**Солнечная атмосфера.**

**Атмосфера**

Земная атмосфера — это воздух, которым мы дышим, привычная нам газовая оболочка Земли. Такие оболочки есть и у других планет. Звёзды целиком состоят из газа, но их внешние слои также именуют атмосферой. При этом внешними считаются те слои, откуда хотя бы часть излучения может беспрепятственно, не поглощаясь вышележащими слоями, уйти в окружающее пространство.

**Фотосфера**

Фотосфера Солнца начинается на 200—300 км глубже видимого края солнечного диска. Эти самые глубокие слои атмосферы называют фотосферой. Поскольку их толщина составляет не более одной трёхтысячной доли солнечного радиуса, фотосферу иногда условно называют поверхностью Солнца.

Плотность газов в фотосфере примерно такая же, как в земной стратосфере, и в сотни раз меньше, чем у поверхности Земли. Температура фотосферы уменьшается от 8000 К на глубине 300 км до 4000 К в самых верхних слоях. Температура же того среднего слоя, излучение которого мы воспринимаем, около 6000 К.

При таких условиях почти все молекулы газа распадаются на отдельные атомы. Лишь в самых верхних слоях фотосферы сохраняется относительно немного простейших молекул и радикалов типа Н2, ОН, СН.

Особую роль в солнечной атмосфере играет не встречающийся в I земной природе отрицательный ион водорода, который представляет собой протон с двумя электронами. Это необычное соединение возникает в тонком внешнем, наиболее “холодном” слое фотосферы при “налипании” на нейтральные атомы водорода отрицательно заряженных свободных электронов, которые доставляются легко ионизуемыми атомами кальция, натрия, магния, железа и других металлов. При возникновении отрицательные ионы водорода излучают большую часть видимого света. Этот же свет ионы жадно поглощают, из-за чего непрозрачность атмосферы с глубиной быстро растёт. Поэтому видимый край Солнца и кажется нам очень резким.

Почти все наши знания о Солнце основаны на изучении его спектра — Узенькой разноцветной полоски, имеющей ту же природу, что и радуга. Впервые, поставив призму на пути солнечного луча, такую полоску получил Ньютон и воскликнул:

“Спектрум!” (лат. spectrum — “видение”). Позже в спектре Солнца заметили тёмные линии и сочли их границами цветов. В 1815 г. немецкий физик Йозеф Фраунгофер дал первое подробное описание таких линий в солнечном спектре, и их стали называть его именем. Оказалось, что фраунгоферовы линии соответствуют эким участкам спектра, которые сильно поглощаются атомами различных веществ (см. статью “Анализ Видимого света”). В телескоп с большим увеличением можно наблюдать тонкие детали фотосферы: вся она кажется усыпанной мелкими яркими зёрнышками — гранулами, разделёнными сетью узких тёмных дорожек. Грануляция является результатом перемешивания всплывающих более тёплых потоков газа и опускающихся более холодных. Разность температур между ними в наружных слоях сравнительно невелика (200-300 К), но глубже, в конвективной зоне, она больше, и перемешивание происходит значительно интенсивнее. Конвекция во внешних слоях Солнца играет огромную роль, определяя общую структуру атмосферы.

В конечном счёте именно конвекция в результате сложного взаимодействия с солнечными магнитными полями является причиной всех многообразных проявлений солнечной активности. Магнитные поля участвуют во всех процессах на Солнце. Временами в небольшой области солнечной атмосферы возникают концентрированные магнитные поля, в несколько раз более сильные, чем на Земле. Ионизованная плазма — хороший проводник, она не может перемешиваться поперёк линий магнитной индукции сильного магнитного поля. Поэтому в таких местах перемешивание и подъём горячих газов снизу тормозится, и возникает тёмная область — солнечное пятно. На фоне ослепительной фотосферы оно кажется совсем чёрным, хотя в действительности яркость его слабее только раз в десять.

С течением времени величина и форма пятен сильно меняются. Возникнув в виде едва заметной точки — поры, пятно постепенно увеличивает свои размеры до нескольких десятков тысяч километров. Крупные пятна как правило, состоят из тёмной части (ядра) и менее тёмной — полутени, структура которой придаёт пятну вид вихря. Пятна бывают окружены более яркими участками фотосферы, называемыми факелами или факельными полями.

Фотосфера постепенно переходит в более разреженные внешние слои солнечной атмосферы — хромосферу и корону.

**Хромосфера**

Хромосфера (греч. “сфера цвета”) названа так за свою красновато-фиолетовую окраску. Она видна во время полных солнечных затмений как клочковатое яркое кольцо вокруг чёрного диска Луны, только что затмившего Солнце. Хромосфера весьма неоднородна и состоит в основном из продолговатых вытянутых язычков (спикул), придающих ей вид горящей травы. Температура этих хромосферных струй в два-три раза выше, чем в фотосфере, а плотность в сотни тысяч раз меньше. Общая протяжённость хромосферы 10— 15 тыс. километров.

Рост температуры в хромосфере объясняется распространением волн и магнитных полей, проникающих в неё из конвективной зоны. Вещество нагревается примерно так же, как если бы это происходило в гигантской микроволновой печи. Скорости тепловых движений частиц возрастают, учащаются столкновения между ними, и атомы теряют свои внешние электроны: вещество становится горячей ионизованной плазмой. Эти же физические процессы поддерживают и необычайно высокую температуру самых внешних слоев солнечной атмосферы, которые расположены выше хромосферы.

Часто во время затмений (а при помощи специальных спектральных приборов — и не дожидаясь затмений) над поверхностью Солнца можно наблюдать причудливой формы “фонтаны”, “облака”, “воронки”, “кусты”, “арки” и прочие ярко светящиеся образования из хромосферного вещества. Они бывают неподвижными или медленно изменяющимися, окружёнными плавными изогнутыми струями, которые стекают в хромосферу или вытекают из неё, поднимаясь на десятки и сотни тысяч километров. Это самые грандиозные образования солнечной атмосферы — протуберанцы. При наблюдении в красной спектральной линии, излучаемой атомами водорода, они кажутся на фоне солнечного диска тёмными, длинными и изогнутыми волокнами.

Протуберанцы имеют примерно ту же плотность и температуру, что и Хромосфера. Но они находятся над ней и окружены более высокими, сильно разреженными верхними слоями солнечной атмосферы. Протуберанцы не падают в хромосферу потому, что их вещество поддерживается магнитными полями активных областей Солнца.

Впервые спектр протуберанца вне затмения наблюдали французский астроном Пьер Жансен и его английский коллега Джозеф Локьер в 1868 г. Щель спектроскопа располагают так, чтобы она пересекала край Солнца, и если вблизи него находится протуберанец, то можно заметить спектр его излучения. Направляя щель на различные участки протуберанца или хромосферы, можно изучить их по частям. Спектр протуберанцев, как и хромосферы, состоит из ярких линий, главным образом водорода, гелия и кальция. Линии излучения других химических элементов тоже присутствуют, но они намного слабее.

Некоторые протуберанцы, пробыв долгое время без заметных изменений, внезапно как бы взрываются, и вещество их со скоростью в сотни километров в секунду выбрасывается в межпланетное пространство. Вид хромосферы также часто меняется, что указывает на непрерывное движение составляющих её газов.

Иногда нечто похожее на взрывы происходит в очень небольших по размеру областях атмосферы Солнца. Это так называемые хромосферные вспышки. Они длятся обычно несколько десятков минут. Во время вспышек в спектральных линиях водорода, гелия, ионизованного кальция и некоторых других элементов свечение отдельного участка хромосферы внезапно увеличивается в десятки раз. Особенно сильно возрастает ультрафиолетовое и рентгеновское излучение: порой его мощность в несколько раз превышает общую мощность излучения Солнца в этой коротковолновой области спектра до вспышки.

Пятна, факелы, протуберанцы, хромосферные вспышки — всё это проявления солнечной активности. С повышением активности число этих образований на Солнце становится больше.

**Корона**

В отличие от фотосферы и хромосферы самая внешняя часть атмосферы Солнца — корона — обладает огромной протяжённостью: она простирается на миллионы километров, что соответствует нескольким солнечным радиусам, а её слабое продолжение уходит ещё дальше.

Плотность вещества в солнечной короне убывает с высотой значительно медленнее, чем плотность воздуха в земной атмосфере. Уменьшение плотности воздуха при подъёме вверх определяется притяжением Земли. На поверхности Солнца сила тяжести значительно больше, и, казалось бы его атмосфера не должна быть высокой. В действительности она необычайно обширна. Следовательно, имеются какие-то силы, действующие против притяжения Солнца. Эти силы связаны с огромными скоростями движения атомов и электронов в короне, разогретой до температуры 1 — 2 млн градусов!

Корону лучше всего наблюдать во время полной фазы солнечного затмения. Правда, за те несколько минут, что она длится, очень трудно зарисовать не только отдельные детали, но даже общий вид короны. Глаз наблюдателя едва лишь начинает привыкать к внезапно наступившим сумеркам, а появившийся из-за края Луны яркий луч Солнца уже возвещает о конце затмения. Поэтому часто зарисовки короны, выполненные опытными наблюдателями во время одного и того же затмения, сильно различались. Не удавалось даже точно определить её цвет.

Изобретение фотографии дало астрономам объективный и документальный метод исследования. Однако получить хороший снимок короны тоже нелегко. Дело в том, что ближайшая к Солнцу её часть, так называемая внутренняя корона, сравнительно яркая, в то время как далеко простирающаяся внешняя корона представляется очень бледным сиянием. Поэтому если на фотографиях хорошо видна внешняя корона, то внутренняя оказывается передержанной, а на снимках, где просматриваются детали внутренней короны, внешняя совершенно незаметна. Чтобы преодолеть эту трудность, во время затмения обычно стараются получить сразу несколько снимков короны — с большими и маленькими выдержками. Или же корону фотографируют, помещая перед фотопластиной специальный “радиальный” фильтр, ослабляющий кольцевые зоны ярких внутренних частей короны. На такихснимках её структуру можно проследить до расстояний во много солнечных радиусов.

Уже первые удачные фотографии позволили обнаружить в короне большое количество деталей: корональные лучи, всевозможные “дуги”, “шлемы” и другие сложные образования, чётко связанные с активными областями.

Главной особенностью короны является лучистая структура. Корональные лучи имеют самую разнообразную форму: иногда они короткие, иногда длинные, бывают лучи прямые, а иногда они сильно изогнуты.

Ещё в 1897 г. пулковский астроном Алексей Павлович Ганский обнаружил, что общий вид солнечной короны периодически меняется. Оказалось, что это связано с 11 -летним циклом солнечной активности.

С 11 -летним периодом меняется как общая яркость, так и форма солнечной короны. В эпоху максимума солнечных пятен она имеет сравнительно округлую форму. Прямые и направленные вдоль радиуса Солнца лучи короны наблюдаются как у солнечного экватора, так и в полярных областях. Когда же пятен мало, корональные лучи образуются лишь в экваториальных и средних широтах. Форма короны становится вытянутой. У полюсов появляются характерные короткие лучи, так называемые полярные щёточки. При этом общая яркость короны уменьшается. Эта интересная особенность короны, по-видимому, связана с постепенным перемещением в течение 11-летнего цикла зоны преимущественного образования пятен. После минимума пятна начинают возникать по обе стороны от экватора на широтах 30—40°. Затем зона пятнообразования постепенно опускается к экватору.

Тщательные исследования позволили установить, что между структурой короны и отдельными образованиями в атмосфере Солнца существует определённая связь. Например, над пятнами и факелами обычно наблюдаются яркие и прямые корональные лучи. В их сторону изгибаются соседние лучи. В основании корональных лучей яркость хромосферы увеличивается. Такую её область называют обычно возбуждённой. Она горячее и плотнее соседних, невозбуждённых областей. Над пятнами в короне наблюдаются яркие сложные образования. Протуберанцы также часто бывают окружены оболочками из корональной материи.

Корона оказалась уникальной естественной лабораторией, в которой можно наблюдать вещество в самых необычных и недостижимых на Земле условиях.

На рубеже XIX—XX столетий, когда физика плазмы фактически ещё не существовала, наблюдаемые особенности короны представлялись необъяснимой загадкой. Так, по цвету корона удивительно похожа на Солнце, как будто его свет отражается зеркалом. При этом, однако, во внутренней короне совсем исчезают характерные для солнечного спектра фраунгоферовы линии. Они вновь появляются далеко от края Солнца, во внешней короне, но уже очень слабые. Кроме того, свет короны поляризован: плоскости, в которых колеблются световые волны, располагаются в основном касательно к солнечному диску.

С удалением от Солнца доля поляризованных лучей сначала увеличивается (почти до 50%), а затем уменьшается. Наконец, в спектре короны появляются яркие эмиссионные линии, которые почти до середины XX в. не удавалось отождествить ни с одним из известных химических элементов.

Оказалось, что главная причина всех этих особенностей короны — высокая температура сильно разреженного газа. При температуре свыше1 млн градусов средние скорости атомов водорода превышают 100 км/с, а у свободных электронов они ещё раз в 40 больше. При таких скоростях, несмотря на сильную разреженность вещества (всего 100 млн частиц в 1 см3, что в 100 млрд раз разреженнее воздуха на Земле!), сравнительно часты столкновения атомов, особенно с электронами. Силы электронных ударов так велики, что атомы лёгких элементов практически полностью лишаются всех своих электронов и от них остаются лишь “голые” атомные ядра. Более тяжёлые элементы сохраняют самые глубокие электронные оболочки, переходя в состояние высокой степени ионизации.

Итак, корональный газ — это высокоионизованная плазма; она состоит из множества положительно заряженных ионов всевозможных химических элементов и чуть большего количества свободных электронов, возникших при ионизации атомов водорода (по одному электрону), гелия (по два электрона) и более тяжёлых атомов. Поскольку в таком газе основную роль играют подвижные электроны, его часто называют электронным газом, хотя при этом подразумевается наличие такого количества положительных ионов, которое полностью обеспечивало бы нейтральность плазмы в целом.

Белый цвет короны объясняется рассеянием обычного солнечного света на свободных электронах. Они не вкладывают своей энергии при рассеянии: колеблясь в такт световой волны, они лишь изменяют направление рассеиваемого света, при этом поляризуя его. Таинственные яркие линии в спектре порождены необычным излучением высокоионизованных атомов железа, аргона, никеля кальция и других элементов, возникающим только в условиях сильного разрежения. Наконец, линии поглощения во внешней короне вызваны рассеянием на пылевых частицах которые постоянно присутствуют межзвёздной среде. А отсутствие линий во внутренней короне связан с тем, что при рассеянии на очень быстро движущихся электронах все световые кванты испытывают стол значительные изменения частот, чи даже сильные фраунгоферовы лини солнечного спектра полностью “замываются”.

Итак, корона Солнца — сама внешняя часть его атмосферы, самая разреженная и самая горячая. Добавим, что она и самая близкая к нам оказывается, она простирается далеко от Солнца в виде постоянно движущегося от него потока плазмы - солнечного ветра. Вблизи Земли его скорость составляет в среднем 400— 500 км/с, а порой достигает почти 1000 км/с. Распространяясь далеко за пределы орбит Юпитера и Сатурна,, солнечный ветер образует гигантскую гелиосферу, граничащую с ещё более разреженной межзвёздной средой.

Фактически мы живём окружённые солнечной короной, хотя и защищённые от её проникающей радиации надёжным барьером в виде земного магнитного поля. Через корону солнечная активность влияет 1 многие процессы, происходящие 1 Земле (геофизические явления).