

# Солнце

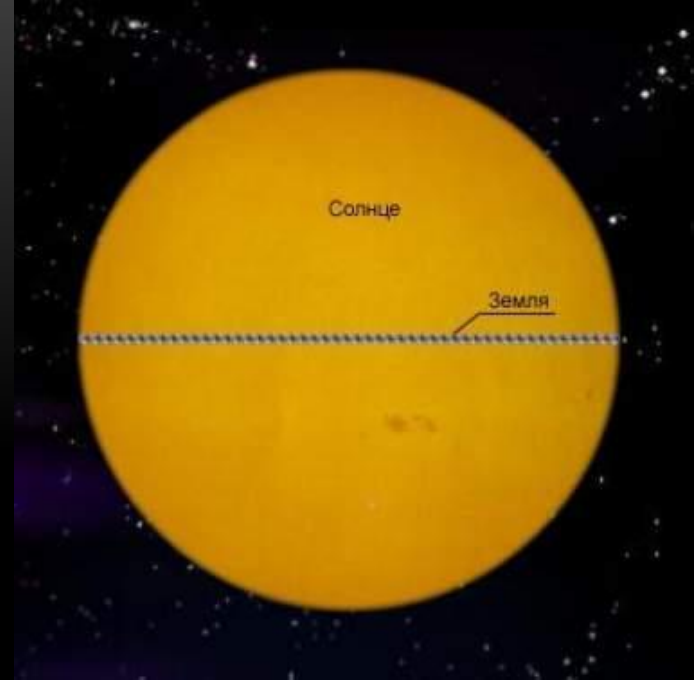


**СОЛНЦЕ** – ЭТО НЕ ЗАУРЯДНЫЙ ЖЕЛТЫЙ КАРЛИК, КАК РАНЬШЕ БЫЛО ПРИНЯТО ГОВОРИТЬ. ЭТО ЗВЕЗДА, ОКОЛО КОТОРОЙ ЕСТЬ ПЛАНЕТЫ, СОДЕРЖАЩИЕ МНОГО ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. ЭТО ЗВЕЗДА, КОТОРАЯ ОБРАЗОВАЛАСЬ ПОСЛЕ ВЗРЫВОВ СВЕРХНОВЫХ, ОНА БОГАТА ЖЕЛЕЗОМ И ДРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ. ОКОЛО КОТОРОЙ СМОГЛА СФОРМИРОВАТЬСЯ ТАКАЯ ПЛАНЕТНАЯ СИСТЕМА, НА ТРЕТЬЕЙ ПЛАНЕТЕ КОТОРОЙ – ЗЕМЛЕ – ВОЗНИКЛА ЖИЗНЬ.

ПЯТЬ МИЛЛИАРДОВ ЛЕТ – ВОЗРАСТ НАШЕГО СОЛНЦА. ЗА СЧЕТ ЧЕГО ОНО СВЕТИТ? КАКОВА СТРУКТУРА И ДАЛЬНЕЙШАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СОЛНЦА? КАКОЕ ВЛИЯНИЕ ОКАЗЫВАЕТ СОЛНЦЕ НА ЗЕМЛЮ?

СОЛНЦЕ – ЗВЕЗДА, ВОКРУГ КОТОРОЙ ОБРАЩАЕТСЯ НАША ПЛАНЕТА. СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ ОТ ЗЕМЛИ ДО СОЛНЦА, Т.Е. БОЛЬШАЯ ПОЛУОСЬ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ, СОСТАВЛЯЕТ 149,6 МЛН. КМ = 1 А.Е. (АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА).

СОЛНЦЕ ЯВЛЯЕТСЯ ЦЕНТРОМ НАШЕЙ ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМЫ, В КОТОРУЮ КРОМЕ НЕГО ВХОДЯТ 9 БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ, НЕСКОЛЬКО ДЕСЯТКОВ СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ, НЕСКОЛЬКО ТЫСЯЧ АСТЕРОИДОВ (МАЛЫХ ПЛАНЕТ), КОМЕТЫ, МЕТЕОРНЫЕ ТЕЛА, МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ПЫЛЬ И ГАЗ.





Размеры Солнца очень велики. Так, радиус Солнца в 109 раз, а масса – в 330 000 раз больше радиуса и массы Земли. А вот средняя плотность нашего светила невелика – всего в 1,4 раза больше плотности воды.

Впервые вращение Солнца наблюдал Галилей по движению пятен по поверхности. Различные зоны Солнца вращаются вокруг оси с различными периодами. Так точки на экваторе имеют период около 25 суток, на широте  $40^\circ$  период вращения равен 27 суток, а вблизи полюсов – 30 суток. Это доказывает, что Солнце вращается не как твердое тело, скорость вращения точек на поверхности Солнца уменьшается от экватора к полюсам.

Полное количество энергии, излучаемой Солнцем, составляет  $L = 3,86 \cdot 10^{33}$  эрг/с =  $3,86 \cdot 10^{26}$  Вт. Это соответствует 6,5 кВт с каждого квадратного сантиметра его поверхности! Лишь одну двухмиллиардную часть этой энергии получает Земля.



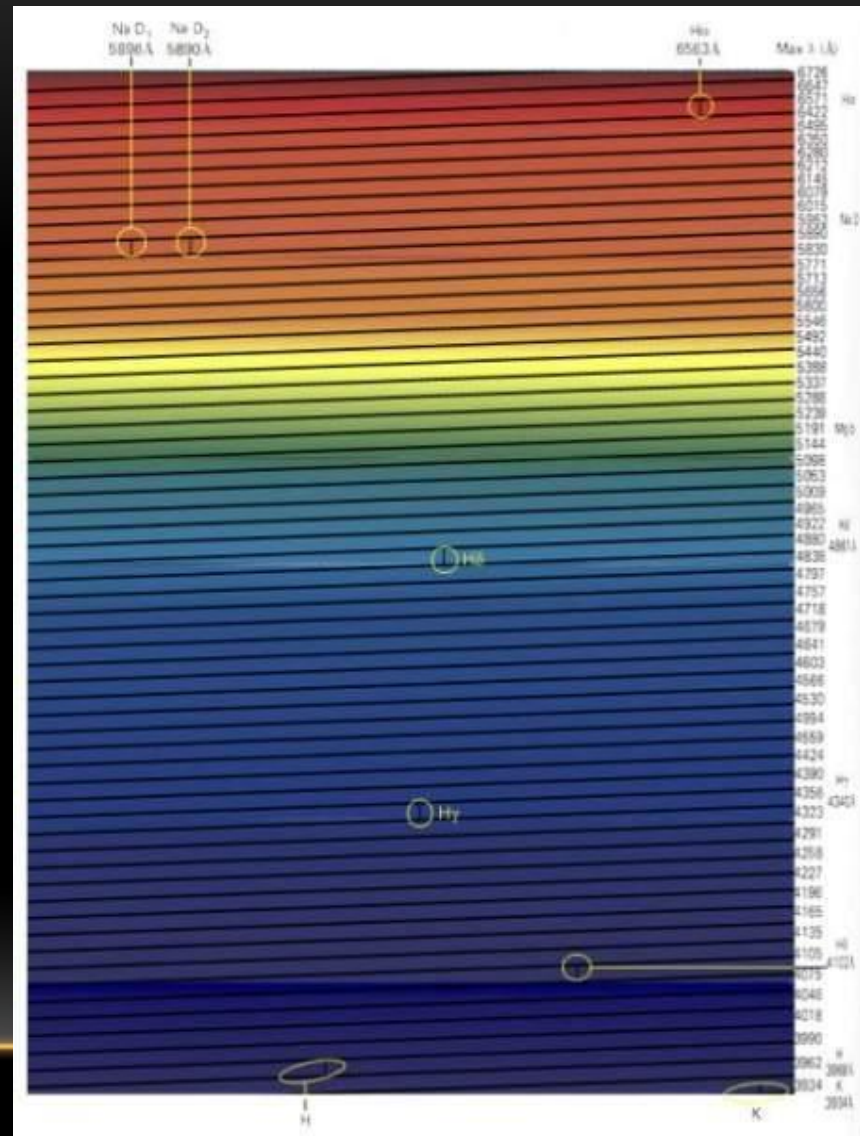
## СОЛНЕЧНЫЙ СПЕКТР

НА 1 КВАДРАТНЫЙ МЕТР ОБРАЩЕННОЙ К СОЛНЦУ ПОВЕРХНОСТИ ПЛОЩАДКИ В ОКРЕСТНОСТЯХ ЗЕМЛИ ЕЖЕСЕКУНДНО ПОСТУПАЕТ 1400 ДЖ ЭНЕРГИИ, ПЕРЕНОСИМОЙ СОЛНЕЧНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ. ЭТА ВЕЛИЧИНА НАЗЫВАЕТСЯ **СОЛНЕЧНОЙ ПОСТОЯННОЙ**. ИНЫМИ СЛОВАМИ, ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОСТАВЛЯЕТ 1,4 КВТ/М<sup>2</sup>.

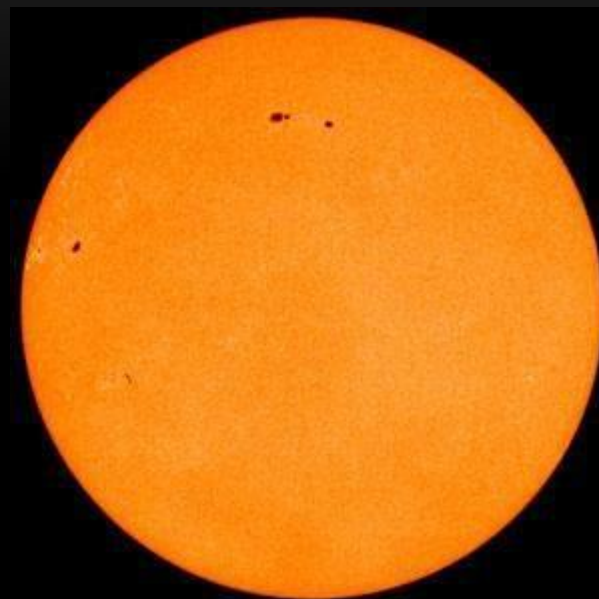
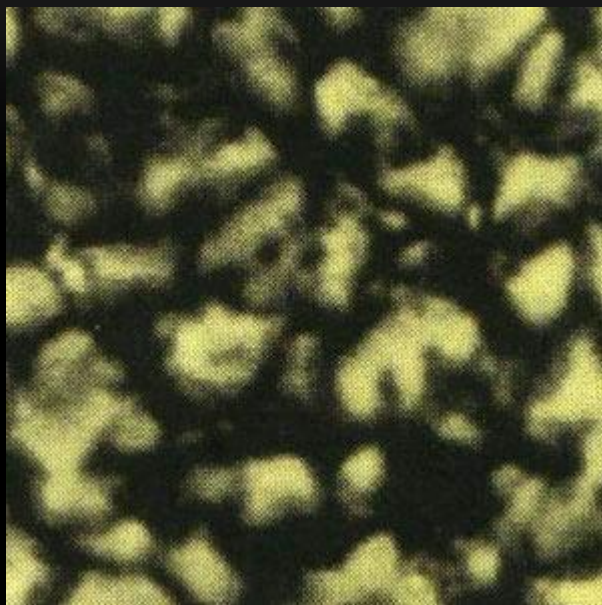
СПЕКТР СОЛНЦА НЕПРЕРЫВНЫЙ, В НЕМ НАБЛЮДАЕТСЯ МНОЖЕСТВО ТЕМНЫХ **ФРАУНГЕФЕРОВЫХ ЛИНИЙ**.

ФРАУНГЕФЕР БЫЛ ПЕРВЫМ, КТО ОПИСАЛ ТЕМНЫЕ ЛИНИИ НА ФОНЕ НЕПРЕРЫВНОГО СПЕКТРА В 1814 ГОДУ. ЭТИ ЛИНИИ В СПЕКТРЕ СОЛНЦА ОБРАЗУЮТСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОГЛОЩЕНИЯ КВАНТОВ СВЕТА В БОЛЕЕ ХОЛОДНЫХ СЛОЯХ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ.

ОКОЛО 9 % ЭНЕРГИИ В СОЛНЕЧНОМ СПЕКТРЕ ПРИХОДИТСЯ НА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ С ДЛИНАМИ ВОЛН ОТ 100 ДО 400 НМ. ОСТАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ РАЗДЕЛЕНА ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО ПОРОВНУ МЕЖДУ ВИДИМОЙ (400–760 НМ) И ИНФРАКРАСНОЙ (760–5000 НМ) ОБЛАСТЯМИ СПЕКТРА.

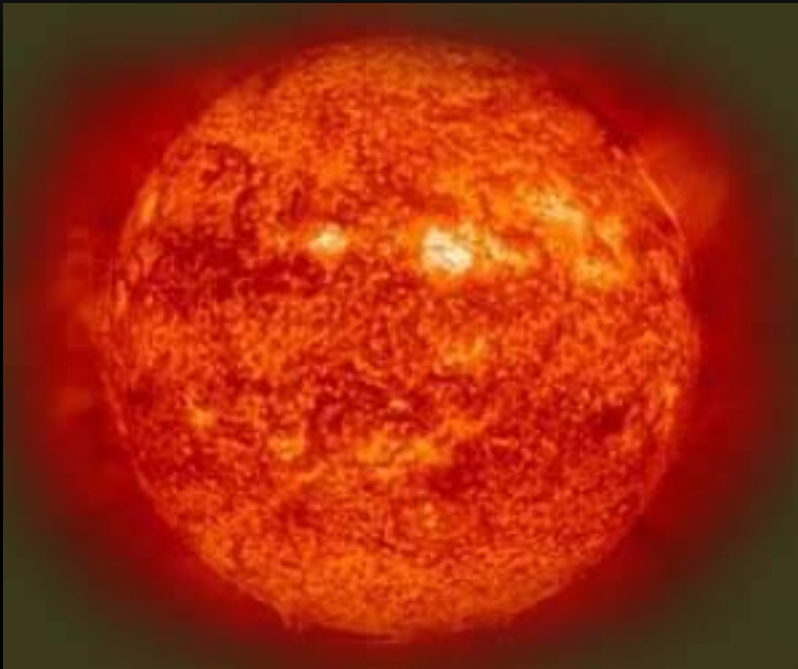


# ФОТОСФЕРА



- Наблюдаемое излучение Солнца возникает в его тонком внешнем слое, который называется **фотосферой**. Толщина этого слоя  $0,001R = 700$  км.
- На поверхности Солнца можно разглядеть много деталей. Вся фотосфера Солнца состоит из светлых зернышек, пузырьков. Эти зернышки называются **гранулами**. Размеры гранул невелики, 1000–2000 км (около 1" дуги), расстояние между ними – 300–600 км. На Солнце наблюдается одновременно около миллиона гранул. Каждая гранула существует несколько минут. Гранулы окружены темными промежутками, как бы сотами. В гранулах вещество поднимается, а вокруг них – опускается. **Грануляция** – проявление конвекции в более глубоких слоях Солнца.
- Гранулы создают общий фон, на котором можно наблюдать несравненно более масштабные образования, такие, как протуберанцы, факелы, солнечные пятна и др.

# ХРОМОСФЕРА



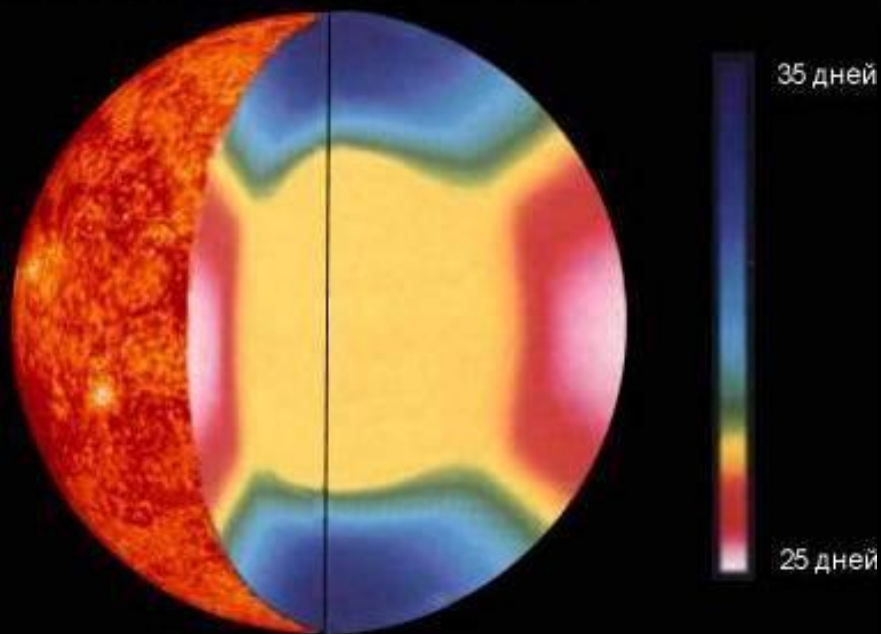
- **Хромосфера** Солнца видна только в моменты полных солнечных затмений. Луна полностью закрывает фотосферу, и хромосфера вспыхивает, как небольшое кольцо ярко-красного цвета, окружённое жемчужно-белой короной. Хромосфера получила своё название именно из-за этого явления (греч. «окрашенная сфера»).
- Размеры хромосферы 10–15 тысяч километров, а плотность вещества в сотни тысяч раз меньше, чем в фотосфере. Температура в хромосфере быстро растёт, достигая в верхних её слоях десятков тысяч градусов. Рост температуры объясняется воздействием магнитных полей и волн, проникающих в хромосферу из зоны конвективных движений. Здесь нагрев происходит, как в микроволновой печи, только гигантских размеров.
- На краю хромосферы наблюдаются выступающие язычки пламени – **хромосферные спиккулы**, представляющие собою вытянутые столбики из уплотнённого газа. Температура этих струй выше, чем температура фотосферы.



# ГЕЛИОСЕЙСМОЛОГИЯ

В солнечной атмосфере распространяются акустические волны, подобные звуковым волнам в воздухе. В верхних слоях солнечной атмосферы волны, возникшие в конвективной зоне и в фотосфере, передают солнечному веществу часть механической энергии конвективных движений и производят нагревание газов последующих слоев атмосферы – хромосферы и короны. В результате верхние слои фотосферы с температурой около 4500 К оказываются самыми «холодными» на Солнце. Как вглубь, так и вверх от них температура газов быстро растет.

Всякая солнечная атмосфера постоянно колеблется. В ней распространяются как вертикальные, так и горизонтальные волны с длинами в несколько тысяч километров. Колебания носят резонансный характер и происходят с периодом около 5 минут.

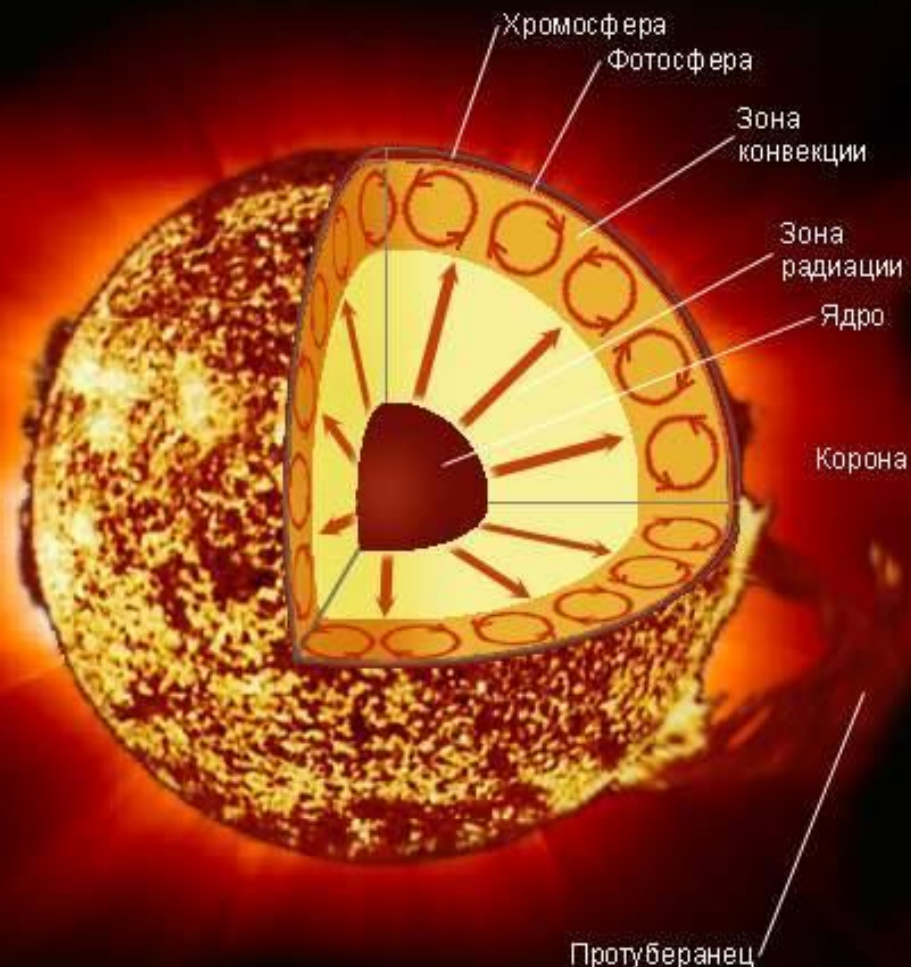


# ПОД ПОВЕРХНОСТЬЮ

Солнце – раскалённый газовый шар, температура в центре которого очень высока, настолько, что там могут происходить ядерные реакции. В центре Солнца температура достигает 15 миллионов градусов, а давление в 200 миллиардов раз выше, чем у поверхности Земли. Газ сжат здесь до плотности около  $1,5 \cdot 10^5$  кг/м<sup>3</sup> (тяжелее железа).

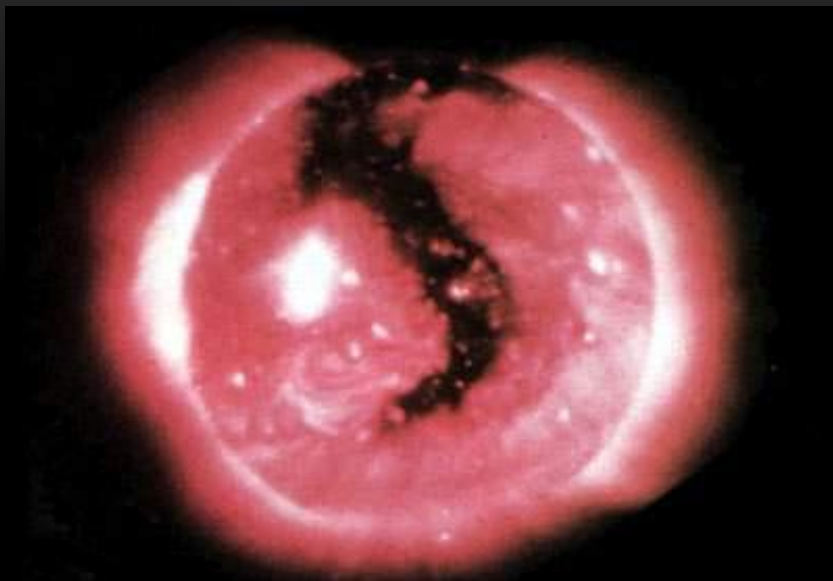
Солнце – сферически симметричное тело, находящееся в равновесии. Плотность и давление быстро нарастают вглубь; рост давления объясняется весом всех вышележащих слоев. В каждой внутренней точке Солнца выполняется условие гидростатического равновесия. Это означает, что давление на любом расстоянии от центра уравнивается гравитационным притяжением.

В центральной области с радиусом примерно в треть солнечного – **ядра** – происходят ядерные реакции. Пока температура высока – больше 2 миллионов градусов, – энергия переносится лучистой теплопроводностью, то есть фотонами. Зона непрозрачности, обусловленная рассеянием фотонов на электронах, простирается примерно до расстояния  $2/3R$  радиуса Солнца. Примерно с расстояния  $2/3R$  находится **конвективная зона**.





# СОЛНЕЧНАЯ КОРОНА



- Самая внешняя, самая разреженная и самая горячая часть солнечной атмосферы – **корона**. Она прослеживается от солнечного лимба до расстояний в десятки солнечных радиусов. Несмотря на сильное гравитационное поле Солнца, это возможно благодаря огромным скоростям движения частиц, составляющих корону. Корона имеет температуру около миллиона градусов и состоит из высокоионизированного газа. Возможно, причиной такой высокой температуры являются поверхностные выбросы солнечного вещества в виде петель и арок. Миллионы колоссальных фонтанов переносят в корону вещество, нагретое в глубинных слоях Солнца.

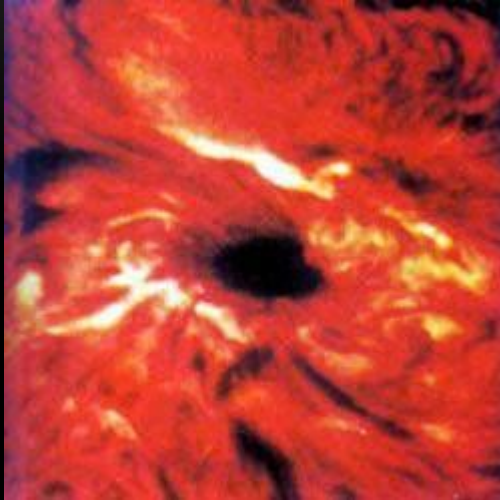
Максимум солнечной активности



Минимум солнечной активности

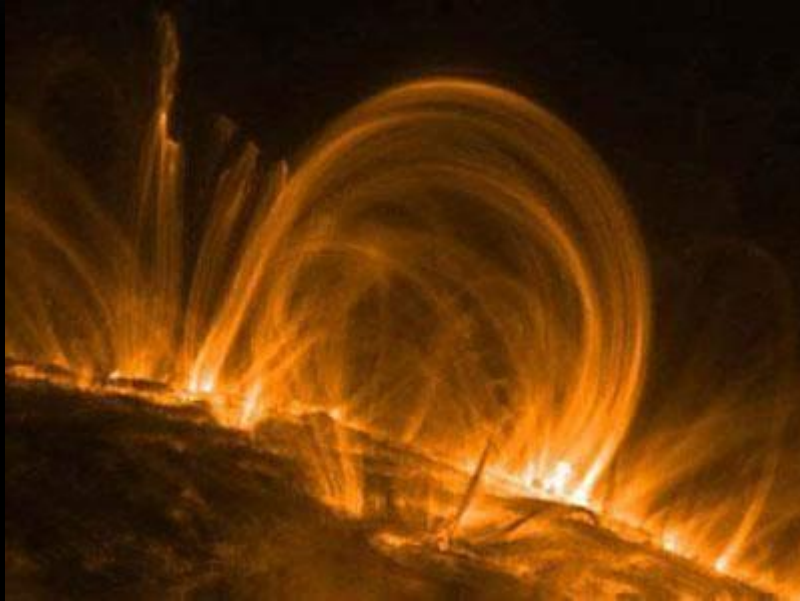


# Вспышки и протуберанцы



**ПРОТУБЕРАНЦАМИ** НАЗЫВАЮТСЯ ОГРОМНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В КОРОНЕ СОЛНЦА. ПЛОТНОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРА ПРОТУБЕРАНЦЕВ ТАКАЯ ЖЕ, КАК И ВЕЩЕСТВА ХРОМОСФЕРЫ, НО НА ФОНЕ ГОРЯЧЕЙ КОРОНЫ ПРОТУБЕРАНЦЫ – ХОЛОДНЫЕ И ПЛОТНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ. ТЕМПЕРАТУРА ПРОТУБЕРАНЦЕВ ОКОЛО 20 000 К. НЕКОТОРЫЕ ИЗ НИХ СУЩЕСТВУЮТ В КОРОНЕ НЕСКОЛЬКО МЕСЯЦЕВ, ДРУГИЕ, ПОЯВЛЯЮЩИЕСЯ РЯДОМ С ПЯТНАМИ, БЫСТРО ДВИЖУТСЯ СО СКОРОСТЯМИ ОКОЛО 100 КМ/С И СУЩЕСТВУЮТ НЕСКОЛЬКО НЕДЕЛЬ. ОТДЕЛЬНЫЕ ПРОТУБЕРАНЦЫ ДВИЖУТСЯ С ЕЩЕ БОЛЬШИМИ СКОРОСТЯМИ И ВНЕЗАПНО ВЗРЫВАЮТСЯ; ОНИ НАЗЫВАЮТСЯ **ЭРУПТИВНЫМИ**.

РАЗМЕРЫ ПРОТУБЕРАНЦЕВ МОГУТ БЫТЬ РАЗНЫМИ. ТИПИЧНЫЙ ПРОТУБЕРАНЕЦ ИМЕЕТ ВЫСОТУ ОКОЛО 40 000 КМ И ШИРИНУ ОКОЛО 200 000 КМ. ДУГООБРАЗНЫЕ ПРОТУБЕРАНЦЫ ДОСТИГАЮТ РАЗМЕРОВ 800 000 КМ. ЗАРЕГИСТРИРОВАНЫ И РЕКОРДСМЕНЫ СРЕДИ ПРОТУБЕРАНЦЕВ, ИХ РАЗМЕРЫ ПРЕВЫШАЛИ 3 000 000 КМ.

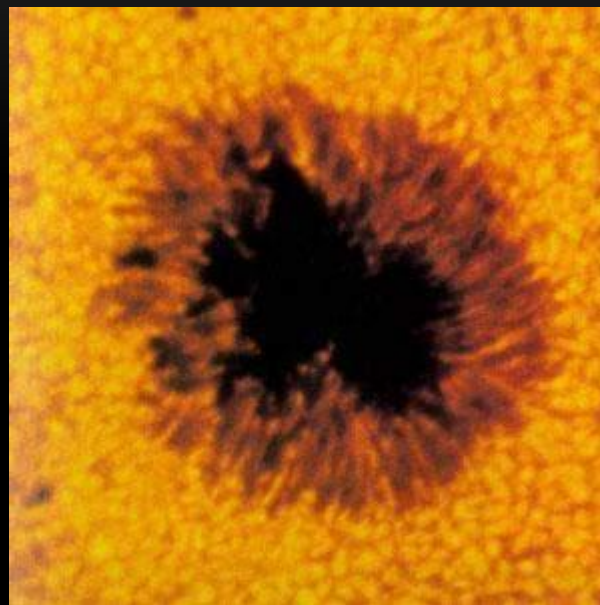


Корональные петли и арки высотой в сотни тысяч километров состоят из отдельных тонких петелек, скрученных друг с другом, как нити в веревке. Выбросы плазмы из глубинных слоев Солнца, согласно последним исследованиям, являются основной причиной разогрева солнечной короны.

# СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА

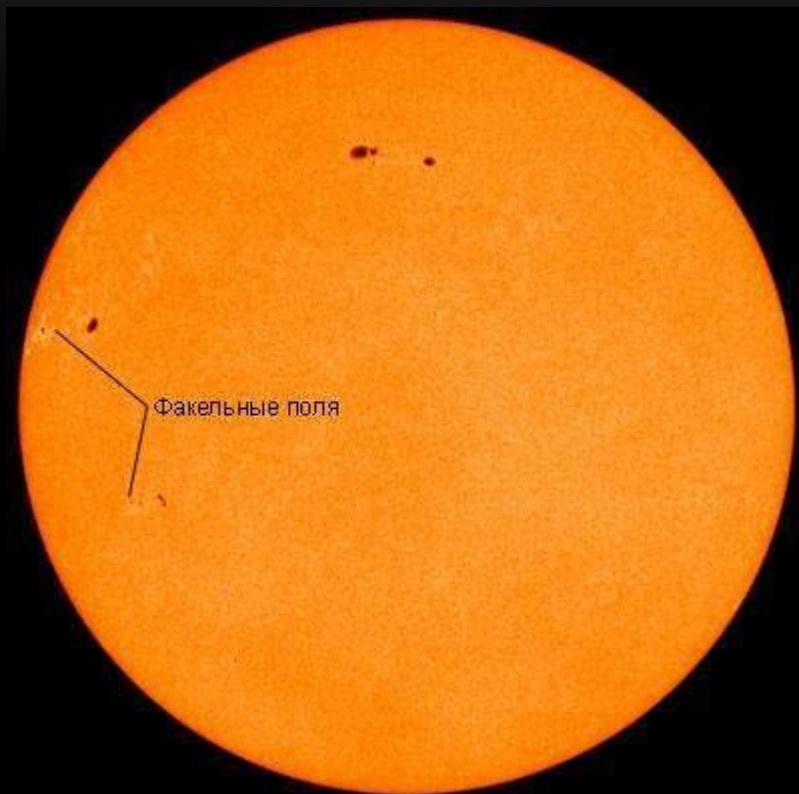


Размеры солнечных пятен часто превышают размеры Земли.



Солнечное пятно. Отчетливо видны ядро и полутьнь. Вокруг пятна видна грануляция.

**Пятна** на Солнце – очевидный признак его активности. Это более холодные области фотосферы. Температура пятен около 3500 К, поэтому на ярком фоне фотосферы (с температурой около 6000 К) они кажутся темнее. Образование пятен связано с магнитным полем Солнца. Небольшие пятна имеют в поперечнике несколько тысяч километров. Размеры крупных пятен достигают 100 000 км; такие пятна существуют около месяца.



Пятна на Солнце часто окружены факельными полями.

СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА ИМЕЮТ ВНУТРЕННЮЮ СТРУКТУРУ: БОЛЕЕ ТЕМНУЮ ЦЕНТРАЛЬНУЮ ЧАСТЬ – **ЯДРО** – И ОКРУЖАЮЩУЮ ЕЕ **ПОЛУТЕНЬ**. СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА ЧАСТО ОБРАЗУЮТ ГРУППЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ ЗАНИМАТЬ ЗНАЧИТЕЛЬНУЮ ПЛОЩАДЬ НА СОЛНЕЧНОМ ДИСКЕ. ТАК, 18 СЕНТЯБРЯ 2000 ГОДА БЫЛА ЗАРЕГИСТРИРОВАНА ГРУППА ПЯТЕН, ОБЩАЯ ПЛОЩАДЬ КОТОРОЙ РАВНЯЛАСЬ 6,5 МИЛЛИАРДАМ КМ<sup>2</sup>. НА ЭТОЙ ТЕРРИТОРИИ ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМНОГО ШАРА ПОМЕСТИТСЯ ЦЕЛЫХ 13 РАЗ. УСТАНОВЛЕНО, ЧТО ПЯТНА – МЕСТА ВЫХОДА В АТМОСФЕРУ СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ. ПОЛЯ УМЕНЬШАЮТ ПОТОК ЭНЕРГИИ, ИСХОДЯЩИЙ ИЗ ЯДРА, ПОЭТОМУ В МЕСТЕ ИХ ВЫХОДА НА ПОВЕРХНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРА ПАДАЕТ. ПЯТНА ОБЫЧНО ВОЗНИКАЮТ ГРУППАМИ.

ПЯТНА НА СОЛНЦЕ ЧАСТО ОКРУЖЕНЫ ФАКЕЛЬНЫМИ ПОЛЯМИ. ПЯТНА НА СОЛНЦЕ ЧАСТО БЫВАЮТ ОКРУЖЕНЫ СВЕТЛЫМИ ЗОНАМИ, НАЗЫВАЕМЫМИ **ФАКЕЛАМИ**. ОНИ ГОРЯЧЕЕ АТМОСФЕРЫ ПРИМЕРНО НА 2000 К И ИМЕЮТ ЯЧЕИСТУЮ СТРУКТУРУ (ВЕЛИЧИНА КАЖДОЙ ЯЧЕЙКИ – ОКОЛО 30 ТЫСЯЧ КИЛОМЕТРОВ). ЧАСТО ВСТРЕЧАЮТСЯ ФАКЕЛЬНЫЕ ПОЛЯ, ВНУТРИ КОТОРЫХ ПЯТЕН НЕТ.

# СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР

Солнце является источником постоянного потока частиц. Нейтрино, электроны, протоны, альфа-частицы, а также более тяжелые атомные ядра все вместе составляют корпускулярное излучение Солнца. Значительная часть этого излучения представляет собой более или менее непрерывное истечение плазмы, так называемый **солнечный ветер**, являющийся продолжением внешних слоев солнечной атмосферы – солнечной короны. Вблизи Земли его скорость составляет обычно 400–500 км/с. Поток заряженных частиц выбрасывается из Солнца через **корональные дыры** – области в атмосфере Солнца с открытым в межпланетное пространство магнитным полем.

