

Конспект урока "Состав и строение Солнца"

В течение уже довольно длительного времени мы с вами изучаем строение нашей Солнечной системы. Мы познакомились с её 8 большими планетами, карликовыми планетами и малыми телами.

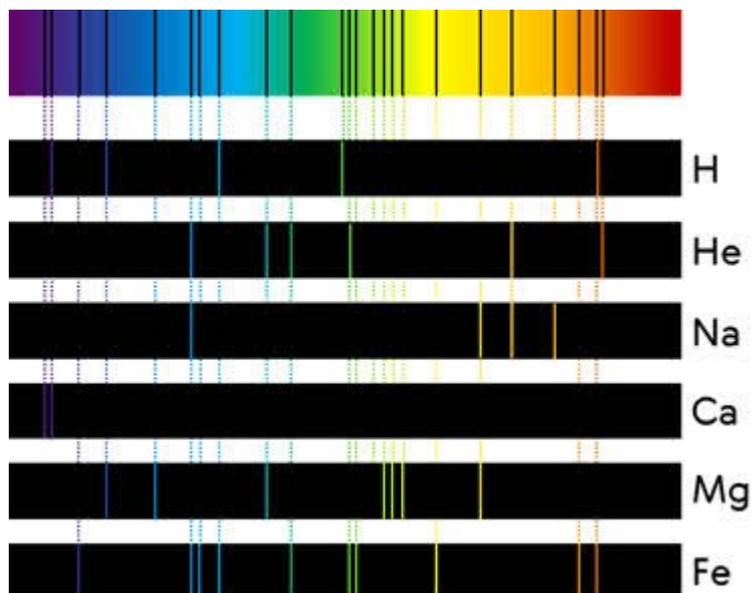
Теперь пришло время поговорить о центральном объекте Солнечной системы — о Солнце. Оно занимает исключительное положение в нашей с вами жизни. Солнце обеспечивает нас светом, теплом, а также является источником всех видов энергии, используемых человечеством.



Солнце — это всего лишь одна из около 200 млрд звёзд нашей Галактики. Детально изучая его физическую природу, мы, скорее всего, получаем важнейшие сведения о природе остальных звёзд и процессах, проходящих в них.

Человечество на протяжении всей своей истории восхищалось и поклонялось Солнцу. Это было самое могущественное божество у большинства древних народов мира, а культ непобедимого Солнца был одним из самых распространённых (Гелиос — греческий бог Солнца, Аполлон — бог Солнца у римлян, Митра — у персов, Ярило — у славян). В честь Солнца возводились огромные храмы, о нём слагались песни и ему приносились жертвы.

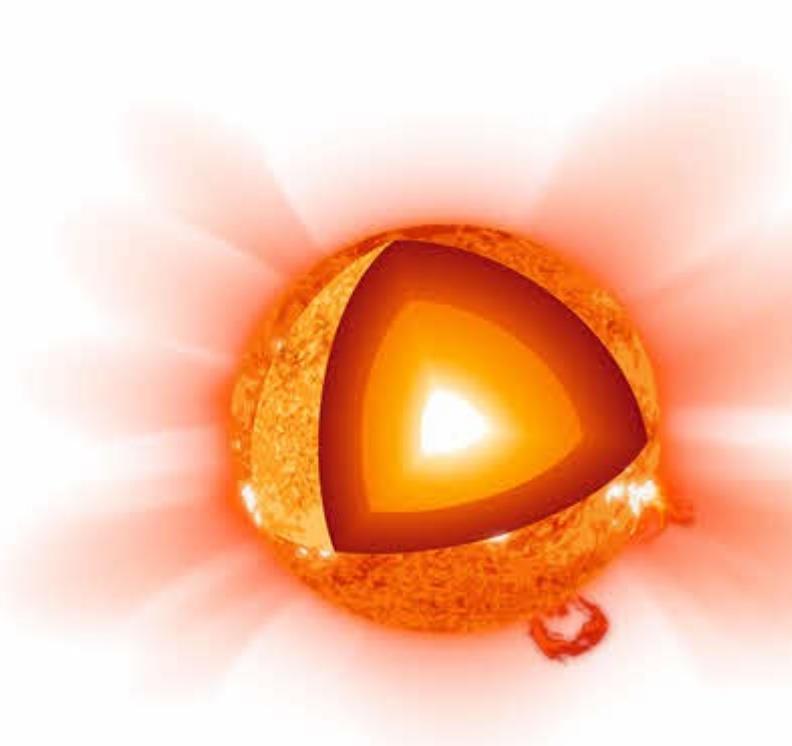
Сейчас же учёные с помощью башенных солнечных телескопов и телескопов, установленных на бортах спутников, активно изучают природу Солнца и выясняют его влияние на нашу планету. А важнейшую информацию о физических процессах, происходящих на Солнце, даёт изучение его спектра. Дело в том, что химические элементы, которые присутствуют в атмосфере Солнца, поглощают из непрерывного спектра, излучаемого фотосферой, свет определённой частоты. В результате в непрерывном спектре появляются тёмные линии — линии поглощения.



Впервые они были обнаружены в 1802 году английским физиком Уильямом Волластоном. Однако учёный не придал им особого значения, считая, что их появление зависит от внешних причин. Лишь в 1814 году немецкий физик Йозеф Фраунгофер, исследуя эти линии, убедился, что их причина не оптический обман, а природа солнечного света. Он также смог выделить и обозначить 576 тёмных линий, которые впоследствии были названы **фраунгоферовыми линиями** солнечного спектра. Сейчас же в солнечном спектре зарегистрировано более 30 тысяч фраунгоферовых линий, принадлежащих 72 химическим элементам.

Их анализ показал, что преобладающим элементом на Солнце является водород — на его долю приходится примерно 73,5 % солнечной массы. Ещё почти 25 % массы Солнца приходится на гелий. Однако сразу же оговоримся, что данных о соотношении элементов в глубинных слоях Солнца очень и очень немного.

Вещество Солнца представляет собой сильно ионизированную плазму, средняя плотность которой составляет порядка 1400 кг/м^3 . Однако по мере приближения к центру Солнца его плотность, как и температура с давлением, достигают максимальных значений.



Огромное давление внутри Солнца обусловлено действием вышележащих слоёв. Силы тяготения стремятся сжать Солнце. Этому препятствуют силы упругости горячего газа и давление излучения, идущие из недр и стремящиеся расширить Солнце. Тяготение с одной стороны, упругость газов и давление излучения с другой стороны, уравнивают друг друга. Причём равновесие имеет место во всех слоях от поверхности до центра Солнца. Такое состояние Солнца и звёзд 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 «спокойного» Солнца, а также других звёзд. Такие модели показывают зависимость физических свойств звёздного вещества (и, в частности, Солнца) от глубины.

Расстояние от центра R/R_{\odot}	Температура T , К	Давление p , Па	Плотность ρ , г/см 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

Данная модель Солнца даёт основания предполагать, что в центре нашей звезды находится **ядро**, радиус которого может достигать примерно 150—175 тыс. километров.

Над ядром, в области 0,2—0,7 радиуса Солнца, располагается **зона лучистого переноса**. В ней происходит перенос энергии от ядра к более высоким слоям посредством поглощения и излучения фотонов высоких энергий. При этом слои не меняются своими местами, а энергия, излучённая нижним слоем, поглощается верхним и затем переизлучается им. То есть

происходит очень медленное, иногда длящееся до миллиона лет «просачивание» излучения от центра Солнца к поверхности.

В последней трети радиуса Солнца находится **конвективная зона**. В ней передача энергии осуществляется посредством конвекции (то есть перемешиванием).

Конвективная зона простирается практически до самой видимой поверхности Солнца — **атмосферы** (о её строении мы с вами поговорим на ближайших уроках).

Солнце — это типичный представитель звёзд, представляющий собой раскалённый плазменный шар. Его масса примерно равна $2 \cdot 10^{30}$ килограммам, что в 333 000 раз больше массы Земли, и составляет почти 99,87 % суммарной массы всех тел Солнечной системы. Средний диаметр Солнца в 109 раз превышает диаметр нашей планеты. А его объём в 1 301 019 раз больше объёма Земли.

Такой гигантский плазменный шар излучает в космическое пространство колоссальный по мощности поток излучения. Однако Земля получает всего одну двухмиллиардную долю солнечного излучения. При этом измерения за пределами земной атмосферы показали, что на поверхность площадью 1 м^2 , расположенную перпендикулярно солнечным лучам, каждую секунду поступает энергия, практически не меняющаяся в течение длительного промежутка времени. Эта величина была названа **солнечной постоянной**:

$$E = 1367 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Второй не менее важной характеристикой Солнца является его **светимость** или полное количество энергии, излучаемое Солнцем по всем направлениям за единицу времени. Она определяется как произведение величины солнечной постоянной и площади сферы радиусом в одну астрономическую единицу:

$$L_{\odot} = E \cdot 4\pi R^2.$$

Подставив в уравнение значения входящих в него величин и проведя необходимые вычисления, получаем, что светимость нашей звезды составляет примерно $3,8 \cdot 10^{26}$ Вт.

Самостоятельно подумайте, почему для вычислений радиус сферы принимается равным 149,6 миллиона километров.

С Земли мы видим диск Солнца — ослепительный жёлтый (реже белый) круг со средним угловым диаметром около $32'$. Это видимый слой атмосферы Солнца — **фотосфера**. Она даёт основную часть излучения Солнца. При этом считается, что Солнце излучает энергию, как абсолютно чёрное тело. Тогда температура фотосферы Солнца может быть рассчитана по закону Стефана — Больцмана, согласно которому мощность излучения абсолютно чёрного тела прямо пропорциональна четвёртой степени температуры:

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

В записанной формуле σ — это постоянная Стефана — Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$).

Подставив это уравнение в формулу для определения светимости Солнца нетрудно выразить температуру фотосферы Солнца:

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

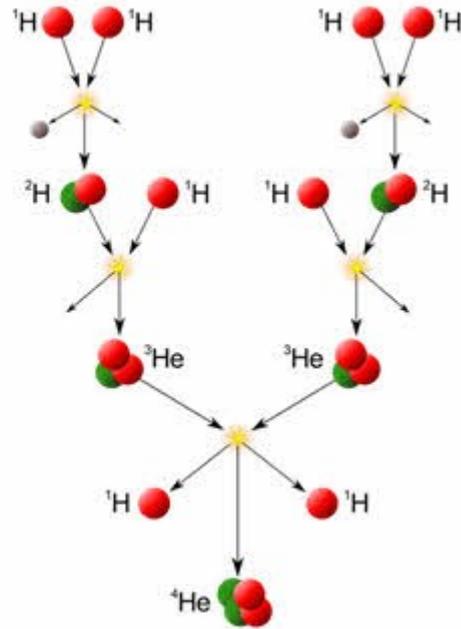
После подстановки чисел получим, что температура фотосферы примерно равна 5745 К. Очевидно, что такая высокая температура может поддерживаться лишь за счёт постоянного притока энергии из недр Солнца.



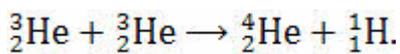
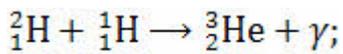
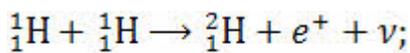
Вы уже знаете, что наша звезда излучает свет и тепло более 4,5 миллиардов лет. Конечно же, долгое время учёные не могли найти ответ на главный вопрос о том, что является «топливом», за счёт которого Солнце вырабатывает столь огромное количество энергии в течении такого длительного промежутка времени.

Например, Уильям Гершель считал, что Солнце — это холодное и твёрдое тело, которое окружено огромным огненным океаном. Правда, в этом случае такой океан должен был полностью выгореть через несколько тысяч лет после начала горения. А Герман Гельмгольц предполагал, что увеличение внутренней энергии и как следствие увеличение температуры Солнца происходит из-за его медленного гравитационного сжатия. Чтобы компенсировать потери энергии на излучение, достаточно было бы, чтобы диаметр Солнца ежегодно уменьшался на 75 метров. Но в этом случае срок «службы» Солнца увеличивался до нескольких миллионов лет, но никак не до миллиардов.

И лишь в 30-х годах XX в. американский астрофизик Ханс Альбрехт Бетэ высказал предположение о том, что энергию Солнце получает за счёт **термоядерных реакций**, происходящих в его недрах.



Им же был открыт водородный (или протон-протонный) цикл — цепочка из трёх термоядерных реакций, приводящая к образованию гелия из водорода:



Обратите внимание на то, что для образования двух ядер ${}^3_2\text{He}$, необходимых для третьей реакции, первые две должны произойти дважды.

Чтобы представить, какое огромное количество энергии выделяется Солнцем в результате превращения водорода в гелий, достаточно знать, что в среднем оно теряет примерно 4 миллиона тонн водорода в секунду! На первый взгляд, эта величина может показаться огромной. Однако она ничтожна, по сравнению с полной массой Солнца. А расчёты специалистов показывают, что «топлива» в его недрах достаточно для поддержания термоядерных реакций ещё в течение примерно 5 миллиардов лет. После этого в недрах Солнца начнутся необратимые реакции, которые приведут к его гибели.