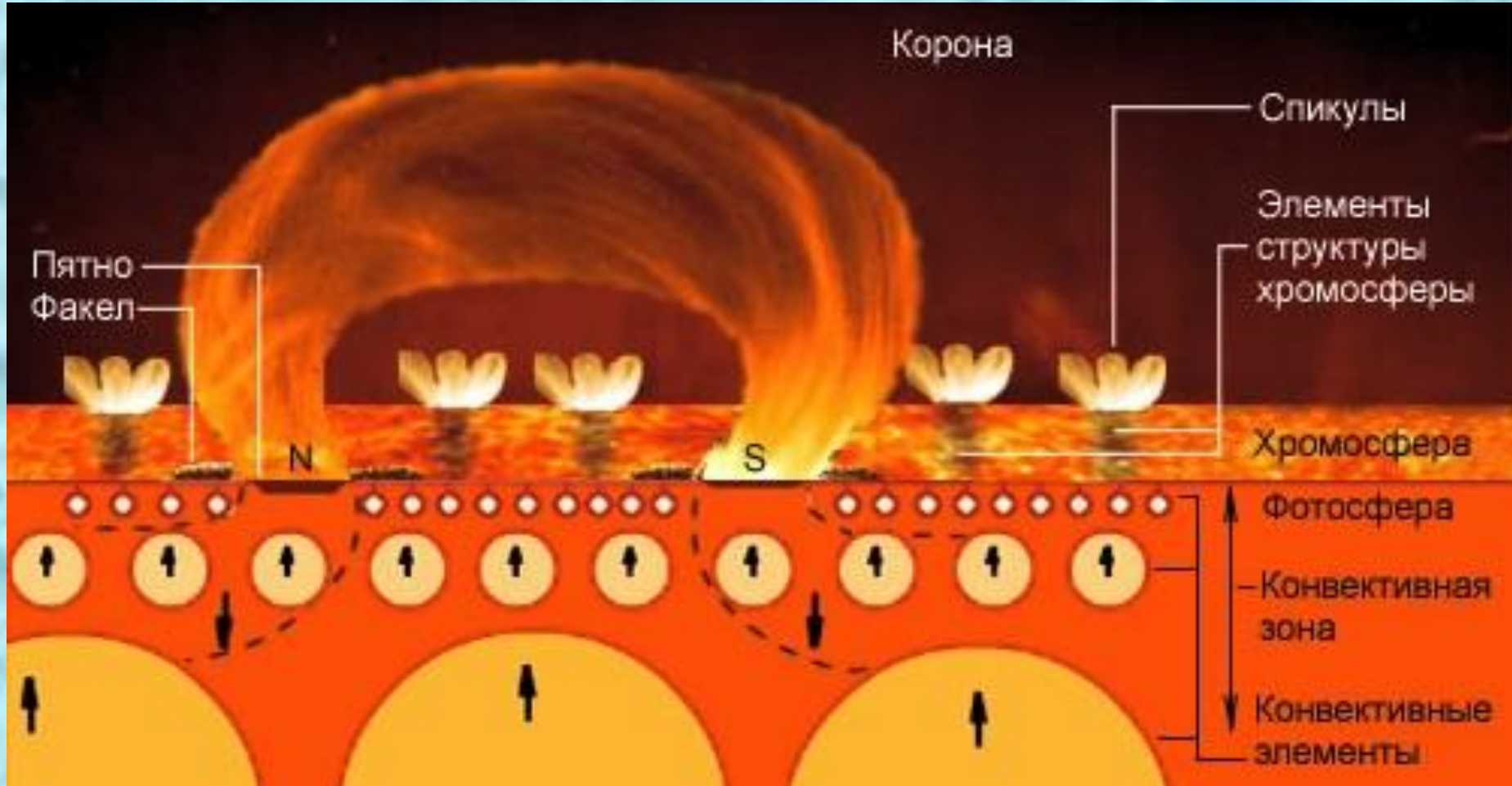


Урок 19

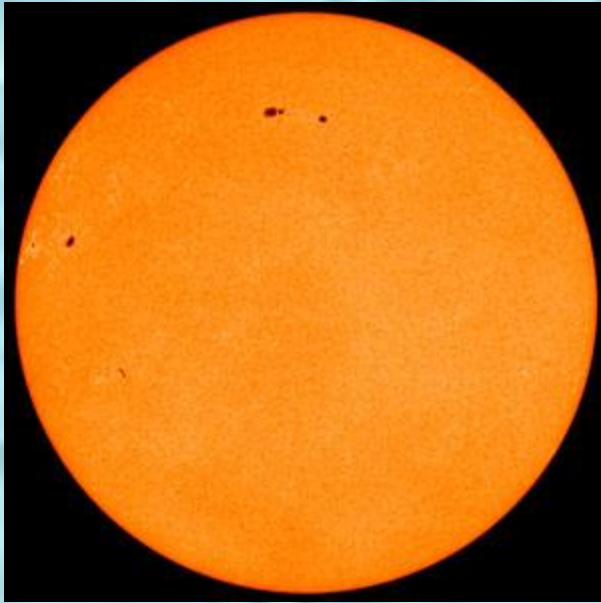
Тема: Строение атмосферы Солнца

Солнечная атмосфера

Солнечная атмосфера состоит из 3 слоев:
фотосфера, хромосфера, солнечная корона.



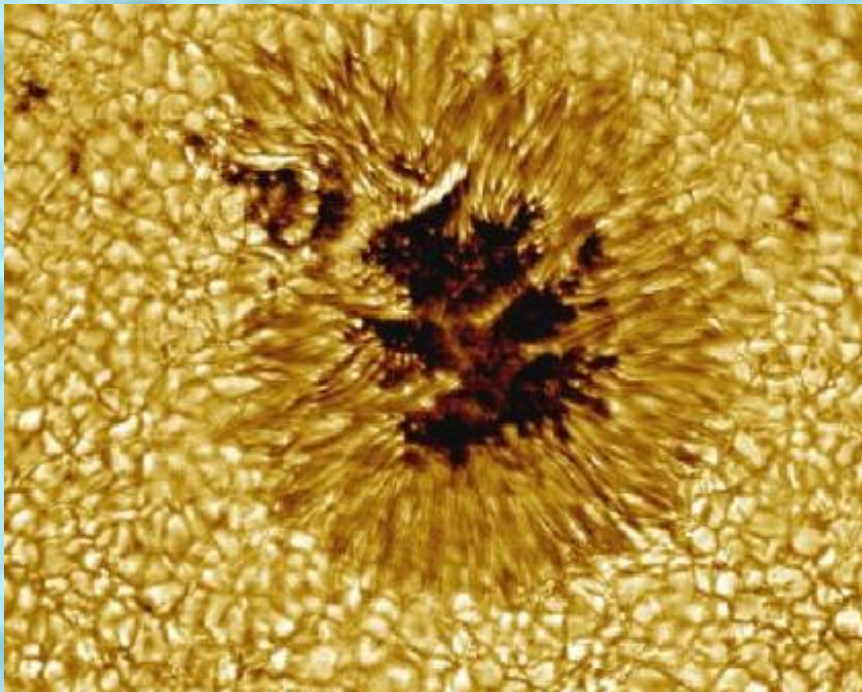
Фотосфера - грануляция



Фотосфера - светящаяся “поверхность” Солнца, нижний слой атмосферы. Излучает почти всю энергию, поэтому мы и видим резко очерченный шар, хотя Солнце не имеет резко очерченных границ.

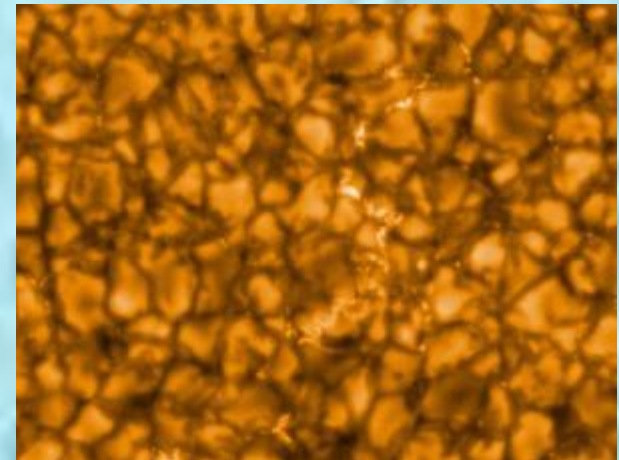
толщина = 300-400км., $T \approx 5800\text{K}$,
 $\rho_{\text{ср.}} \approx 10^{-4}\text{кг/м}^3 \approx 10^{17}\text{атом/см}^3$. **H-водород.**

1) “зернистая структура”- гранулы размером до 1000км (ср. 700км), промежутки между гранулами до 300км, время существования до 8мин, одновременно наблюдается порядка миллиона гранул - отражение движения вещества: подъем и опускание в под фотосферной области за счет конвекции, начиная с глубины $0,3R$ (подобие кипящей рисовой каши).

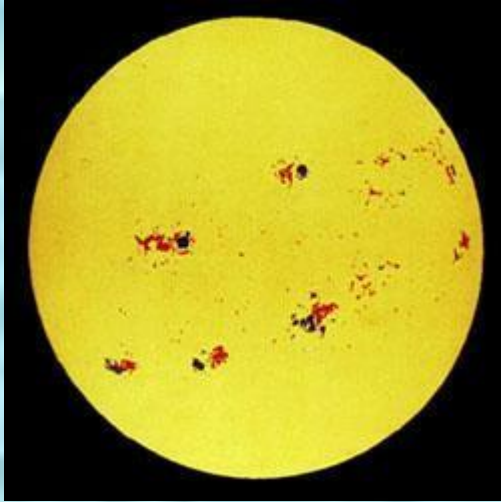


Пятно на фоне
грануляции.

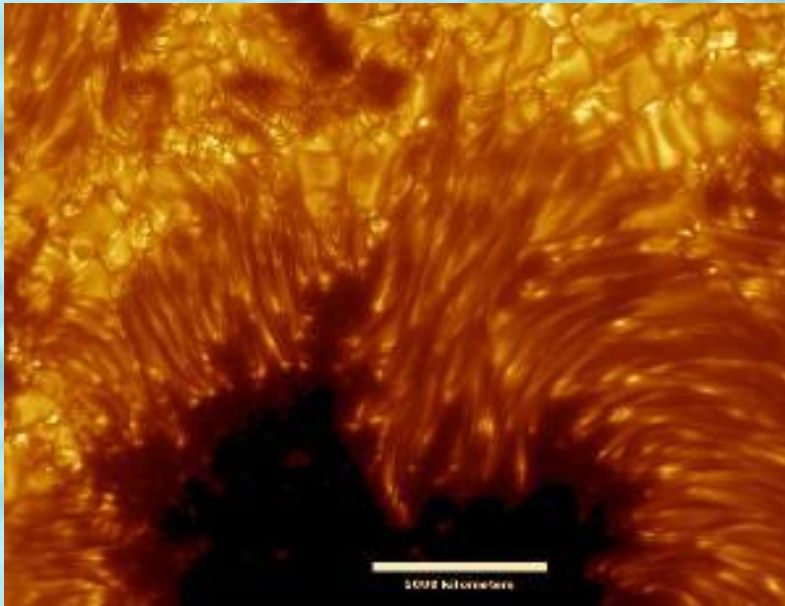
Грануляция.



Фотосфера - пятна



2) Пятна- очевидный признак солнечной активности, диаметром от тысяч км до 100 000км. Они появляются на широте $\pm 40^{\circ}$ (редко 50°) группами (редко одно), но обязательно есть и на противоположной стороне Солнца и опускаются до широты $\pm 5^{\circ}$ где исчезают (существуя от нескольких дней до нескольких месяцев). Пятно видно так как в данной области плазма более холодная (до 4500К) по сравнению с остальной частью фотосферы. Причина - торможение магнитным полем конвекции, (нисходящее течение, идущее со скоростью 2 м/с на глубину до 2000км - на поверхность поступает <энергии), глубина воронки до 300-400км.



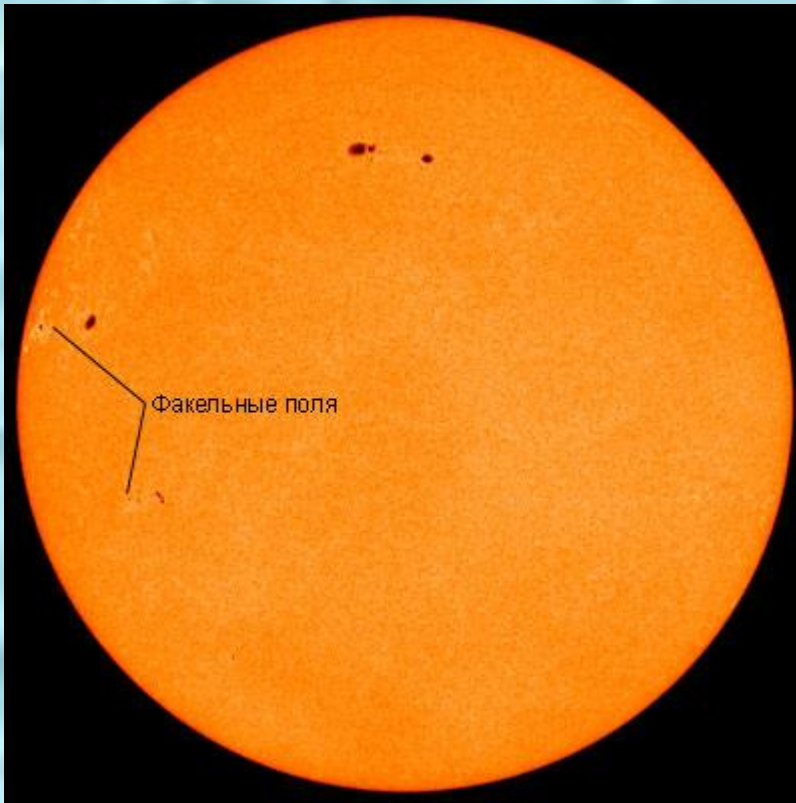
Темные сердцевинки ярких волокон, которые тянутся внутрь пятна. Снимок телескопа на острове Ла Пальма.

Главное пятно в группе имеет одну полярность, а хвостовое - противоположную. Если в данном цикле главное имело северный магнитный полюс, то в следующем цикле главное будет иметь южный полюс.

Самая большая из когда-либо зарегистрированных групп солнечных пятен достигла своего максимума 8 апреля 1947г. Она захватила область площадью в 18130 миллионов квадратных километров.

Расщепление линий в спектре указывает на существование магнитного поля. В пятнах напряженность магнитного поля 1500-4500 Эрстед, в то время как в спокойных областях Солнца 5 Эрстед. Что пятно холодное и в них существует магнитное поле, установлено в 1908г **Дж. Э. Хейл** (1868-1938, США).

Фотосфера - факелы

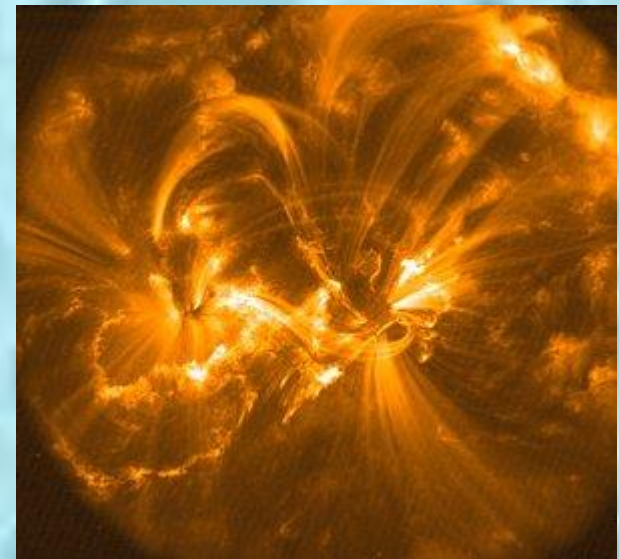


3) Фотосферные **факелы** более светлые образования (более горячие, \approx на 300 К выше), связанные с выносом более горячего вещества за счет усиления конвекции в подфотосферных слоях. Факел - долгоживущее образование, он часто не исчезает в течение целого года, а группа пятен на его фоне "живёт" около месяца.

Ширина цепочек равна диаметру образующих её ярких элементов (групп гранул) и составляет ок. 5000 км, длина достигает 50 000 км. Размер факельных гранул лишь ненамного превышает размер обычных гранул. Суммарная площадь цепочек - волокон факела - \approx в 4 раза больше площади пятна.

Менее яркие факелы встречаются и независимо от пятен. Волокна факелов отчётливо видны лишь около края диска Солнца (но не на самом краю), где превышение их яркости над фоном достигает 10-20%.

Самое большое пятно - Активный регион 904, появилось в видимой области 9 августа 2006 года. Умеренная вспышка и последовавший выброс вещества короны произошёл 17 августа 2006 года, когда пятно было повернуто почти напрямую к Земле. Снимок активной области был получен при помощи КА TRACE.



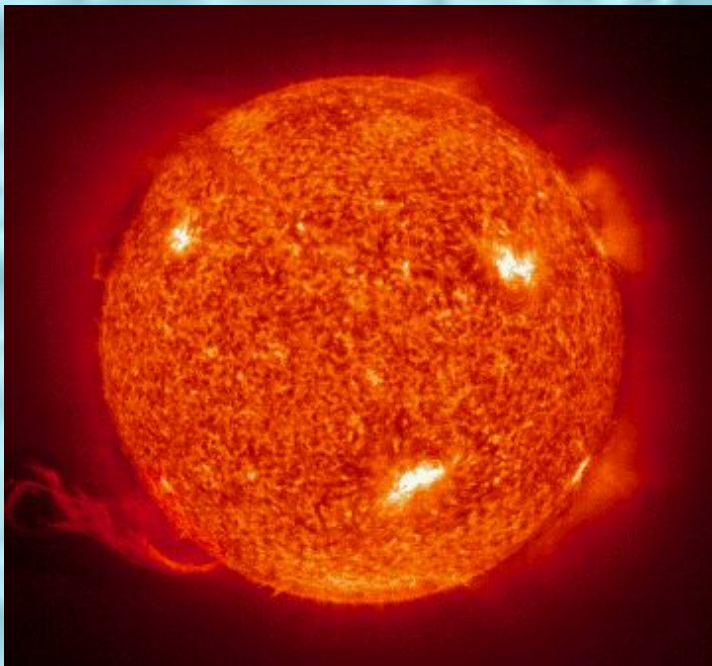
Хромосфера - факелы



Хромосфера = (греч. "сфера цвета") красновато-фиолетовая окраска (видна только при полных затмениях, или при помощи специальных приборов). Состоит из трех слоев: нижний - до 1500 км, $T \approx 5000\text{K}$; средний 1500-4000 км, $T \approx 6000-15000\text{K}$; верхний 4000-10000 км $T \approx 20000-50000\text{K}$. По мере подъема T -растет. Яркость хромосферы не одинакова.

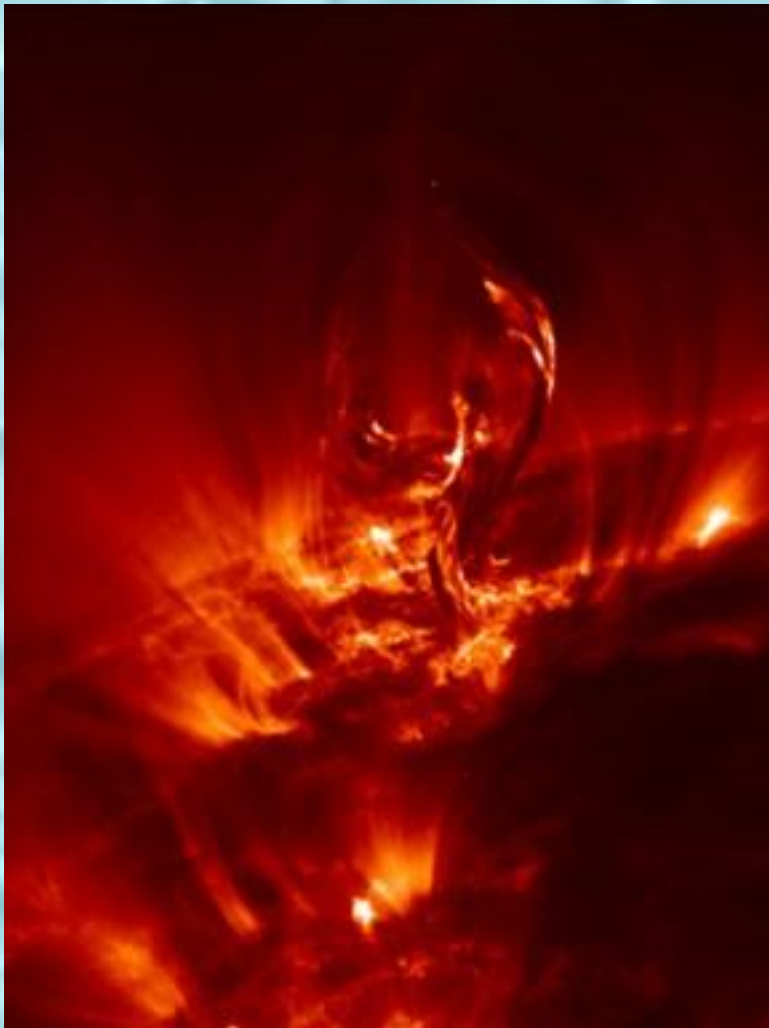
а) Факелы (хромосферные)-наиболее яркие участки расположены над фотосферными нитями и факелами.

б) Вспышки мощные и быстроразвивающиеся (слабые исчезают через 5-10 мин, а самые мощные до нескольких часов) происходят в результате быстрой перестройка ("перезапускание") магнитных полей. Небольшие вспышки происходят по несколько раз в сутки, мощные значительно реже и как правило вблизи пятен. Это внезапное выделение энергии в широком диапазоне длин волн - от жесткого γ -излучения до километровых радиоволн и выброс электрически заряженных частиц.



в) Спиккулы - наблюдаются на краю хромосферы в виде язычков пламени, диаметры ~ 1000 км, скорости подъема (опускания) ≈ 20 км/с, время жизни - 5-10 мин., поднимаются из нижней хромосферы на 5000-10000 км.

Хромосфера - протуберанцы



Протуберанцы - гигантские яркие вспышки и арки, опирающиеся на хромосферу и врывающиеся в солнечную корону - это выброс вещества (плазмы), наблюдаемые в виде: арок, облаков, фонтанов. Наиболее распространены "спокойные" протуберанцы, появляющиеся обычно с развитием группы пятен, а существуют они значительно дольше пятен - до 1 года. Другой вид протуберанцев связан с выбросами вещества вверх (обычно после вспышек) со скоростями $\sim 100-1000$ км/с (быстрые - эруптивные протуберанцы).

Активная область Солнца.
Высота протуберанца около
10 000км.

«Спокойный» протуберанец. Это потоки газа, втекающего из короны в зону пятен со скоростями до 100 км/с.



Протуберанцы

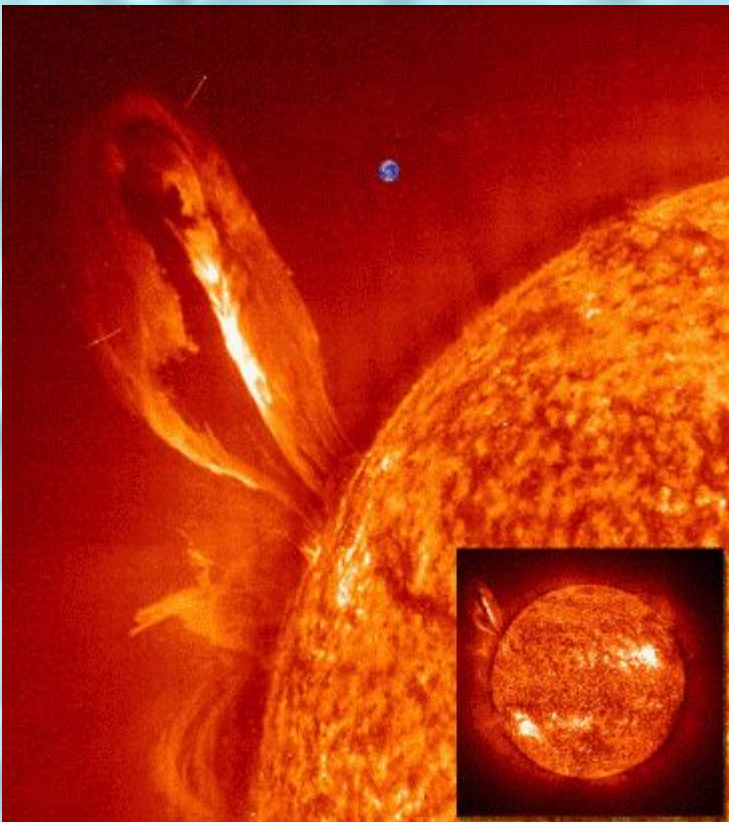
Размеры протуберанцев могут быть разными, обычно они имеют высоту до 40 000км и ширину до 200 000км. Дугообразные протуберанцы достигают размера в 800 000км, но есть и рекордсмены когда размер достигает 3 млн.км.



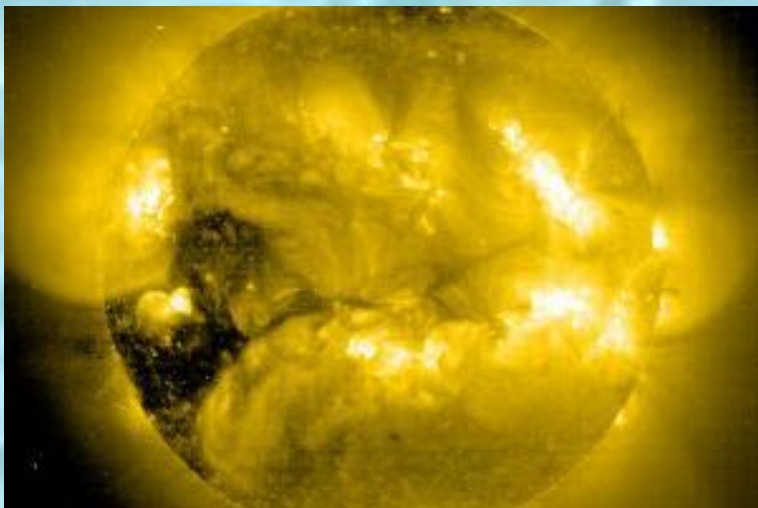
Хотя выделить какой-то отдельный протуберанец и назвать его самым большим не удастся, имеется множество удивительных примеров.

Например, на изображении, принятом со "Skylab" в 1974г, был виден петлеобразный покоящийся протуберанец, который протянулся над поверхностью Солнца больше чем на полмиллиона километров.

6 января 1997г зафиксирован "протуберанец" диаметром >40 млн.км, что привело к увеличению солнечного ветра с 350 до 430 км/с у Земли.



Корона



Темные области - это корональные дыры. Они располагаются над поверхностью, где силовые линии солнечного магнитного поля уходят в межпланетное пространство и наблюдаются в ультрафиолетовом и рентгеновском свете. Они являются источниками интенсивного солнечного ветра,



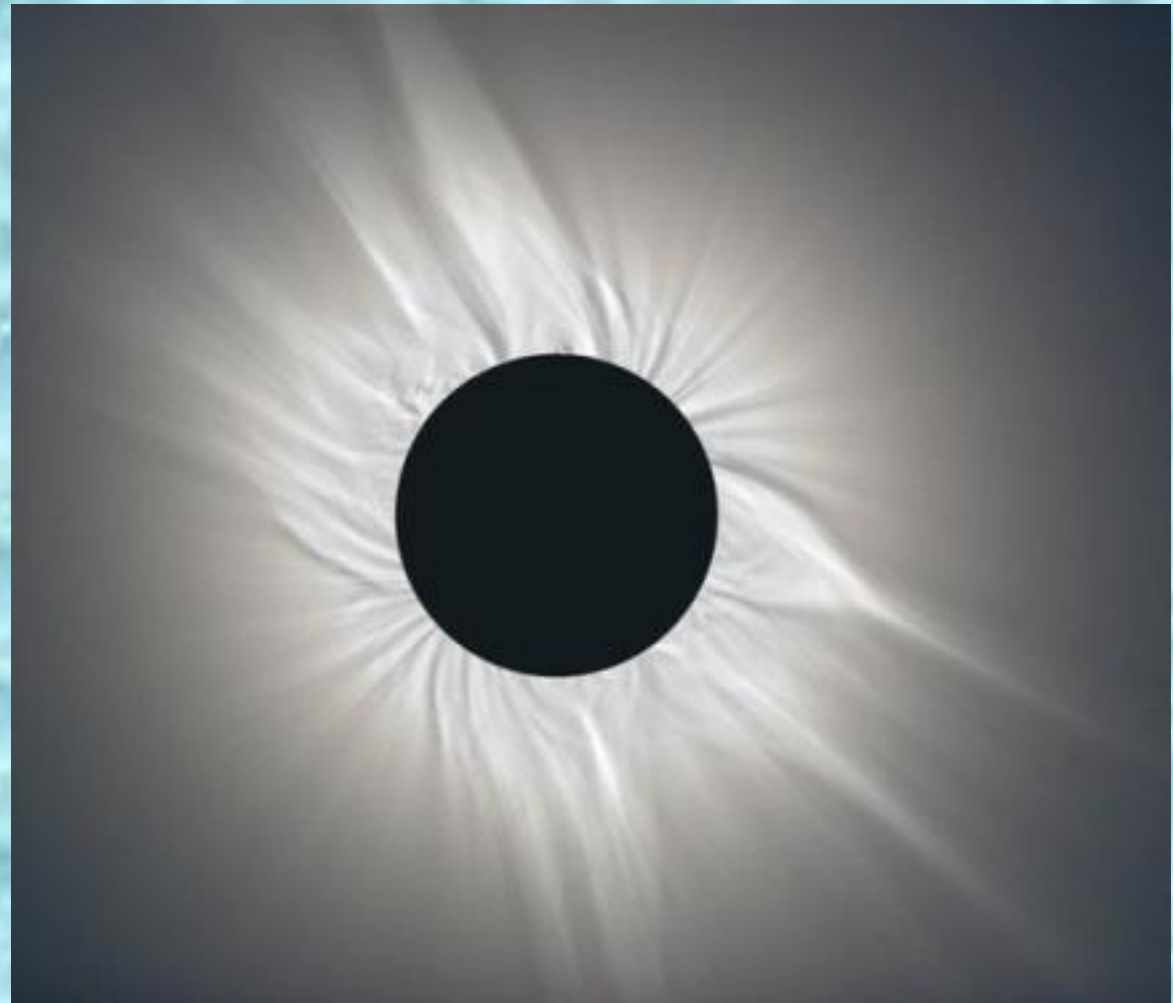
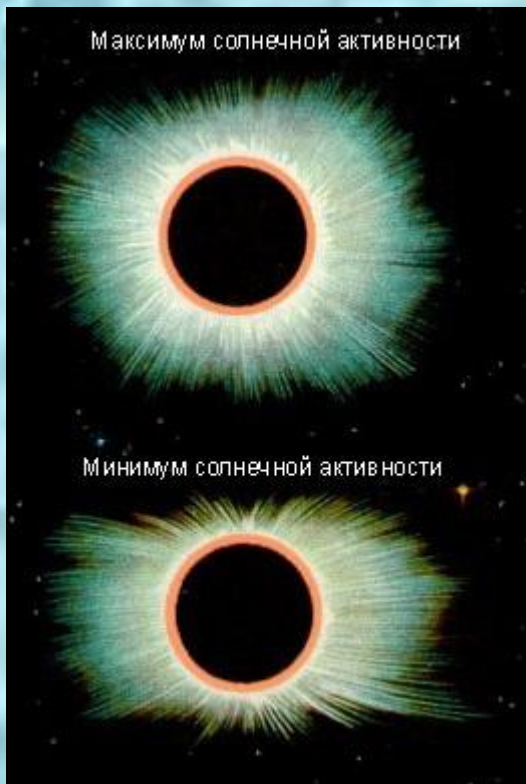
Солнечная корона - протяженность от $1R$ - $8-10 R$ Солнца. Наблюдается во время затмений (или с помощью коронографа) серебристо-жемчужного цвета с $T \geq 1$ млн. К, чрезвычайно разреженный газ. Структура короны довольно устойчива, существенные изменения происходят за годы.

На снимке КА TRACE (запущен 2.04.1998г) в ультрафиолетовых лучах показаны сгущения горячих корональных петель, которые простираются ввысь на $350\,000$ км и более. Значительный нагрев короны происходит в нижних ее слоях, у основания петель, где плазма начинает подниматься и возвращается на поверхность Солнца.

Корона

Вид корональных лучей заметно меняется в зависимости от солнечной активности.

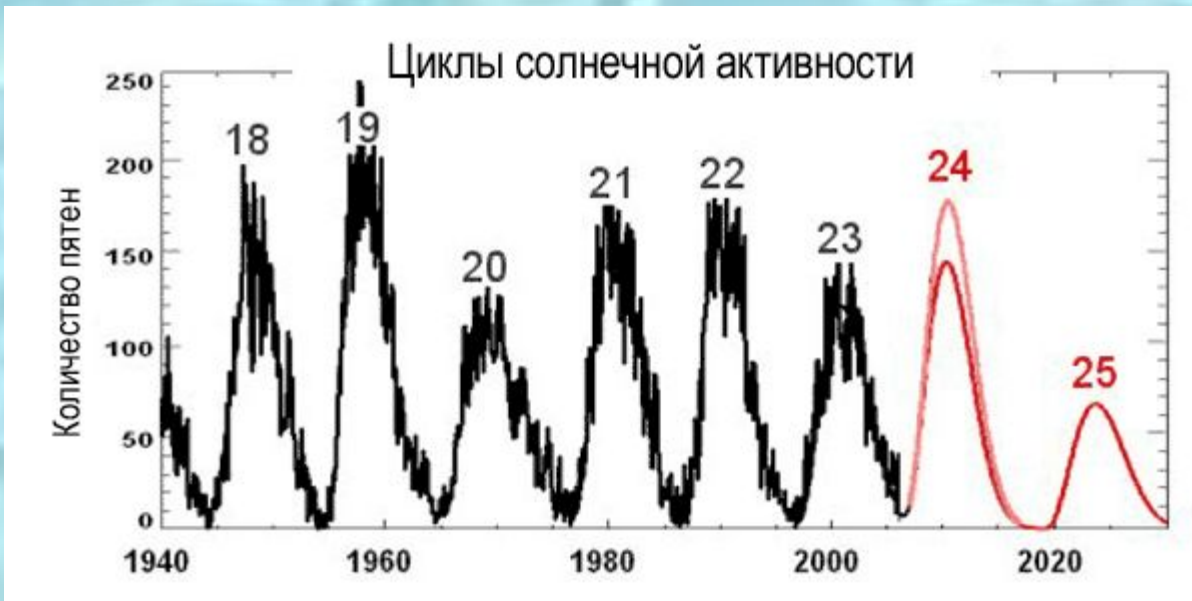
Корона во время солнечного затмения 29.03.2006 года. Фото сделано с помощью телескопа в Сиде, Турция.



Корона во время затмения 19.06.1999 года



Солнечная активность



Солнечная активность – периодический комплекс нестационарных образований в атмосфере Солнца (петли, факелы, протуберанцы и т.д.).

Связующее звено между различными ярусами центров активности – магнитное поле. Период (средний) – 11,1 лет (4 года подъема – 7 лет - затухание).

Последние циклы активности и предполагаемые 24 и 25 цикл.

$$W = f + 10g.$$



Спокойное Солнце

Рудольф Вольф (1816-1893, Швейцария) в 1852г установил 11-летний цикл появления пятен. 4 года происходит подъем, а 7 лет затухание - цикл **11,1 лет**, и ввел число Вольфа $W=(10g+f) \cdot k$ характеризующую активность пятнообразований. **f** – число пятен, **g** – число групп.



Активное Солнце

К 1997г установлено, что на Солнце одновременно происходит до 30 тысяч различных взрывных событий. Их средняя продолжительность ≈ 1 мин, протяженность 1500 км, скорость выброса вещества до 1500 км/с.