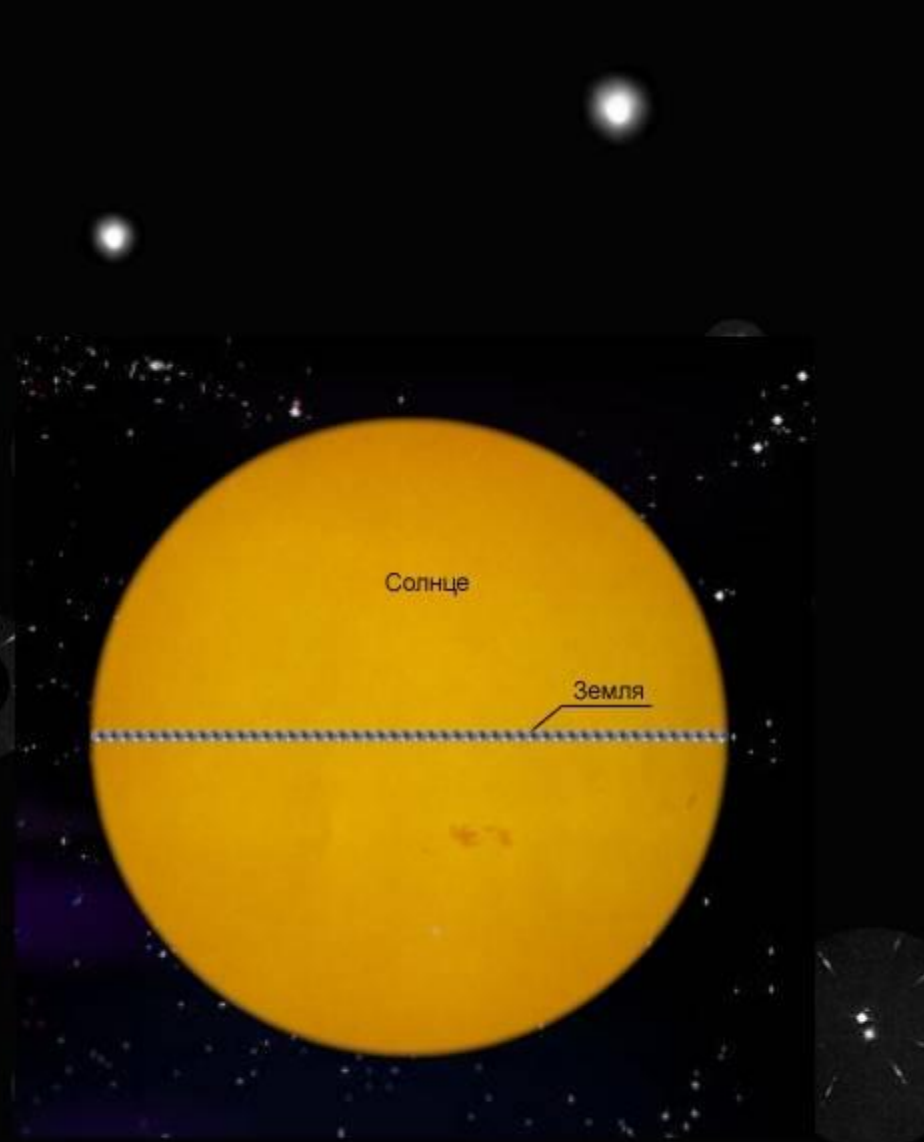


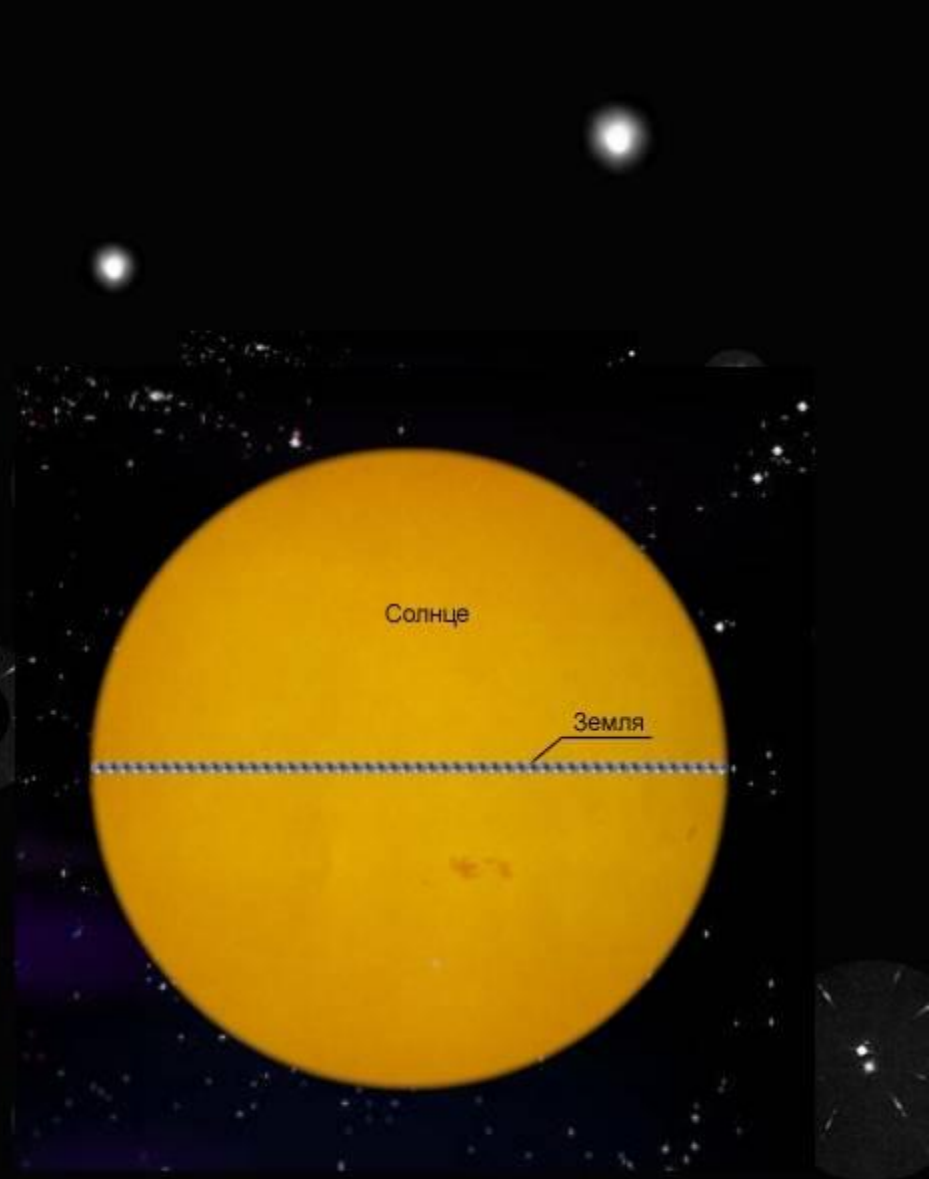
**Солнце** – это не заурядный желтый карлик, как раньше было принято говорить. Это звезда, около которой есть планеты, содержащие много тяжелых элементов. Это звезда, которая образовалась после взрывов сверхновых, она богата железом и другими элементами. Около которой смогла сформироваться такая планетная 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, межпланетная пыль и газ.



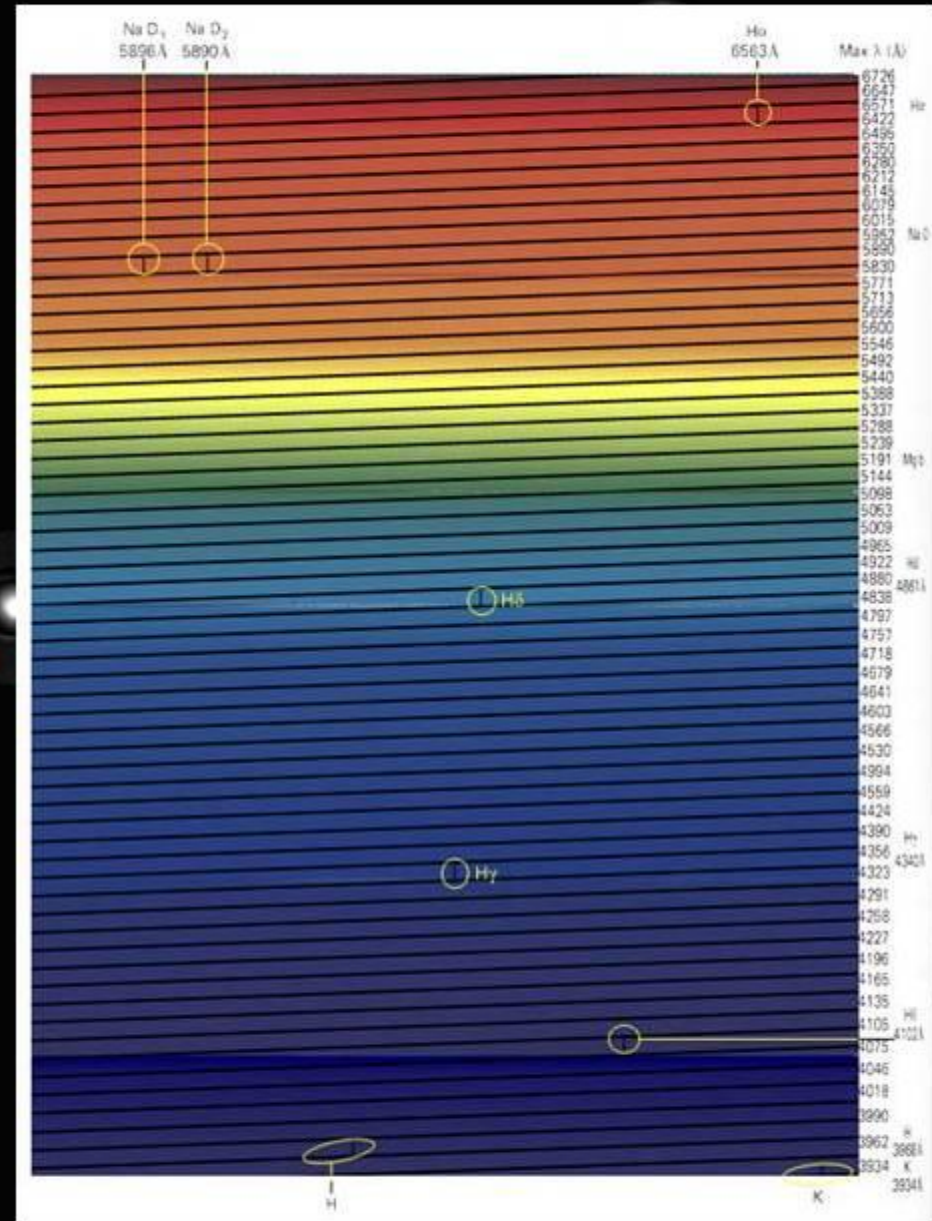
- Размеры Солнца очень велики. Так, радиус Солнца в 109 раз, а масса – в 330 000 раз больше радиуса и массы Земли. А вот средняя плотность нашего светила невелика – всего в 1,4 раза больше плотности воды.
- Впервые вращение Солнца наблюдал Галилей по движению пятен по поверхности. Различные зоны Солнца 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  $L = 3,86 \cdot 10^{33} \text{ эрг/с} = 3,86 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ . Это соответствует 6,5 кВт с каждого квадратного сантиметра его поверхности! Лишь одну двухмиллиардную часть этой энергии получает Земля.

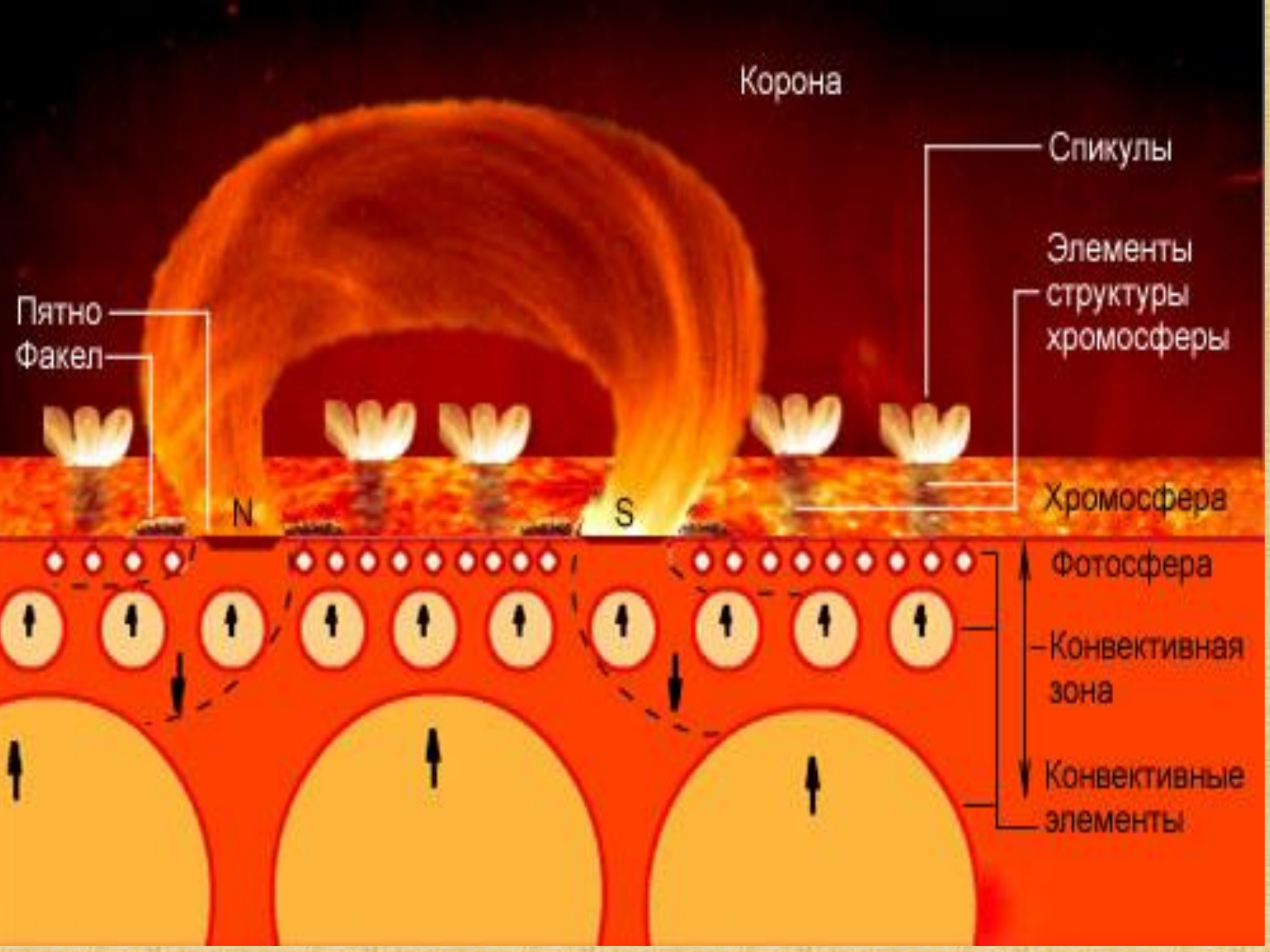




## Солнечный спектр

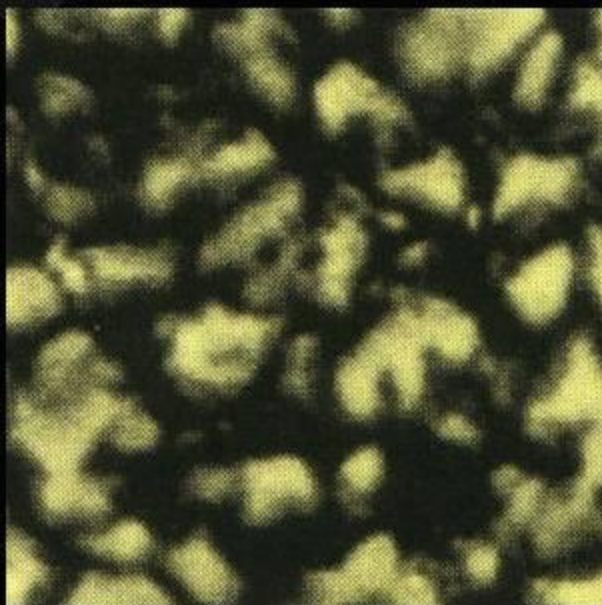
На 1 квадратный метр обращенной к Солнцу поверхности площадки в окрестностях Земли ежесекундно поступает 1400 Дж энергии, переносимой солнечным электромагнитным излучением. Эта величина называется **солнечной постоянной**. Иными словами, плотность потока энергии солнечного излучения составляет 1,4 кВт/м<sup>2</sup>. Спектр Солнца непрерывный, в нем наблюдается множество темных **фраунгоферовых линий**. Фраунгофер 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.







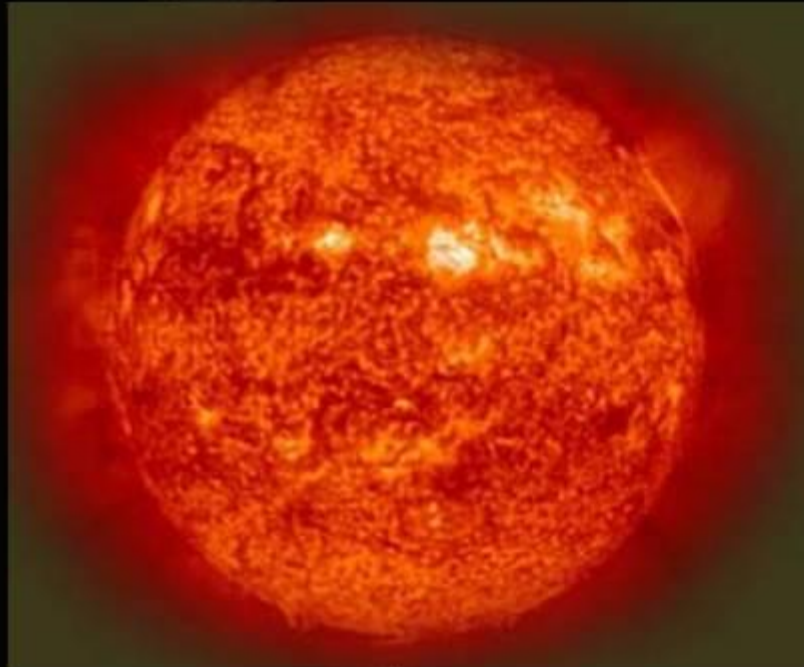
# Фотосфера



- Наблюдаемое излучение Солнца возникает в его тонком внешнем слое, который называется **фотосферой**. Толщина этого слоя  $0,001 R = 700$  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



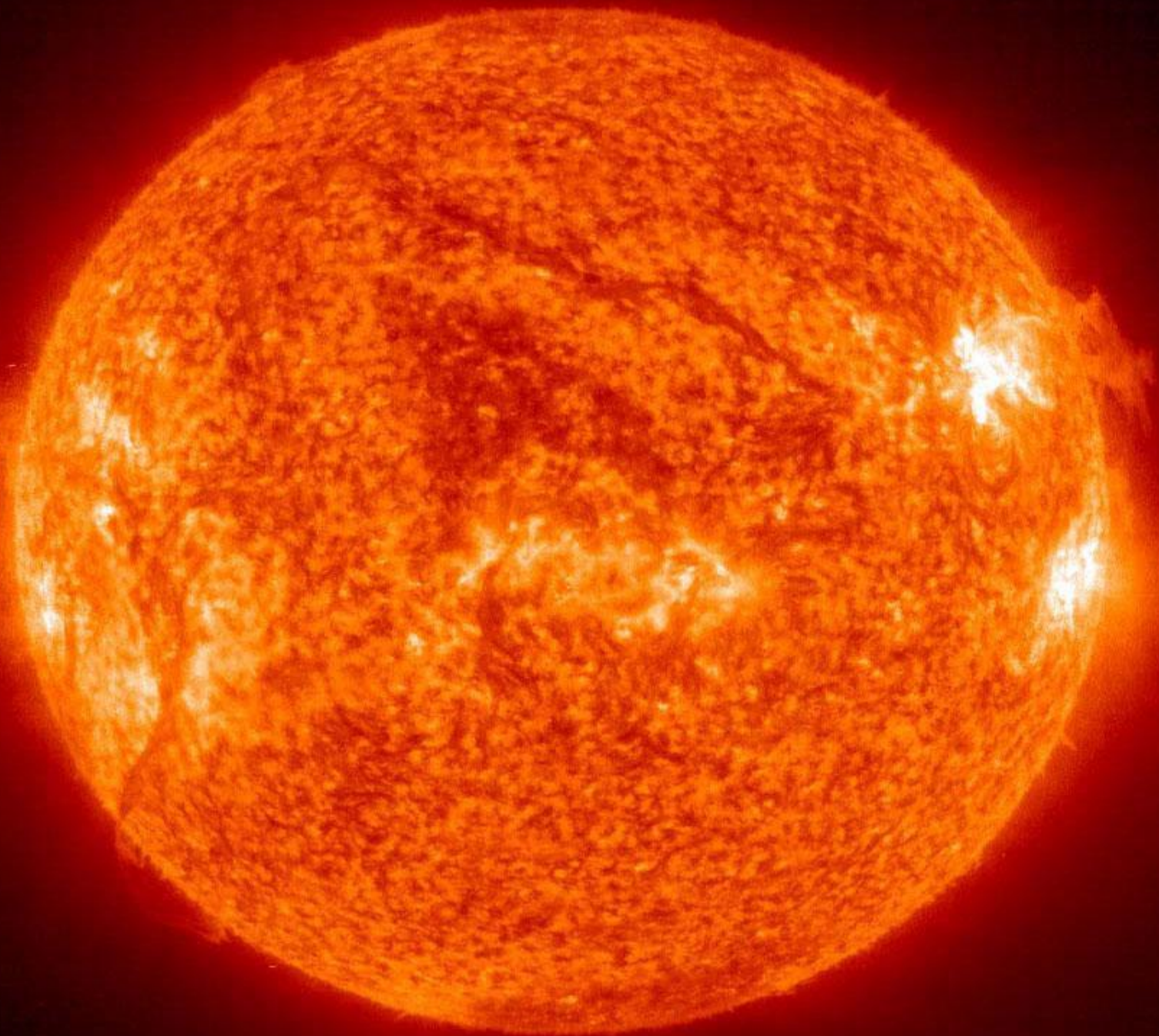
- **Хромосфера** Солнца видна только в моменты полных солнечных затмений. Луна полностью закрывает фотосферу, и хромосфера вспыхивает, как небольшое кольцо ярко-красного цвета, окруженное жемчужно-белой короной. Хромосфера получила свое название именно из-за этого явления (греч. «окрашенная сфера»).

Размеры хромосферы 10–15 тысяч километров, а плотность вещества в сотни тысяч раз меньше, чем в фотосфере. Температура в хромосфере быстро растет, достигая в верхних ее 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 спикулы**, представляющие собою вытянутые столбики из уплотненного газа.

Температура этих струй выше, чем

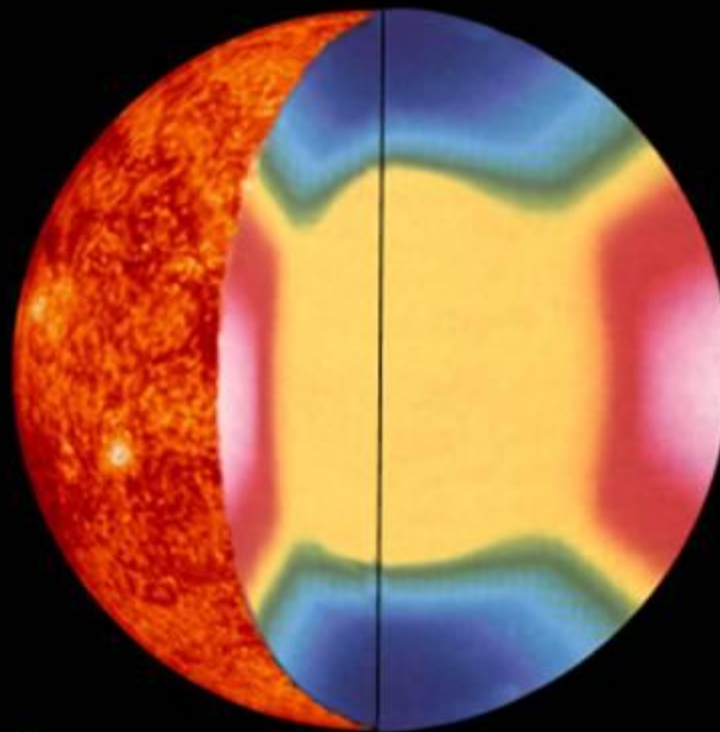




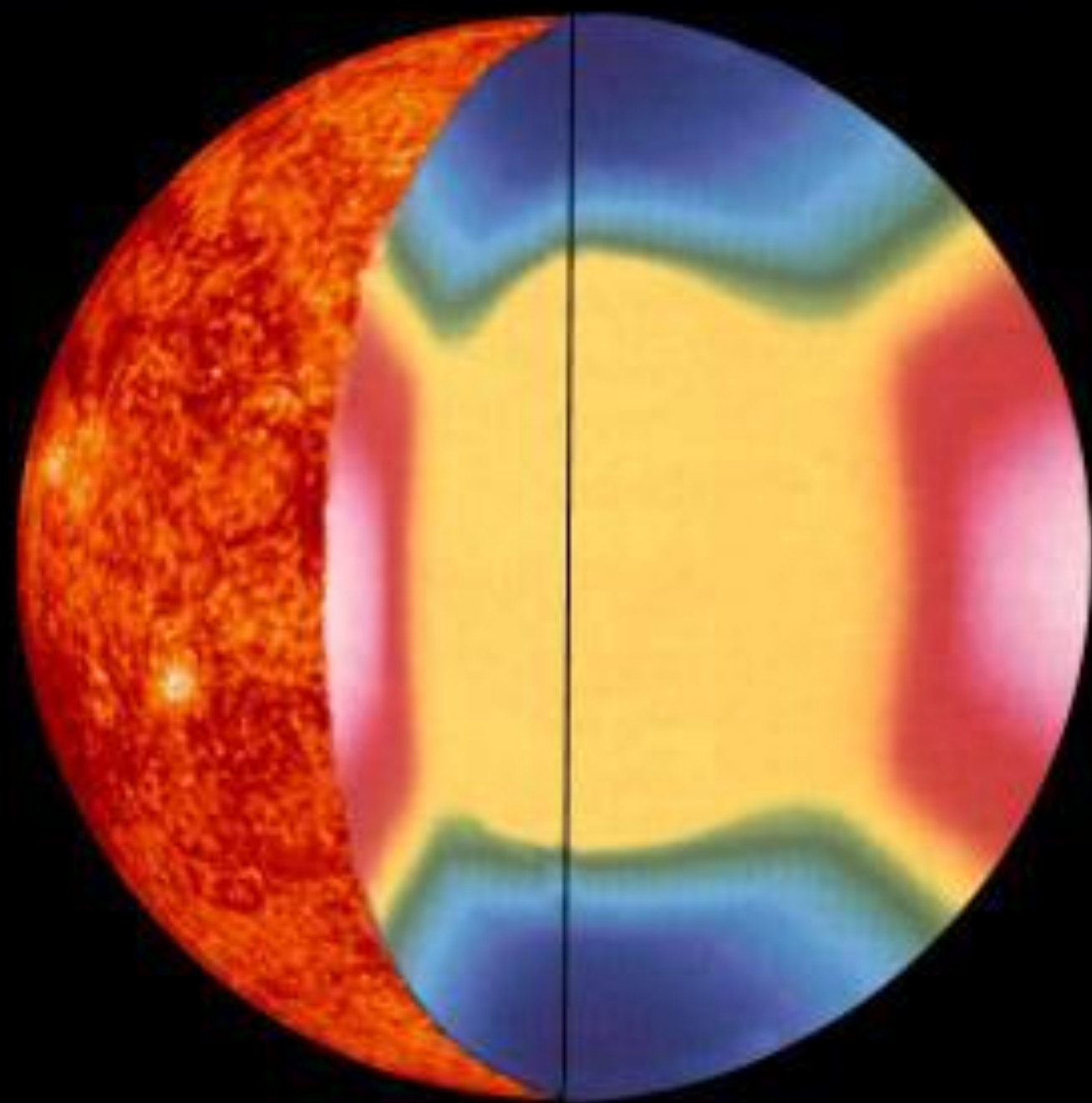
# Гелиосейсмология

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.







35 дней

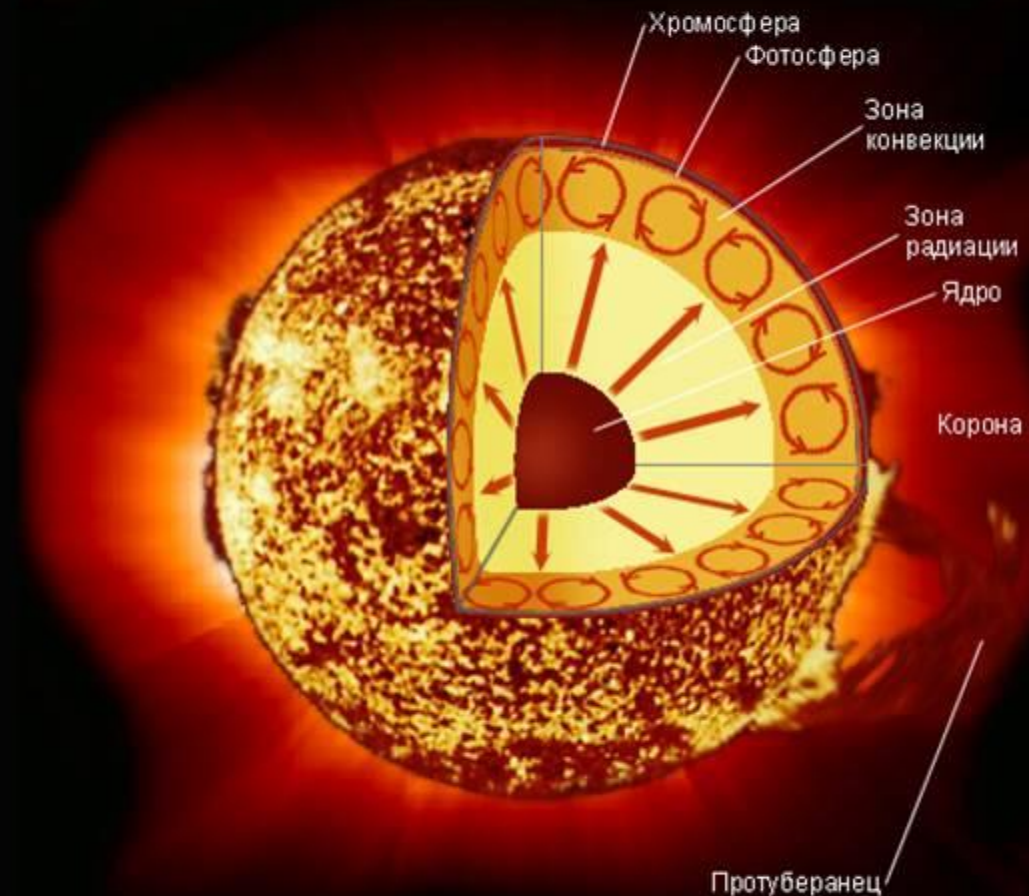
25 дней

# Под поверхностью

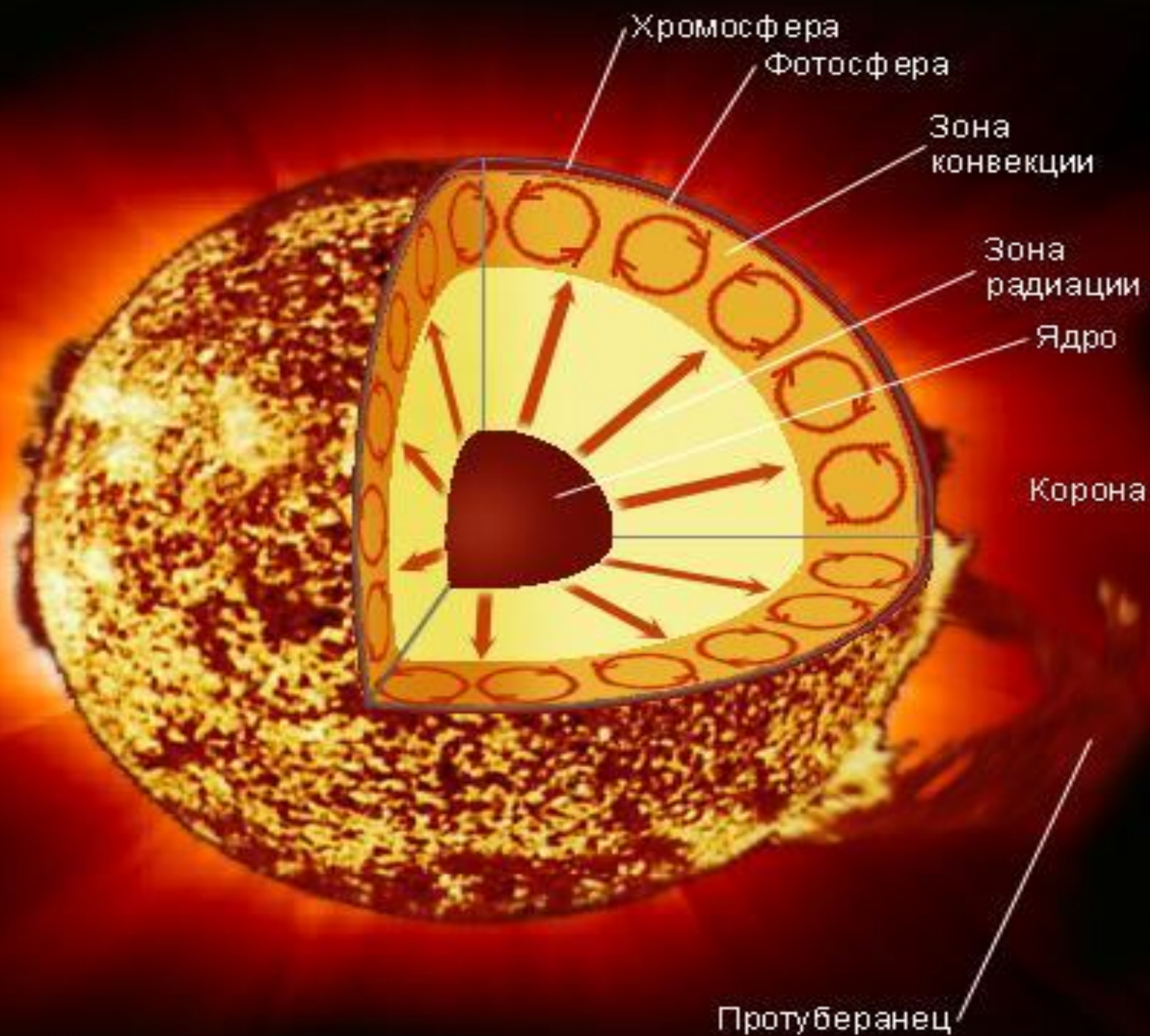
**Солнце** – раскаленный газовый шар, температура в центре которого очень высока, настолько, что там могут происходить ядерные реакции. В центре Солнца температура достигает 15 миллионов градусов, а давление в 200 миллиардов раз выше, чем у поверхности Земли. Газ сжат здесь до плотности около  $1,5 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^3$  (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 уравновешивается гравитационным притяжением.

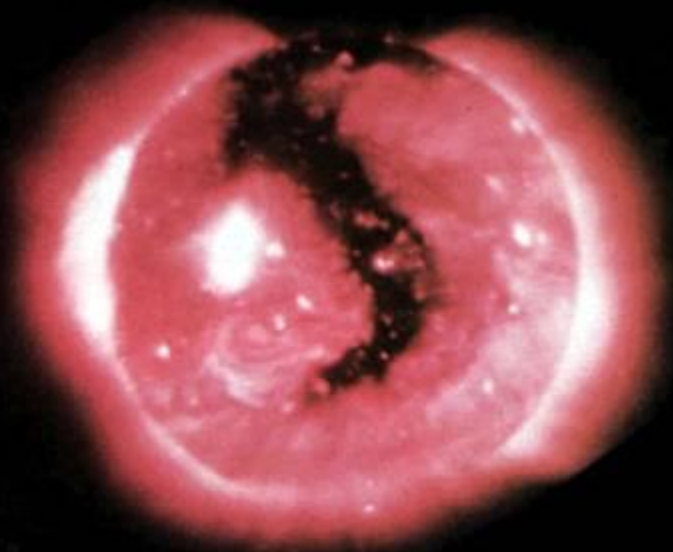
В центральной области с радиусом примерно в треть солнечного – **ядро** – происходят ядерные реакции. Пока температура высока – больше 2 миллионов градусов, – энергия переносится лучистой теплопроводностью, то есть фотонами. Зона непрозрачности, обусловленная рассеянием фотонов на электронах, простирается примерно до расстояния  $2/3R$  радиуса Солнца. Примерно с расстояния  $2/3R$  находится **конвективная зона**. В этих слоях непрозрачность вещества становится настолько большой, что возникают крупномасштабные конвективные движения. Здесь начинается конвекция, то есть перемешивание горячих и холодных слоев вещества.







# 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.

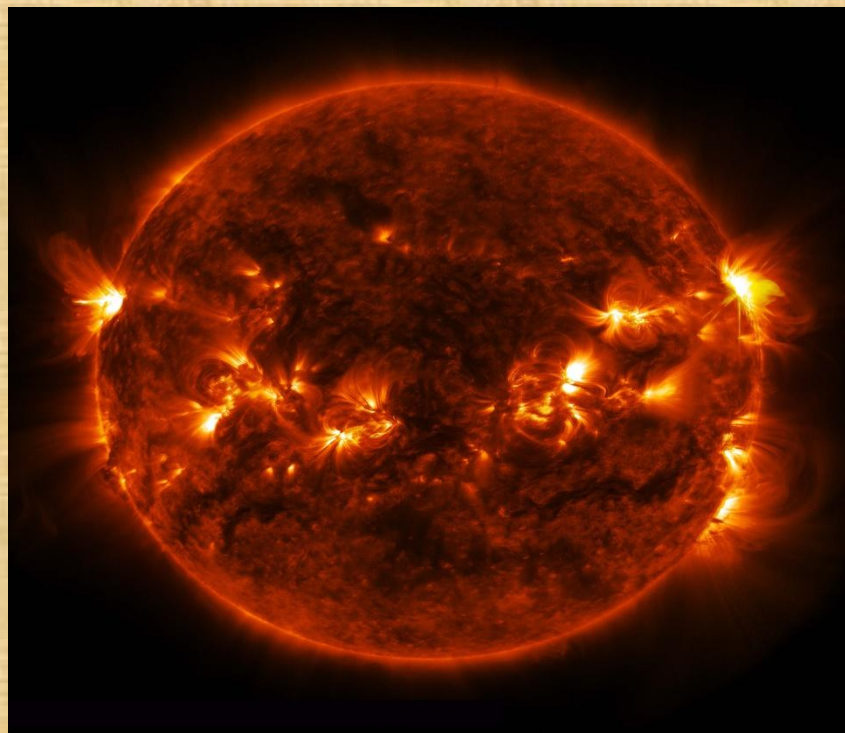
Максимум солнечной активности



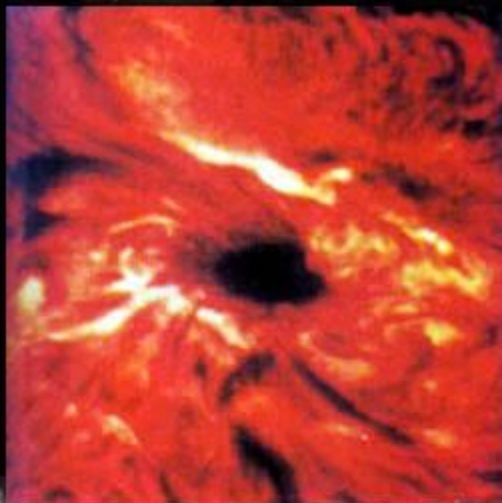
Минимум солнечной активности







# Вспышки и протуберанцы

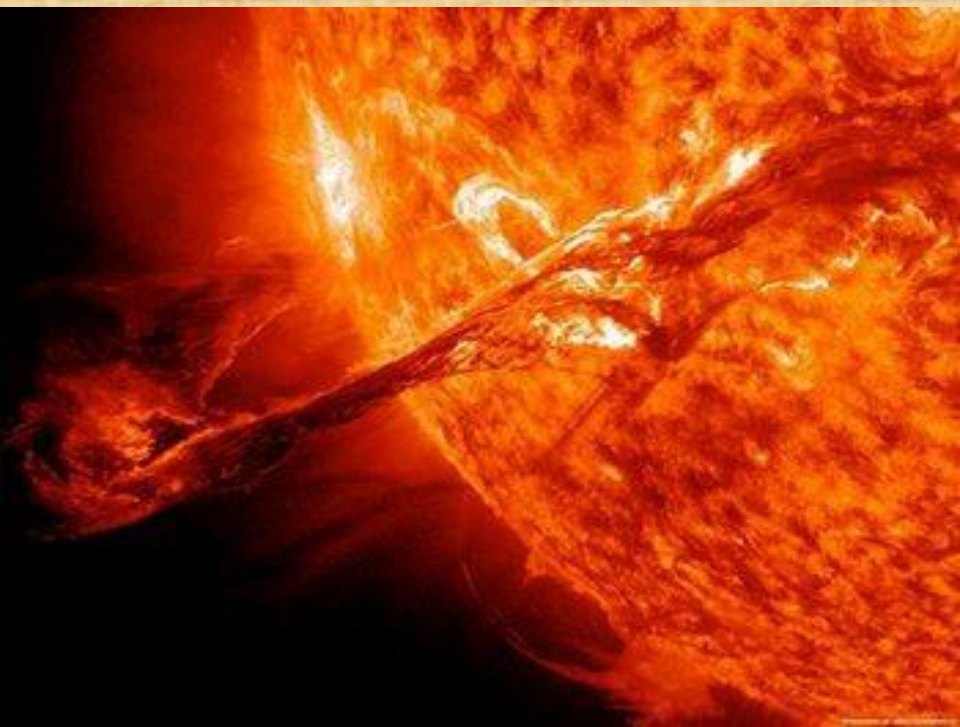
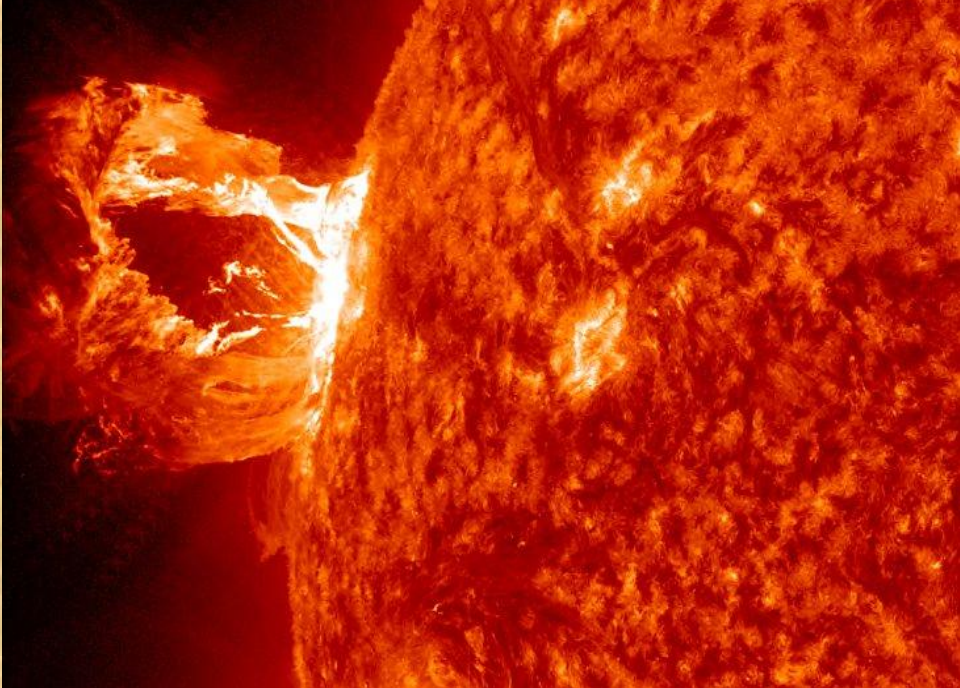


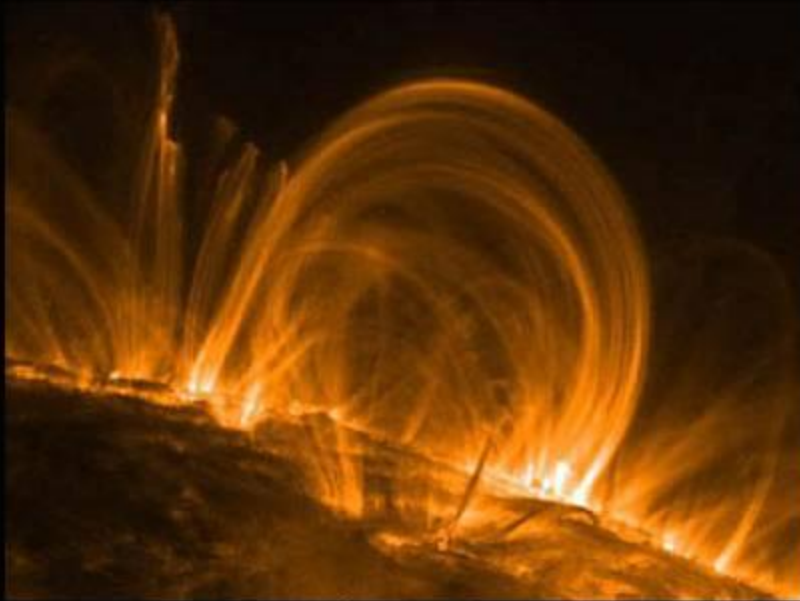
*Протуберанцами* называются огромные образования в короне Солнца. Плотность и температура протуберанцев такая же, как и вещества хромосферы, но на фоне горячей короны протуберанцы – холодные и плотные образования. Температура протуберанцев около 20 000 К. Некоторые из них существуют в короне несколько 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.



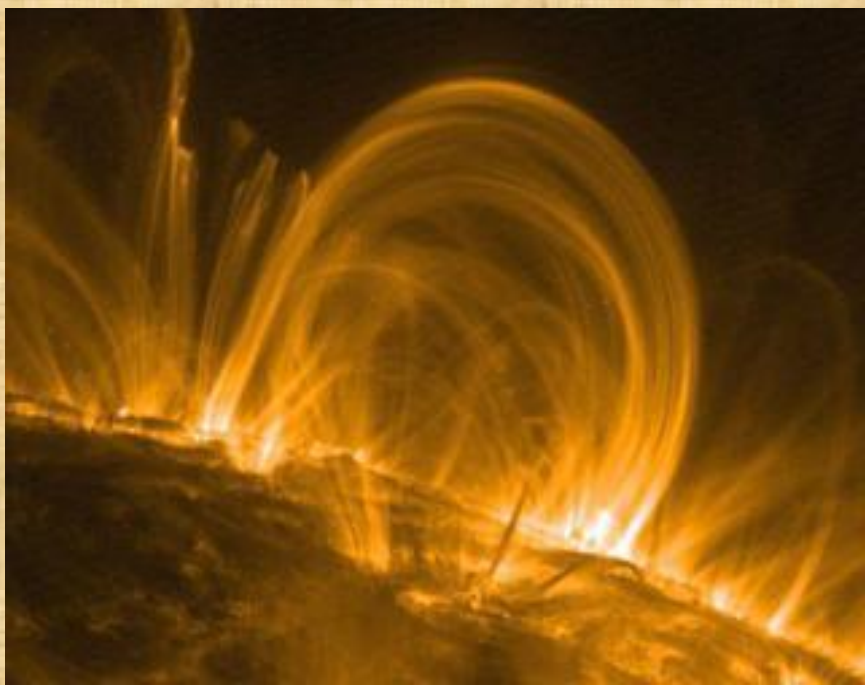




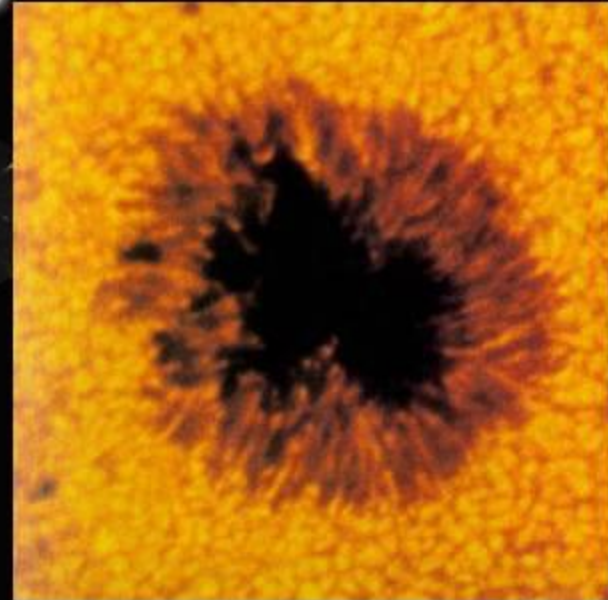


- Корональные петли и арки высотой в сотни тысяч километров состоят из отдельных тонких петелек, скрученных друг с другом, как нити в веревке. Выбросы плазмы из глубинных слоев Солнца, согласно последним исследованиям, являются основной причиной разогрева солнечной короны.





# Солнечные пятна



- Размеры солнечных пятен часто превышают размеры Земли.

- Солнечное пятно. Отчетливо видны ядро и полутень. 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.



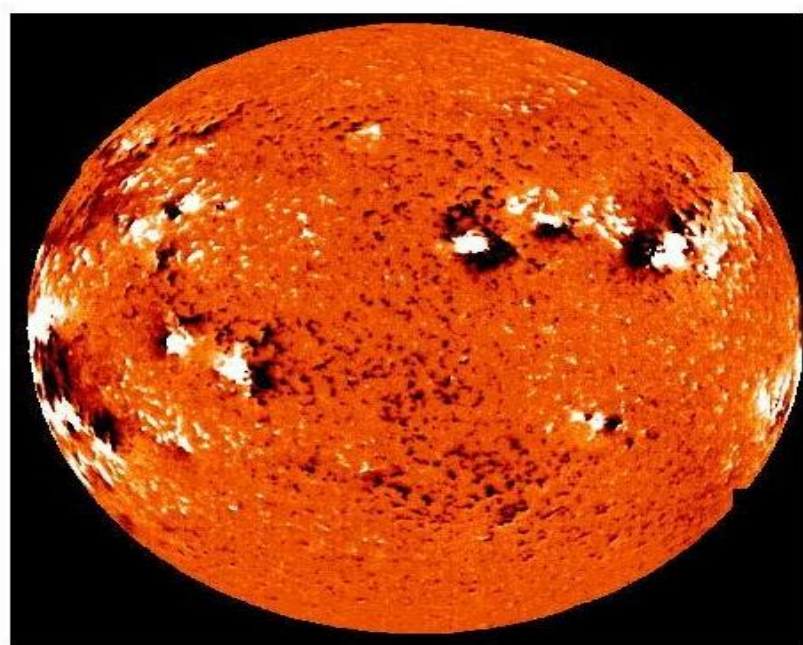
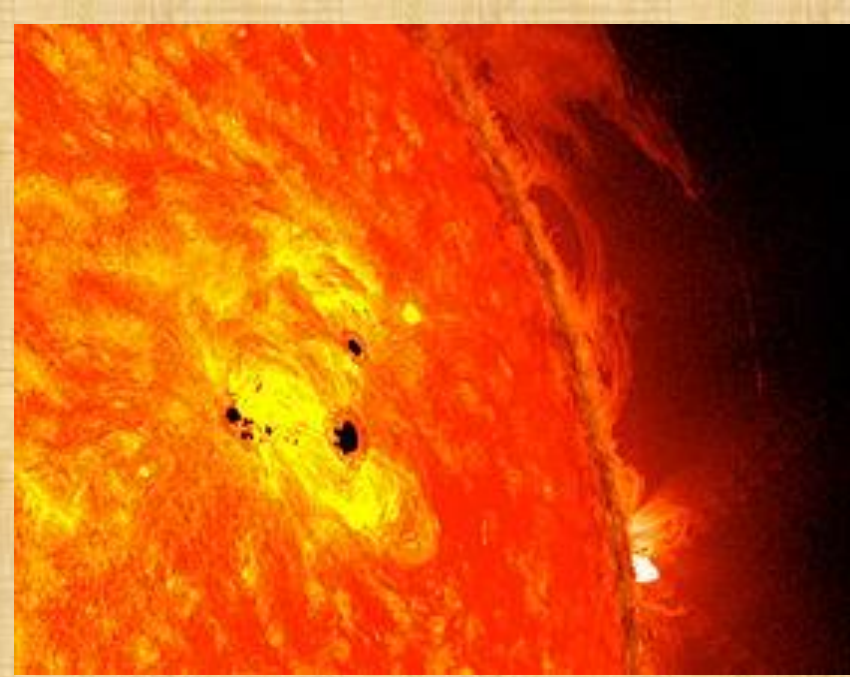
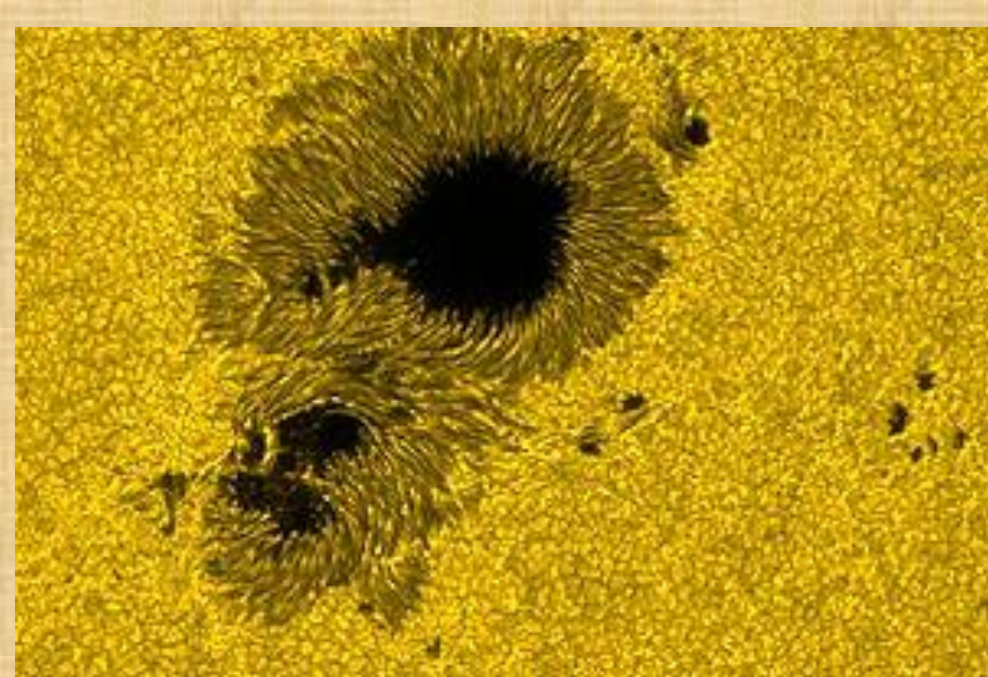
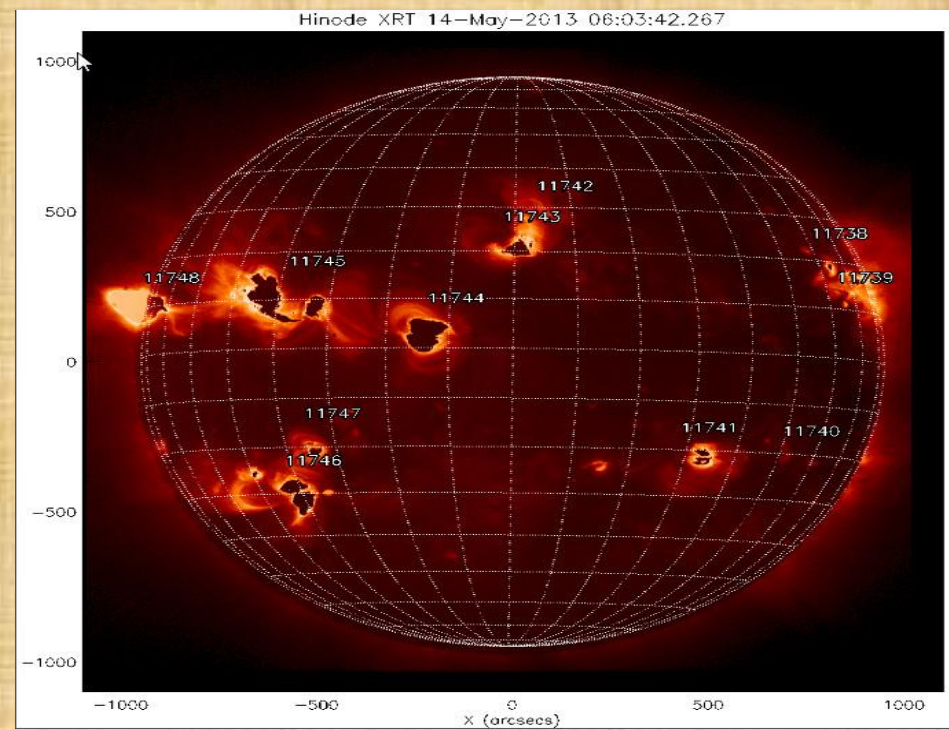
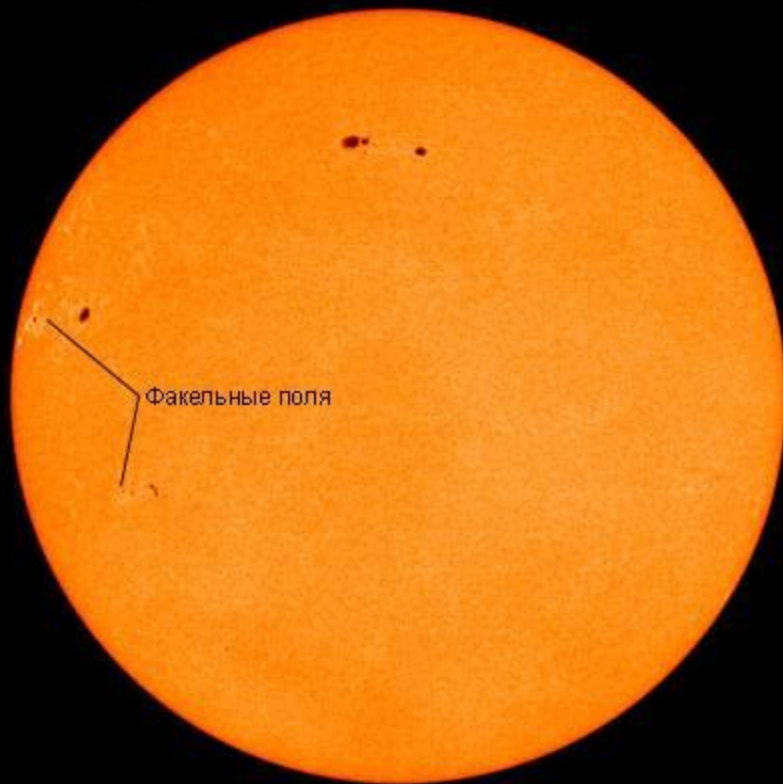


FIG. 1







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.

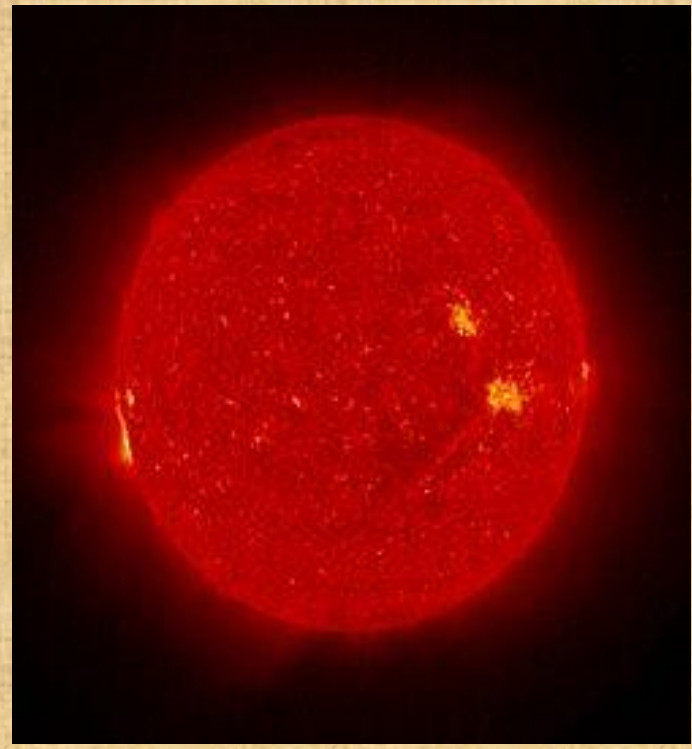
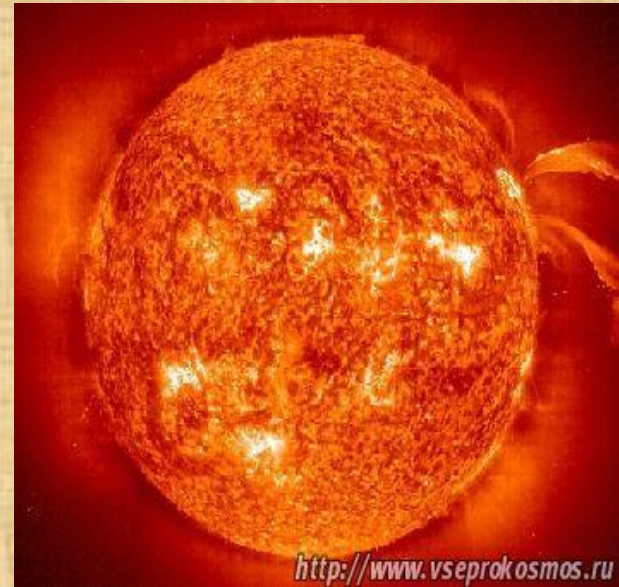
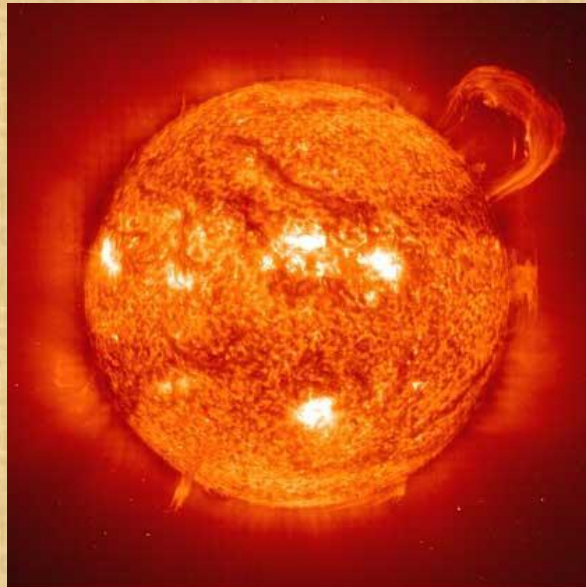
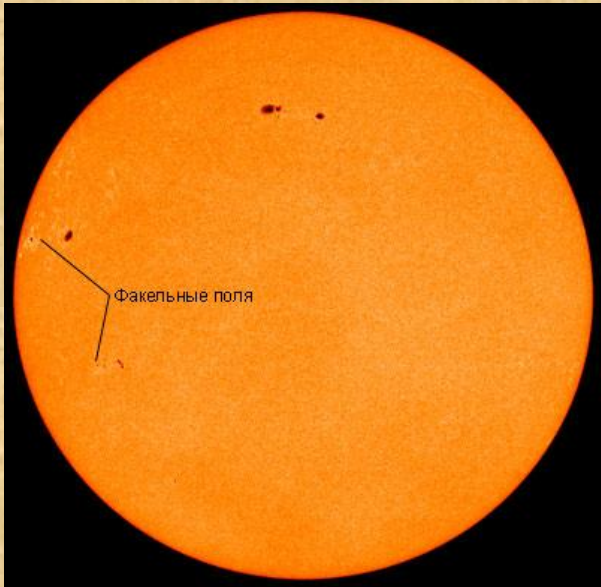
Установлено, что пятна – места выхода в атмосферу сильных магнитных полей. Поля уменьшают поток энергии, исходящий из ядра, поэтому в месте их выхода на поверхность температура падает. Пятна обычно возникают группами.

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.

- Пятна на Солнце часто окружены факельными полями.







# 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.

