

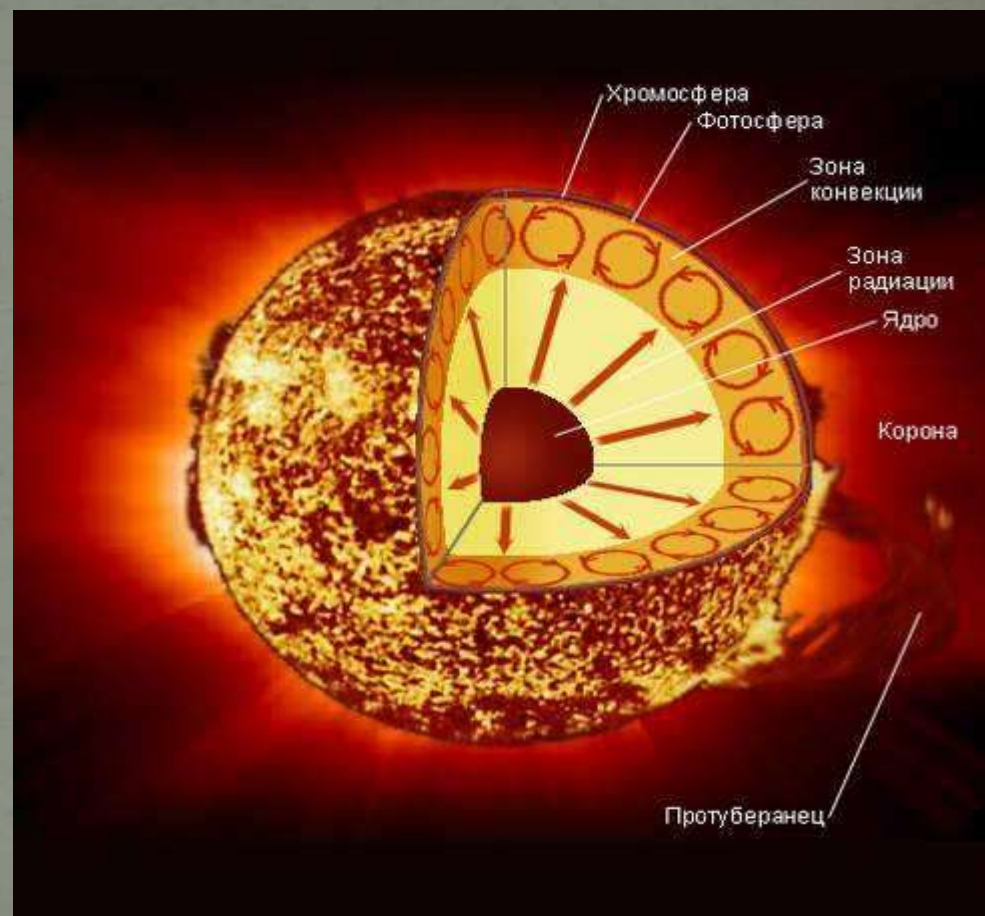
# Из чего состоит Солнце.

---

Автор: Пикунов Юрий Алексеевич  
Ученик 9 класса.

# Солнце.

- Солнце – это огромный мир расположенной в нашей Солнечной системе, в состав которого входит плазма (то есть ионизированный газ) очень высокой температуры вместе с водородом и гелием. Диаметр Солнца составляет 1.4 миллиона км. По своим размерам, возрасту, температуре и массе Солнце является средней звездой. Его относительная близость к Земле предаёт ему особое важное положение для Земли.





Солнце состоит из слоёв. В центре расположено ядро, именно в нём происходят ядерные реакции в результате которых образуется огромное количество энергии. Температура ядра равна примерно 14 миллионам градусов, плотность – 100г/см<sup>3</sup>. Это делает возможным превращение водорода в гелий.

Энергия генерируемая в ядре, через слои передаётся на поверхность Солнца, на это требуется очень много времени – около 10 млн. лет.

Это означает, что Солнечный свет доходящий до нашей планеты, является продуктом энергии насчитывающий миллионы лет. Следует учитывать, что этот свет частично поглощался и отражался по пути следования. Слой, или зона, в котором происходят эти феномены, называют “радиоактивным”, поскольку распространение энергии через вещество Солнца возможно лишь при ядерных реакциях.



# Конвективная зона.

- **Конвективная зона**

- 

- Радиус ядра равен примерно 140.000 км, радиоактивная зона составляет около двух третей внутреннего диаметра Солнца.

- 

- Далее, по мере удаления от центра, фотоны под влиянием столкновений теряют энергию. Тут вступает феномен конвекции. Этот процесс можно сравнить с тем, что происходит в кипящем чайнике: количество энергии, поступающей от нагревателя, гораздо больше того, которое отводится теплопроводностью. Вода, уже горячая, находящаяся ближе к огню, поднимается, а более прохладная спускается вниз. Происходит конвекция.

- 

- Суть конвекции заключается в том, что более плотный газ распределяется по поверхности, остужается на ней, затем вновь устремляется к центру. Таким образом, в конвективной зоне Солнца постоянно происходит процесс перемешивания. Рассматривая поверхность Солнца в телескоп, можно наблюдать характерную для неё зернистую структуру. Создаётся впечатление, что поверхность состоит из гранул. Подобная ячеистая структура – грануляции – связана с происходящей под фотосферой конвекцией.

# Фотосфера и хромосфера.

За конвективной зоной следует фотосфера. Это довольно тонкий слой (около 400 км). Именно фотосфера представляет собой “Настоящую солнечную поверхность” и она является видимой с Земли. Именно на фотосфере находятся так называемые гранулы, впервые сфотографированные французом Янссеном в 1885 г.

Средняя по размеру гранула существует около 15 мин, имеет размер 1000 км и движется со скоростью около 1км/сек. На фотосфере можно наблюдать солнечные пятна, представляющие собой тёмные образования. Важнейшая особенность пятен – наличие в них сильных магнитных полей. Как правило, пятна образуются в экваториальной части Солнца, через какое-то время они могут сдвинуться дальше. Тёмный цвет этих образований объясняется тем, что они имеют более низкую температуру по сравнению с окружающей их фотосферой.

За фотосферой следует хромосфера (дословно “цветная сфера”). Её толщина равна примерно 10.000 км. Это очень плотный слой солнечной атмосферы. Хромосферу очень сложно наблюдать, потому – что она очень близко прилегает к ослепляющей фотосфере. Лучше всего вести наблюдение во время полных солнечных затмений, когда [Луна](#) полностью закрывает фотосферу.

**В нижней части хромосферы видны и флоккулы – увеличение яркости. Ещё более зрелищными являются протуберанцы – своего рода огромные выбросы водорода. Они видны в виде длинных волокон.**

Протуберанцы часто имеют светящийся вид. Они могут подниматься и возвышаться на расстояние, сравнимое с диаметром Солнца. Это происходит со скоростью до 300 км/сек., температура при этом равна примерно 10 000 градусов.



# Солнечная корона

- Солнечная корона – это внешние очень разряжённые слои солнечной атмосферы. Она простирается от видимой поверхности в межпланетное пространство. В принципе, солнечную корону не видно, так как её свечение составляет 1/600 000 от свечения фотосферы.

- Корона представляет собой состав высочайшей температуры от 1 до 2 миллионов градусов К по отношению к поверхности Солнца и несколько сот миллионов по отношению к веществам за пределами светила. Вещество короны – это сильно разряжённая высокоионизированная плазма, в состав которой входят протоны и электроны с ядрами из гелия, а также тяжёлые ионы.

- Солнце излучает и “солнечный ветер” – более или менее непрерывное истечение плазмы, в состав которой входят электроны, протоны, ионизированные атомные ядра. Солнечный ветер излучается со скоростью в несколько сот км/сек, распространяется в солнечной системе, доходит и до Земли, где при взаимодействии с магнитным полем вызывает ряд явлений, среди которых можно назвать и полярные сияния.



Солнечная корона, запечатлённая во время полного солнечного затмения 11 августа 1999 года (близко к максимуму 23-го цикла).

# Немного о Солнечной короне.

- Верхняя граница короны Солнца до сих пор не установлена, на сегодняшний день ясно, что корона продолжается, по крайней мере, до внешних границ гелиосферы. Земля, так же, как и другие планеты, находятся внутри короны. Оптическое излучение короны прослеживается на 10—20 радиусов Солнца десятки миллионов километров и сливается с явлением зодиакального света.
- Температура короны — порядка миллиона кельвинов. Причем от хромосферы она повышается до двух миллионов на расстоянии порядка 70000 км от видимой поверхности Солнца, а затем начинает убывать, достигая у Земли ста тысяч кельвинов

# Излучения короны.

- Интегральный блеск короны составляет от  $0,8 \cdot 10^{-6}$  до  $1,3 \cdot 10^{-6}$  часть блеска Солнца. Поэтому она не видна вне затмений или без технологических ухищрений. Для наблюдения Солнечной короны вне затмений используют внезатменный коронограф.
- Излучение короны в основном приходится на далёкий ультрафиолетовый и рентгеновский диапазоны  $\lambda$ , непропускаемые земной атмосферой, поэтому очень большое значение имеет изучение солнечной короны с помощью космических аппаратов.



# Излучение в видимом диапазоне

- Видимый спектр солнечной короны состоит из трех различных составляющих, названных L, K и F компонентами (или, соответственно, L-корона, K-корона и F-корона; еще одно название L-компоненты — E-корона<sup>4</sup>). K-компонента — непрерывный спектр короны. На его фоне до высоты  $9' \div 10'$  от видимого края Солнца видна эмиссионная L-компонента. Начиная с высоты около  $3'$  (угловой диаметр Солнца — около  $30'$ ) и выше виден фраунгоферов спектр, такой же как и спектр фотосферы. Он составляет F-компоненту солнечной короны. На высоте  $20'$  F-компонента доминирует в спектре короны. Высота  $9' \div 10'$  принимается за границу, отделяющую внутреннюю корону от внешней.
- При длительных наблюдениях с внеатменным коронографом L-короны было установлено, что переменность изофот происходит примерно за четыре недели, что указывает на то, что корона в целом вращается так же, как и всё Солнце.
- K-составляющая короны появляется при томсоновском рассеянии солнечного излучения на свободных электронах. В непрерывном спектре были обнаружены чрезвычайно сильно размытые (до  $100\text{Å}$ ) линии H и K Ca II, что указывает на чрезвычайно большую тепловую скорость излучающих частиц (до  $7500\text{ км/с}$ ). Электроны приобретают такие скорости при температуре порядка  $1,5\text{ млн. К}$ . В пользу того, что K-спектр принадлежит электронам, свидетельствует тот факт, что излучение внутренней короны сильно поляризовано, что и предсказывается теорией для томсоновского рассеяния.
- Наблюдение эмиссионных линий L-короны также подтверждает предположение о высокой температуре в ней. Этот спектр долго оставался загадкой для астрономов, поскольку имеющиеся в нем сильные линии не воспроизводились в лабораторных опытах ни с одним из известных веществ. Долгое время этот эмиссионный спектр приписывался веществу коронию, а сами линии и по сей день называют корональными. Корональный спектр был полностью дешифрован шведским физиком Бенгтом Эдленом (Bengt Edlén), который показал, что эти линии принадлежат многократно ионизированным атомам металлов (Fe X, Fe XI, Fe XIII, Ca XV, Ni XIII, Ni XV, Ni XVI и др.). Причем, все эти линии являются запрещёнными и для их излучения необходимы экстремально низкие плотности вещества, недостижимые в земных лабораториях. Для излучения большинства линий необходима температура около  $2,5\text{ млн. град}$ . Особого внимания требует линия  $5694,42\text{ Å}$  Ca XV требующая температуры  $6,3\text{ млн. градусов}$ . Линия эта сильно переменная и вероятно проявляется только в местах короны, связанных с активными областями.
- F-спектр короны формируется благодаря рассеянию солнечного излучения на частичках межпланетной пыли. В непосредственной близости к Солнцу пыль существовать не может, поэтому F-корона начинает проявлять себя на некотором удалении от солнца.

# Проблема нагрева солнечной короны.

- Проблема нагрева солнечной короны остаётся нерешенной. Существует много предположений относительно необычно высокой температуры в короне по сравнению с хромосферой и фотосферой. Известно, что энергия приходит из нижележащих слоёв, включающих, в частности, фотосферу и хромосферу<sup>[1]</sup>. Вот только некоторые из элементов, возможно, участвующих в нагреве короны: магнитозвуковые и альфвеновские волны, магнитное пересоединение, микровспышки (англ. *Nanoflares*) в короне<sup>[1]</sup>.
- Возможно, механизм нагрева короны тот же, что и для хромосферы. Поднимающиеся из глубины Солнца конвективные ячейки, проявляющиеся в фотосфере в виде грануляции, приводят к локальному нарушению равновесия в газе, которое приводит к распространению акустических волн, движущихся в различных направлениях. При этом хаотическое изменение плотности, температуры и скорости вещества, в котором распространяются эти волны, приводит к тому, что меняется скорость, частота и амплитуда акустических волн, причем изменения могут быть столь высокими, что движение газа становится сверхзвуковым. Возникают ударные волны, диссипация которых и приводит к нагреву газа.
- Летом 2011 года была опубликована научная работа в которой сообщалось об обнаружении альфвеновских волн нужной амплитуды для разогрева короны до наблюдаемых температур.<sup>[3]</sup>  
Один из возможных механизмов нагрева солнечной короны — излучение Солнцем аксионов или аксионоподобных частиц, которые превращаются в фотоны в областях с сильным магнитным полем<sup>[4]</sup>.

# Зона радиации(зона лучистого переноса).

- Зона лучистого переноса — средняя зона Солнца. Располагается непосредственно над солнечным ядром. Выше зоны лучистого переноса находится конвективная зона. Нижней границей зоны считают линию, ниже которой происходят ядерные реакции, верхней — границу, выше которой начинается активное перемешивание вещества.<sup>[1]</sup>



# Солнечное ядро.

- Солнечное ядро — самый глубокий из всех слоев Солнца, с температурой около 15 миллионов градусов по Кельвину. Плотность ядра составляет около  $160 \text{ г/см}^3$ , что в десять раз больше, чем блок свинца, который считается одним из самых плотных объектов на Земле. Не удивительно, что 40% массы Солнца содержится в ядре, которое занимает только 10% его объема.
- При таких высоких температурах и высоких плотностях, ядра водорода не отскакивают, когда бьют друг друга, но сливаются с образованием гелия. Это процесс ядерного синтеза, который отвечает за феноменальную энергию Солнца. Доли расплавленной массы преобразуется в энергию. Смесь этих реакций выпускает гамма-лучи и нейтрино с высокой энергией, которые начинают свое путешествие из внутреннего ядра к фотосфере. На своем пути, гамма-фотоны преобразуется в несколько фотонов с низкой энергией за счет столкновений с атомами газа. Нейтрино не останавливаются и проходят через солнечную оболочку, не вступая в реакции с другими элементами.

# Температура в солнечной атмосфере.

