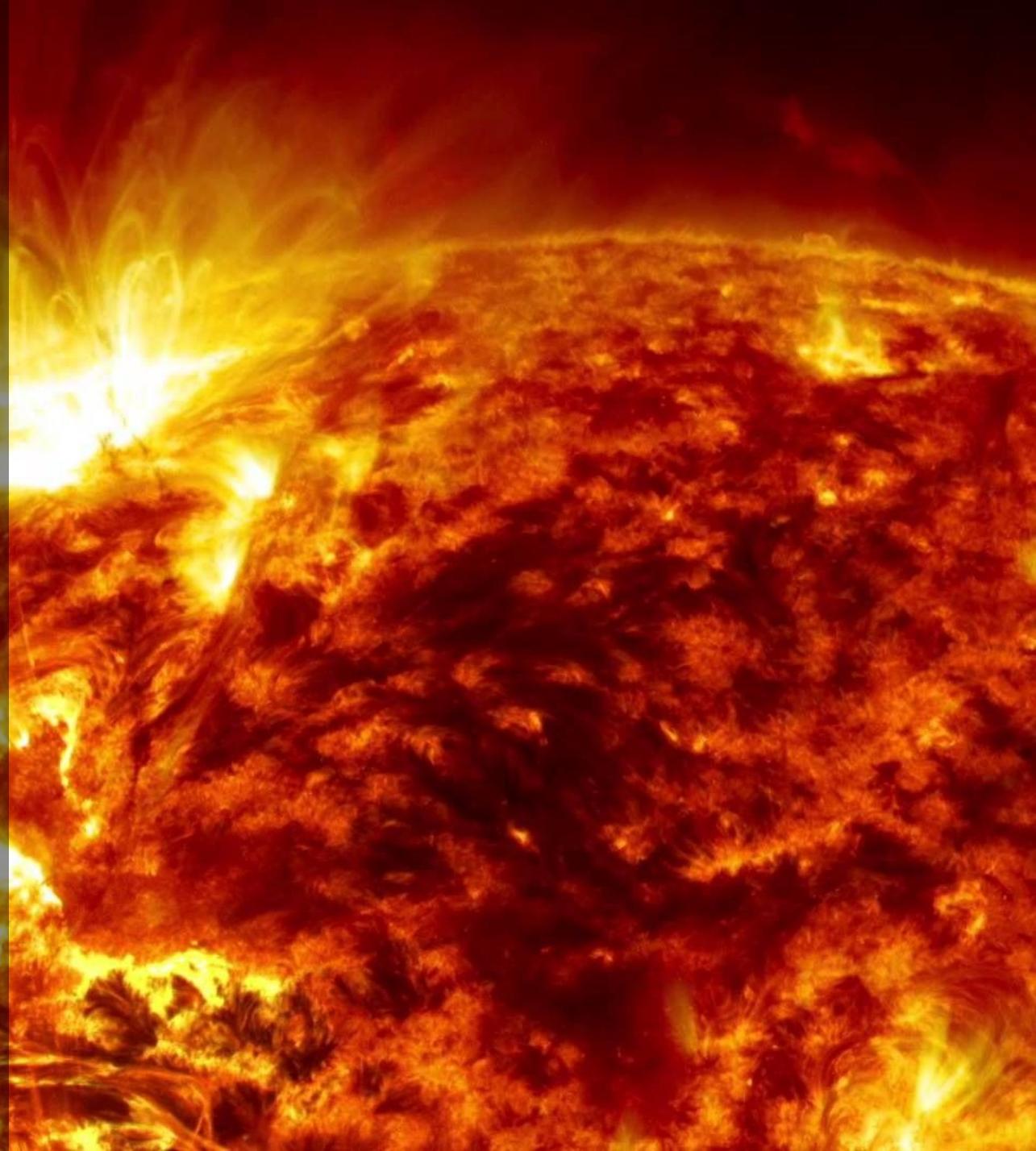


Йозеф
Фраунгофер

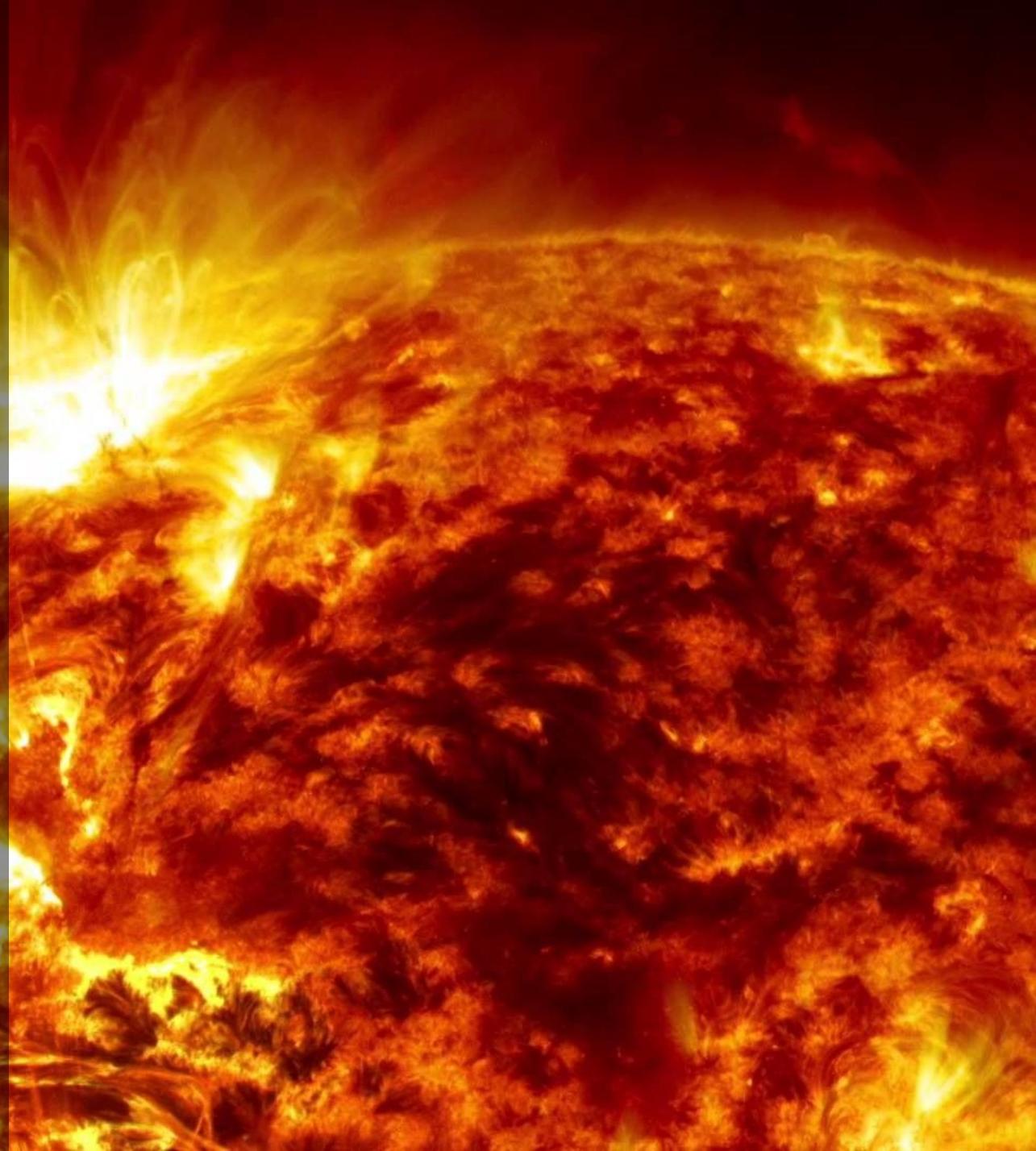
Почти все наши знания о Солнце основаны на изучении его спектра. Химические элементы, которые присутствуют в атмосфере Солнца, поглощают из непрерывного спектра, излучаемого фотосферой, свет определенной частоты. В результате в непрерывном спектре появляются темные линии. Йозеф Фраунгофер впервые изучил и зарисовал 576 темных линий солнечного спектра. Ученый правильно указал, что источник темных спектральных линий — солнечная атмосфера. По положениям в спектре (т. е. длинам волн) и интенсивностям этих фраунгоферовых линий можно установить, какие химические элементы присутствуют в солнечной атмосфере.



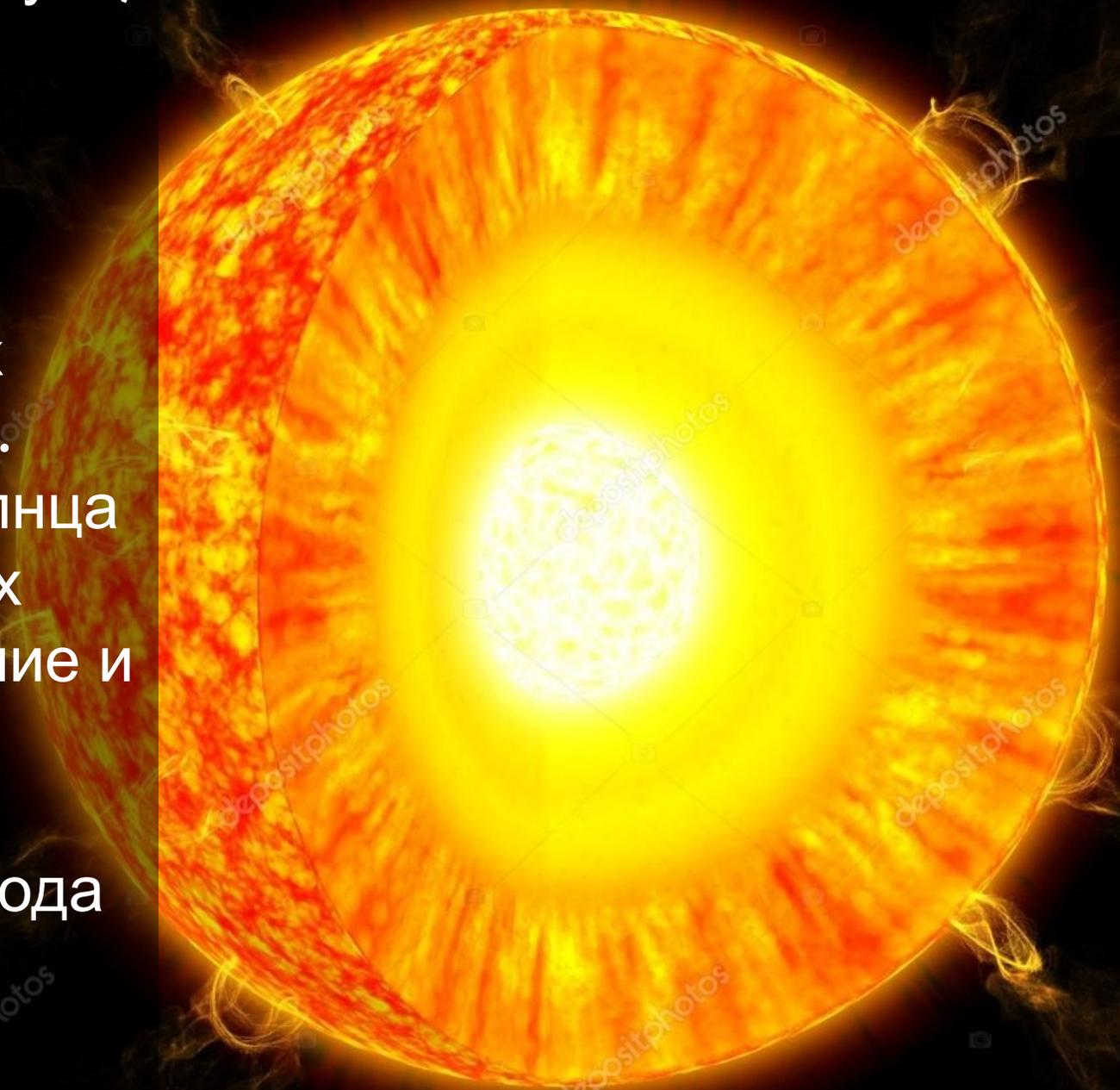
Уже отождествлено свыше 30 тыс. линий для 72 химических элементов, присутствующих в атмосфере Солнца. Фраунгоферовы линии по интенсивности и ширине чрезвычайно разнообразны. Анализ спектральных линий показал, что преобладающим элементом на Солнце является водород — на его долю приходится свыше 70 % массы Солнца, около 28 % приходится на гелий и около 2 % на другие элементы.



Вещество Солнца сильно ионизовано: атомы, потерявшие электроны своих внешних оболочек и ставшие ионами, вместе со свободными электронами образуют плазму. Средняя плотность солнечного вещества примерно 1400 кг/м^3 . Она соизмерима с плотностью воды и в 1000 раз больше плотности воздуха у поверхности Земли.

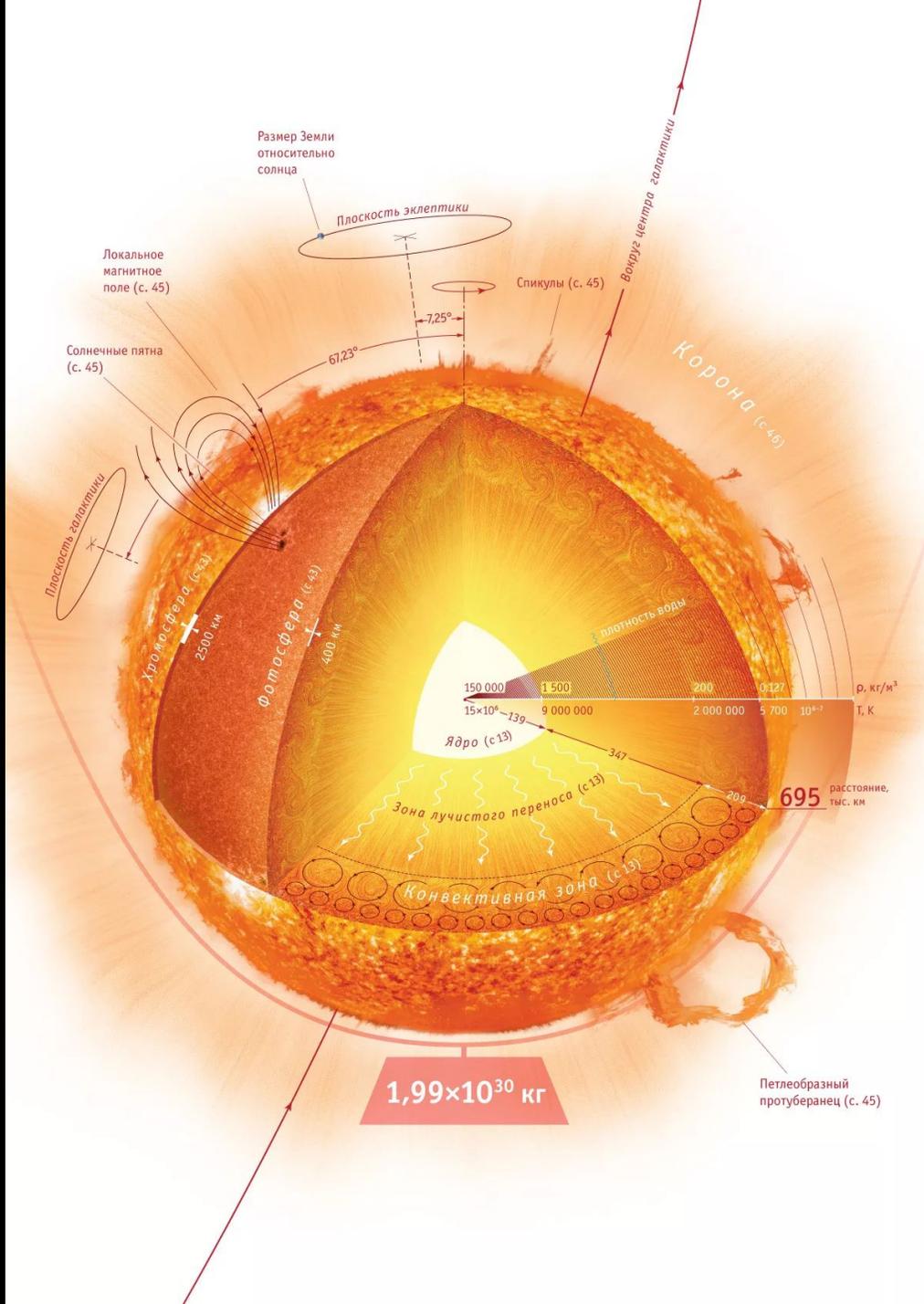


Основываясь на данных о радиусе, массе, светимости Солнца, на физических законах, можно получить данные о давлении, плотности, температуре и химическом составе на разных расстояниях от центра Солнца. При приближении к центру Солнца растут, достигая максимальных значений, температура, давление и плотность. Химический состав Солнца тоже различается: процентное содержание водорода меньше всего в центре.



Высокое давление внутри Солнца обусловлено действием вышележащих слоев. Силы тяготения стремятся сжать Солнце. Им противодействует упругость горячего газа и давление излучения, идущие из недр. Эти силы стремятся расширить Солнце. Тяготение, с одной стороны, а упругость газов и давление излучения, с другой — уравнивают друг друга. Равновесие имеет место во всех слоях от поверхности до центра Солнца. Такое состояние Солнца и звезд называется **гидростатическим равновесием**.

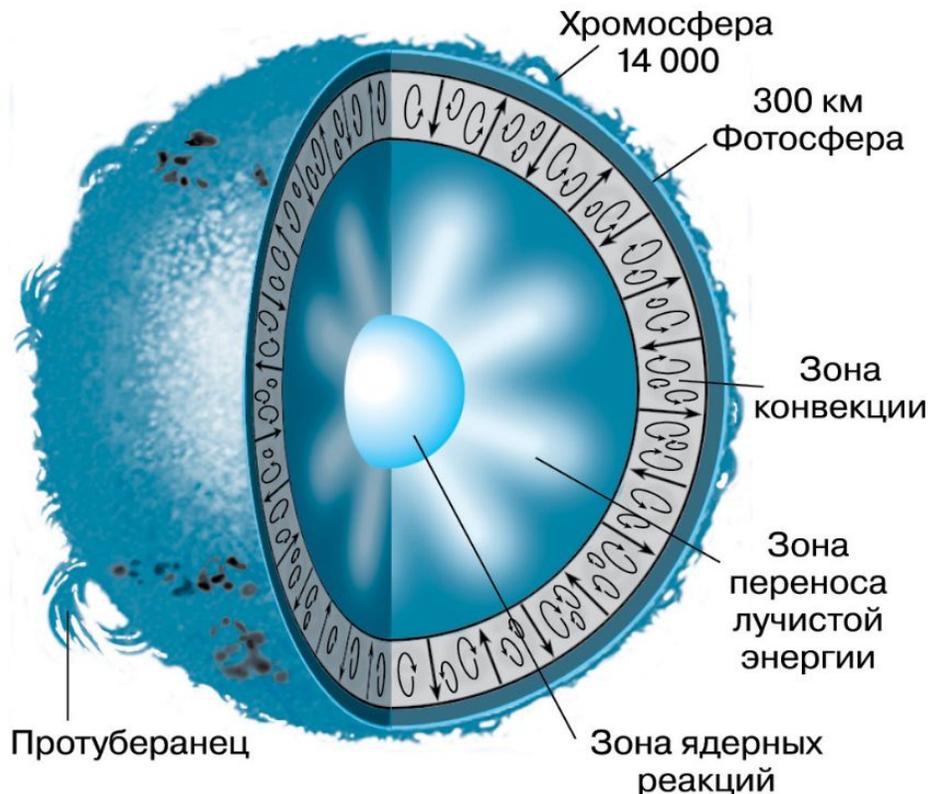
Эта простая идея была выдвинута в 1924 г. английским астрофизиком **Артуром Эддингтоном**. Она позволила составить уравнения, по которым рассчитывают модели внутреннего строения Солнца, а также других



Модель внутреннего строения Солнца

Расстояние от центра	Температура	Давление	Плотность
R/R_{\odot}	$T, \text{ К}$	$P, \text{ Па}$	$\rho, \times 10^3 \text{ кг/м}^3$
0	$1,5 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^{16}$	150
0,2	$1,0 \cdot 10^7$	$4,6 \cdot 10^{15}$	36
0,5	$3,4 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^{13}$	1,3
0,8	$1,3 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^{11}$	0,035
0,98	$1,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^9$	0,001

Согласно современным данным, температура в центре Солнца достигает 15 млн К, давление $2,2 \cdot 10^{16}$ Па, а плотность вещества значительно превышает плотность твёрдых тел в земных условиях: $1,5 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^3$, т. е. в 13 раз больше плотности свинца.



Мы уже знаем, что солнечное вещество в основном состоит из водорода.

Внутри Солнца (на расстояниях до 0,3 радиуса от центра) создаются условия, благоприятные для протекания термоядерных реакций превращения атомов легких химических элементов в атомы более тяжелые.

Термоядерная реакция включает такие этапы:

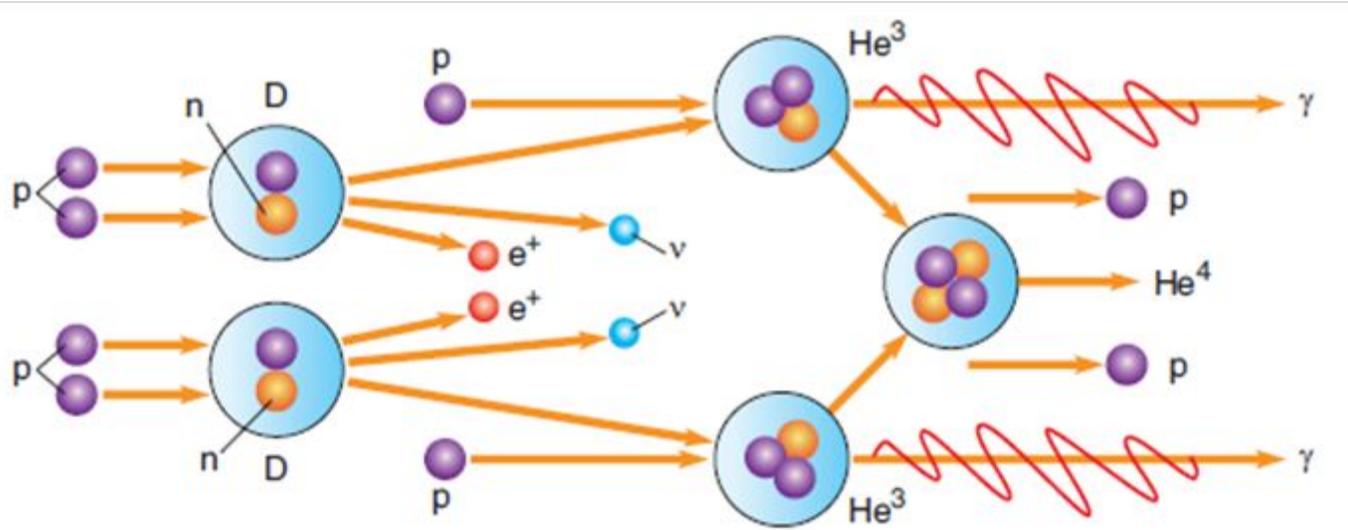
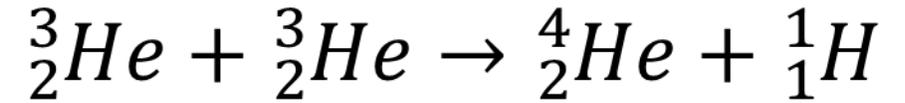
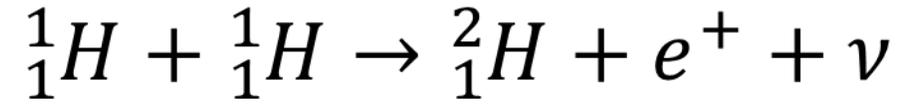
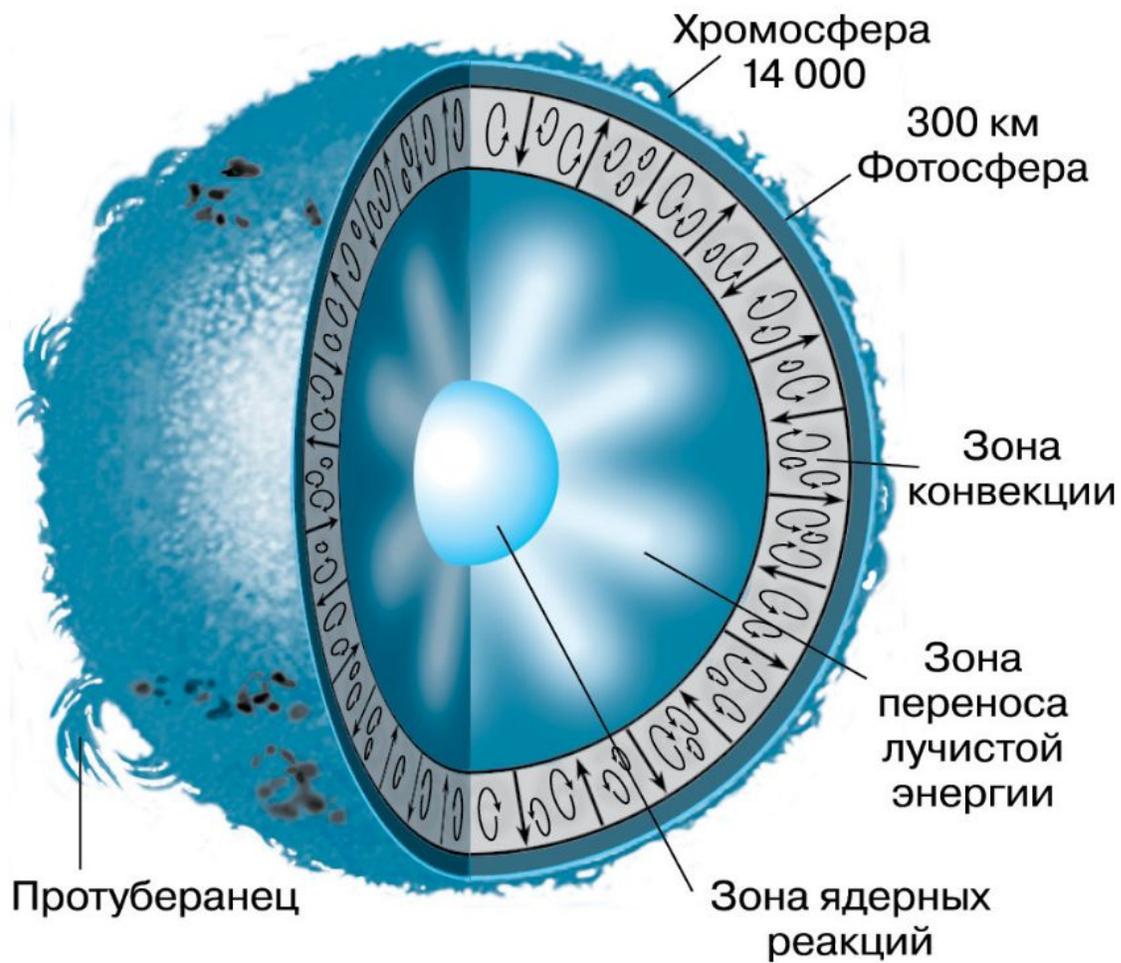


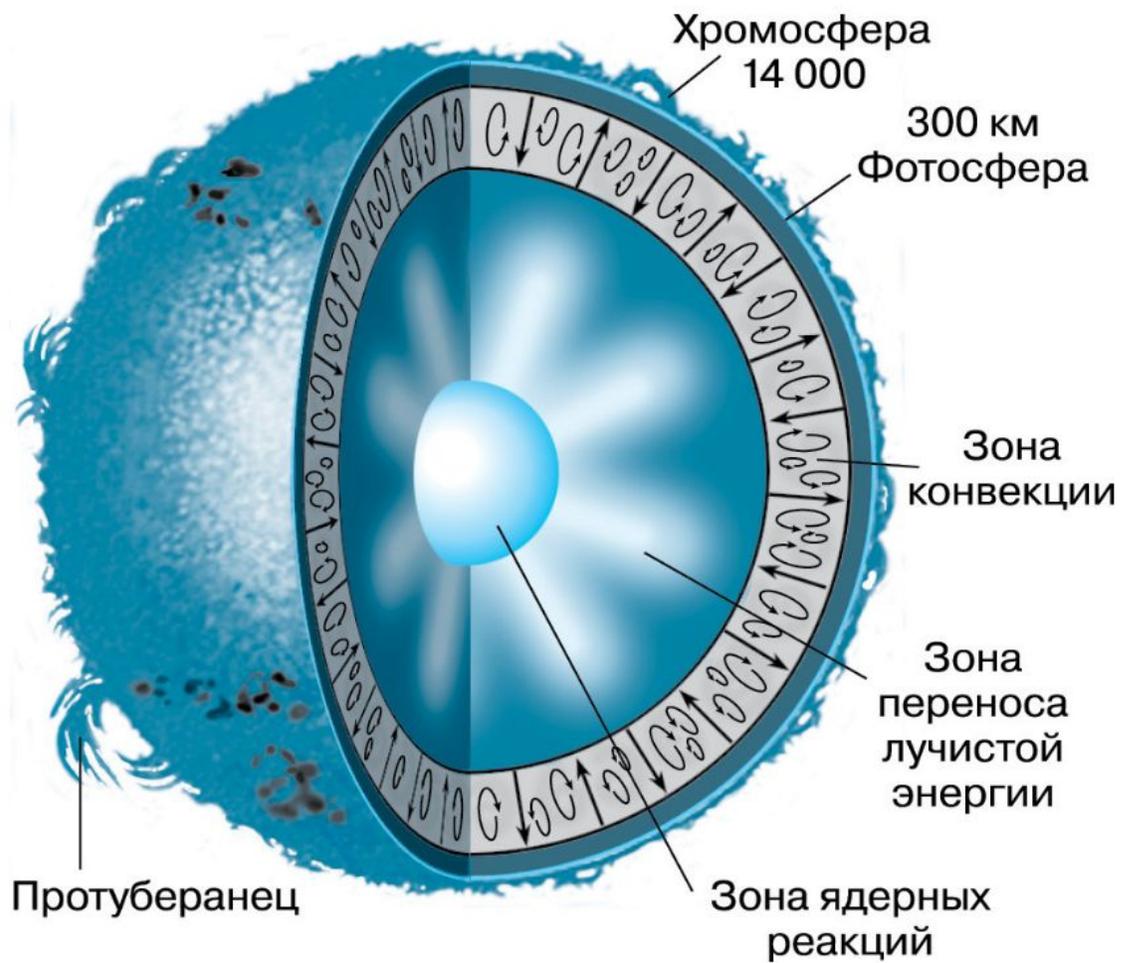
Рис. Схема протон-протонной реакции: p — протон; n — нейтрон; D — ядро дейтерия; He³, He⁴ — ядра изотопов гелия; e⁺ — позитрон; ν — нейтрино



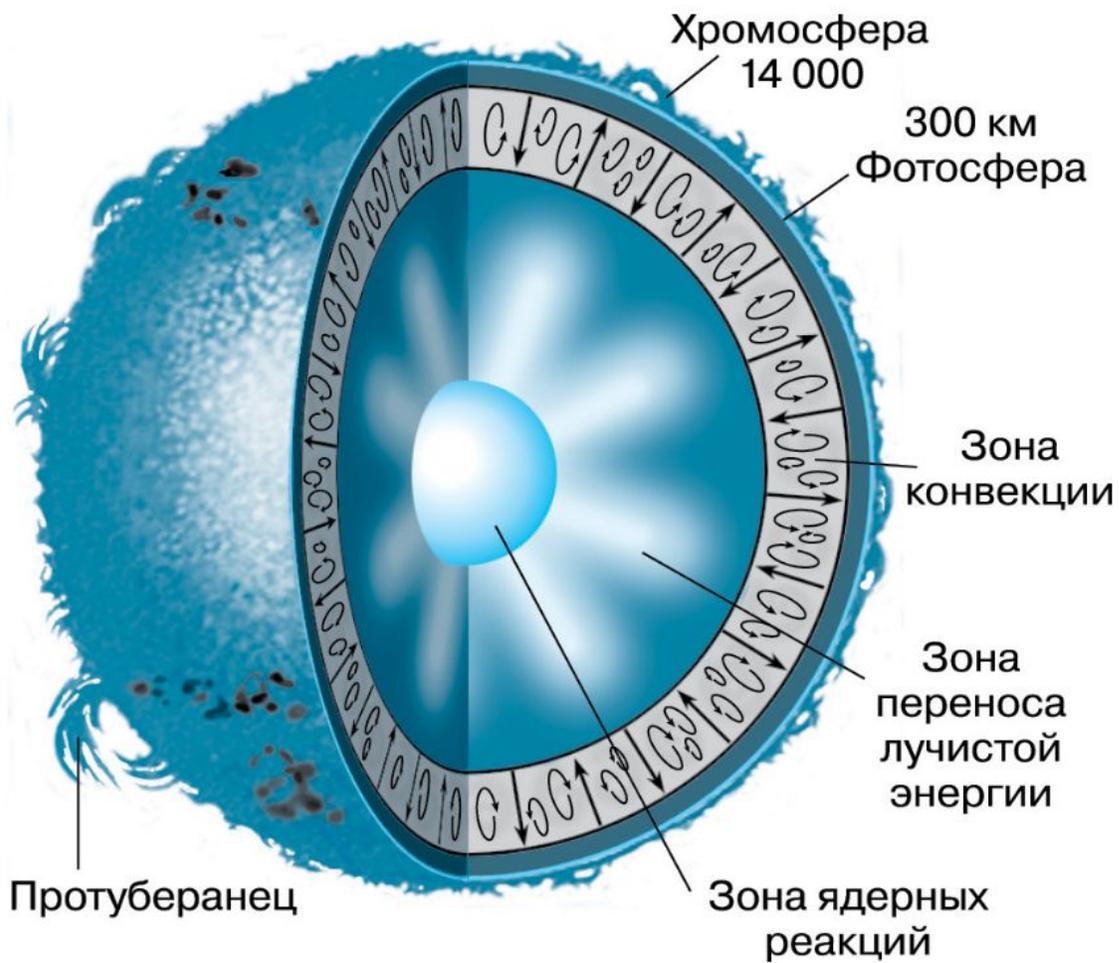
Из ядер водорода образуется второй из легчайших элементов — гелий. Для образования одного ядра гелия требуется 4 ядра водорода. На промежуточных стадиях образуются ядра тяжелого водорода (дейтерия) и ядра изотопа He³. Эта реакция называется **протон-протонной**. При реакции небольшое количество массы реагирующих ядер водорода теряется, преобразуясь в огромное количество энергии. Выделившаяся энергия поддерживает излучение Солнца. Через слои, окружающие центральную часть звезды, эта энергия передается наружу. В области от 0,3 до 0,7 радиуса от центра Солнца находится зона лучистого равновесия энергии, где энергия распространяется через поглощение и излучение γ-квантов.



Рождающиеся в центре Солнца гамма-кванты имеют энергию в миллионы раз большую, чем энергия квантов видимого света. Длина волны гамма-квантов очень мала. В процессе поглощения квантов атомами и дальнейшего их переизлучения происходит постепенное уменьшение их энергии и увеличение длины волны. Количество квантов во время этого процесса возрастает. Мощные гамма-кванты постепенно дробятся на обладающие меньшей энергией: возникают рентгеновские, ультрафиолетовые и, наконец, видимые и инфракрасные лучи.



В области последней трети радиуса Солнца находится **конвективная зона**. Здесь энергия передается не излучением, а посредством конвекции (перемешивания). Причина возникновения конвекции в наружных слоях Солнца та же, что и в кипящем сосуде с водой: количество энергии, поступающее от нагревателя, гораздо больше того, которое отводится теплопроводностью. Поэтому вещество приходит в движение и само начинает переносить тепло. Конвективная зона простирается практически до самой видимой поверхности Солнца (фотосферы).



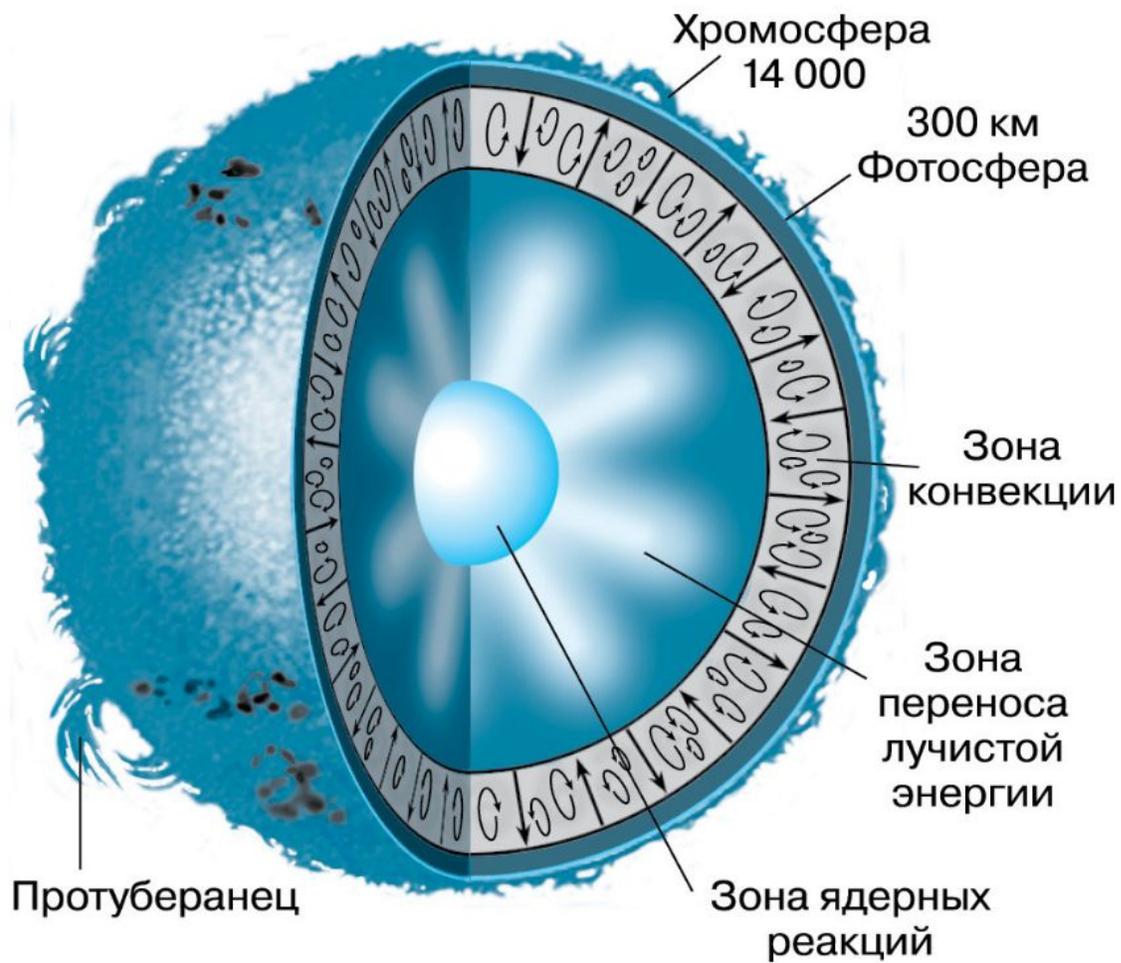
Выделение энергии и её перенос определяют внутреннее строение Солнца:

— **ядро** — центральная зона, где при высоком давлении и температуре происходят термоядерные реакции;

— **лучистая зона**, где энергия передаётся наружу от слоя к слою в результате последовательного поглощения и излучения квантов;

— **наружная конвективная зона**, где энергия от слоя к слою переносится самим веществом в результате перемешивания (конвекции).

Каждая из этих зон занимает примерно $1/3$ солнечного радиуса.



Сразу за конвективной зоной начинается **атмосфера**, которая простирается далеко за пределы видимого диска Солнца. Её нижний слой — **фотосфера** — воспринимается как поверхность Солнца. Верхние слои атмосферы непосредственно не видны и могут наблюдаться либо во время полных солнечных затмений, либо из космического пространства, либо при помощи специальных приборов с поверхности Земли.

Б. А. Воронцов-Вельяминов
Е. К. Страут

АСТРОНОМИЯ



БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

11

класс



ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

- §21 (1-2), Конспект