

# Солнце

Урок для 11 класса  
Учитель Тарасенко Е.А.





- Основные характеристики
- Среднее расстояние
- от Земли  $149,6 \times 10^6$  км (8,31 световых минут)
- Видимая звёздная величина (V) – 26,74 m
- Абсолютная звёздная величина 4,83 m
- Спектральный класс G2V

# Земля и Солнце

## Фотомонтаж с сохранением размеров



## • Параметры орбиты

- Расстояние от центра Галактики  $\sim 2,5 \times 10^{20}$  м (26 000 св. лет)
- Расстояние от плоскости Галактики  $\sim 4,6 \times 10^{17}$  м (48 св. лет)
- Галактический период обращения  $2,25-2,50 \times 10^8$  лет
- Скорость  $\sim 2,2 \times 10^5$  м/с
- на орбите вокруг центра Галактики 19,4 км/с

## Физические характеристики

- Средний диаметр  $1,392 \times 10^9$  м
- (109 диаметров Земли)
- Экваториальный радиус  $6,9551 \times 10^8$  м
- Длина окружности экватора  $4,37001 \times 10^9$  м
- Площадь поверхности  $6,07877 \times 10^{18}$  м<sup>2</sup>
- (11 917,607 площадей Земли)
- Объём  $1,40927 \times 10^{27}$  м<sup>3</sup>
- (1 301 018,805 объёмов Земли)
- Масса  $1,9891 \times 10^{30}$  кг
- (332 982 масс Земли)
- Средняя плотность  $1409$  кг/м<sup>3</sup>

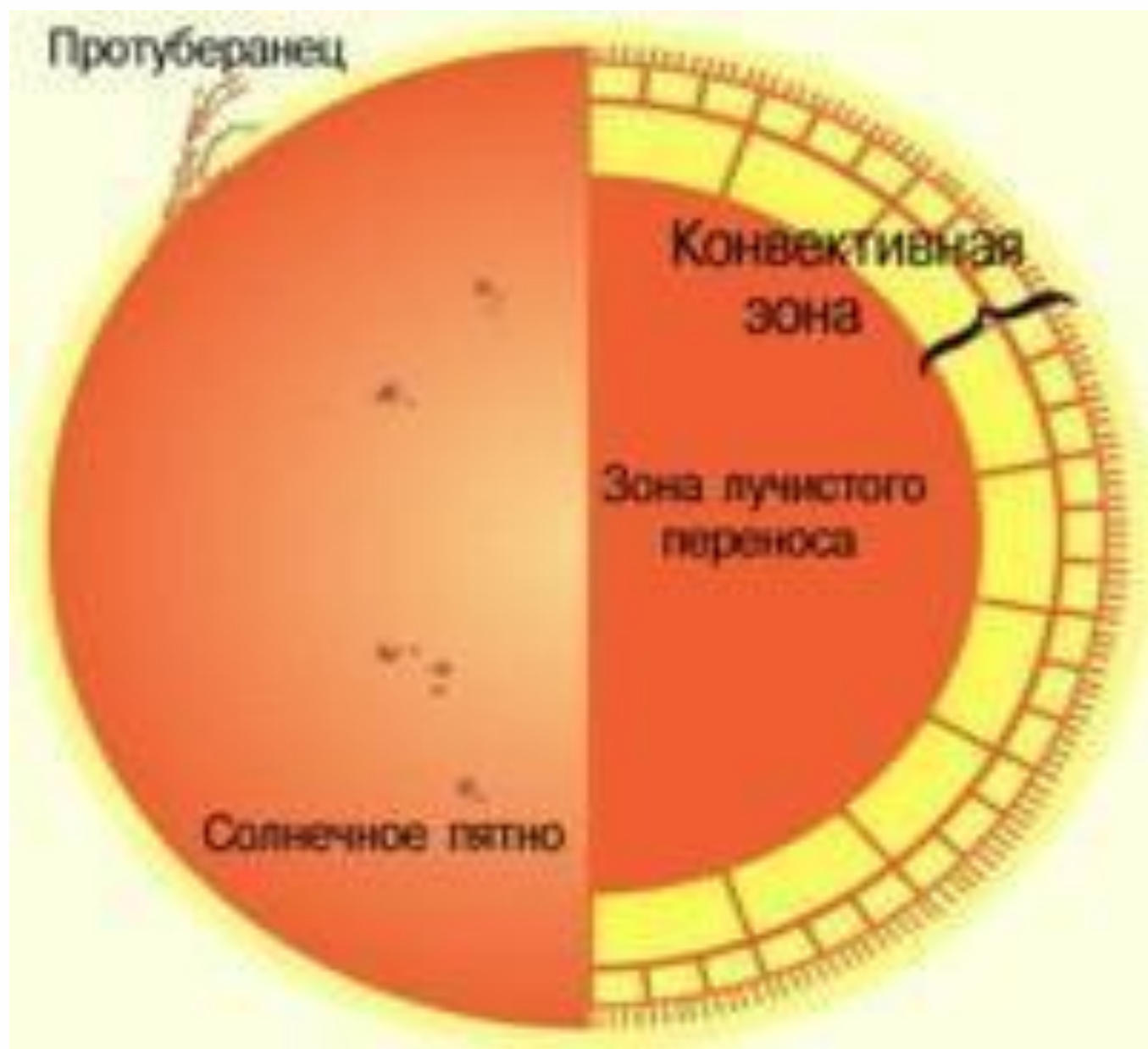
- Ускорение силы тяжести на экваторе  $274,0 \text{ м/с}^2$  (27,96 g)
- Вторая космическая скорость
- (для поверхности)  $617,7 \text{ км/с}$  (55,2 земных)
- Эффективная температура поверхности  $5778 \text{ К}$
- Температура короны  $\sim 1\,500\,000 \text{ К}$
- Температура ядра  $\sim 13\,500\,000 \text{ К}$
- Светимость  $3,846 \times 10^{26} \text{ Вт}$  ( $\sim 3,75 \times 10^{28} \text{ Лм}$ )
- Яркость  $2,009 \times 10^7 \text{ Вт/м}^2/\text{ср}$



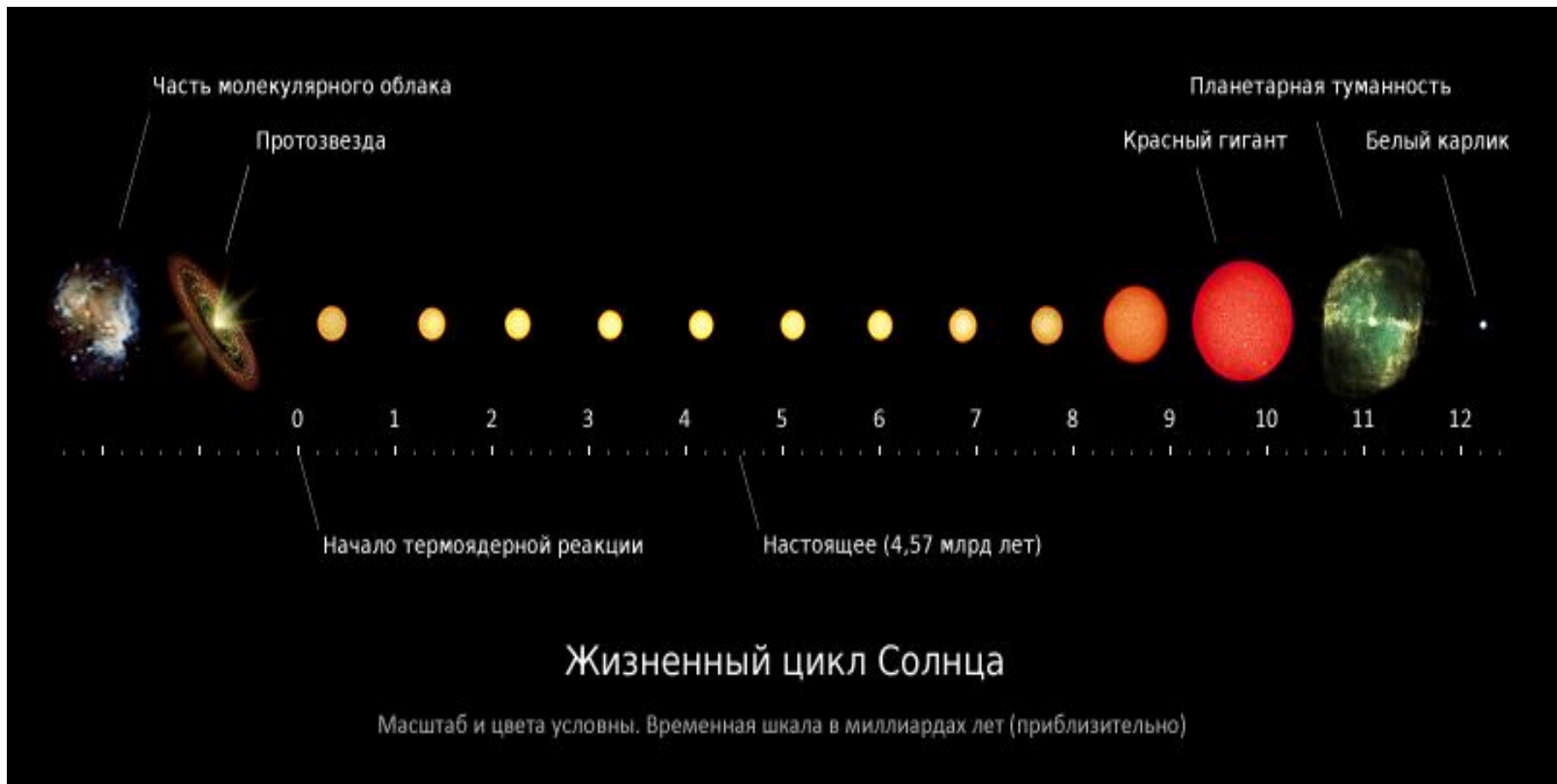
- Характеристики вращения Наклон оси  $7,25^\circ$
- (относительно плоскости эклиптики)  $67,23^\circ$
- (относительно плоскости Галактики)
- Прямое восхождение
- северного полюса  $286,13^\circ$  (19 ч 4 мин 30 с)
- Склонение северного полюса  $+63,87^\circ$ [4]
- Сидерический период вращения внешних видимых слоёв
- (на широте  $16^\circ$ )  $25,38$  дней (25 дней 9 ч 7 мин 13 с)
- (на экваторе)  $25,05$  дней
- (у полюсов)  $34,3$  дней
- Скорость вращения внешних видимых слоёв
- (на экваторе)  $7284$  км/ч

# Состав фотосферы

- Водород 73,46 %      Гелий 24,85 %
- Кислород 0,77 %      Углерод 0,29 %
- Железо 0,16 %      Сера 0,12 %
- Неон 0,12 %      Азот 0,09 %
- Кремний 0,07 %      Магний 0,05 %



Солнце является молодой звездой третьего поколения (популяции I) с высоким содержанием металлов, то есть оно образовалось из останков звёзд первого и второго поколений (соответственно популяций III и II). Текущий возраст Солнца (точнее — время его существования на главной последовательности), оценённый с помощью компьютерных моделей звёздной эволюции, равен приблизительно 4,57 млрд лет



- Солнце принадлежит к первому типу звёздного населения. Одна из распространённых теорий возникновения Солнечной системы предполагает, что её формирование было вызвано взрывами одной или нескольких сверхновых звёзд. Это предположение основано, в частности, на том, что в веществе Солнечной системы содержится аномально большая доля золота и урана, которые могли бы быть результатом эндотермических реакций, вызванных этим взрывом, или ядерного превращения элементов путём поглощения нейтронов веществом массивной звезды второго поколения.

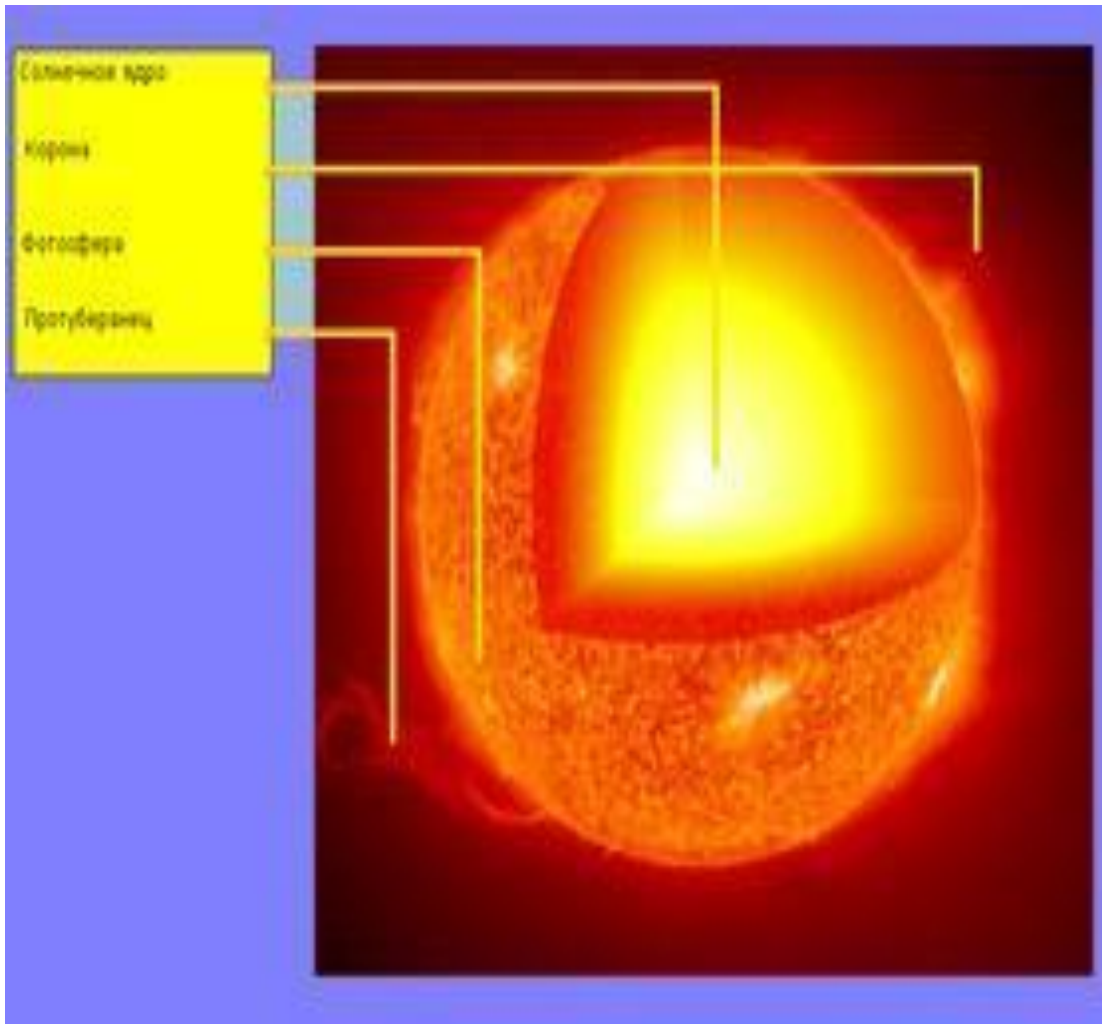
# Внутреннее строение Солнца

- Центральная часть Солнца с радиусом примерно 150—175 тыс. км (то есть 20—25 % от радиуса Солнца), в которой идут термоядерные реакции, называется солнечным ядром. Плотность вещества в ядре составляет примерно  $150\,000\text{ кг/м}^3$  (в 150 раз выше плотности воды и в  $\sim 6,6$  раз выше плотности самого плотного металла на Земле — осмия), а температура в центре ядра — более 14 млн К.
- Анализ данных, проведённый миссией SOHO, показал, что в ядре скорость вращения Солнца вокруг своей оси значительно выше, чем на поверхности. В ядре осуществляется протон-протонная термоядерная реакция, в результате которой из четырёх протонов образуется гелий-4. При этом каждую секунду в излучение превращаются 4,26 млн тонн вещества, однако эта величина ничтожна по

- сравнению с массой Солнца —  $2 \times 10^{27}$  тонн. Мощность, выделяемая различными зонами ядра, зависит от их расстояния до центра Солнца. В самом центре она достигает, согласно теоретическим оценкам,  $276,5 \text{ Вт/м}^3$ . Таким образом, на объём человека ( $0,05 \text{ м}^3$ ) приходится выделение тепла  $285 \text{ Ккал/день}$  ( $1192 \text{ кДж/день}$ ), что на порядок меньше удельного тепловыделения живого бодрствующего человека. Удельное же тепловыделение всего объёма Солнца ещё на два порядка меньше. Благодаря столь скромному удельному энерговыделению, запасов «топлива» (водорода) хватает на несколько миллиардов лет поддержания термоядерной реакции.
- Ядро — единственное место на Солнце, в котором энергия и тепло получается от термоядерной реакции, остальная часть звезды нагрета этой энергией. Вся энергия ядра последовательно проходит сквозь слои, вплоть до фотосферы, с которой излучается в виде солнечного света и кинетической энергии,

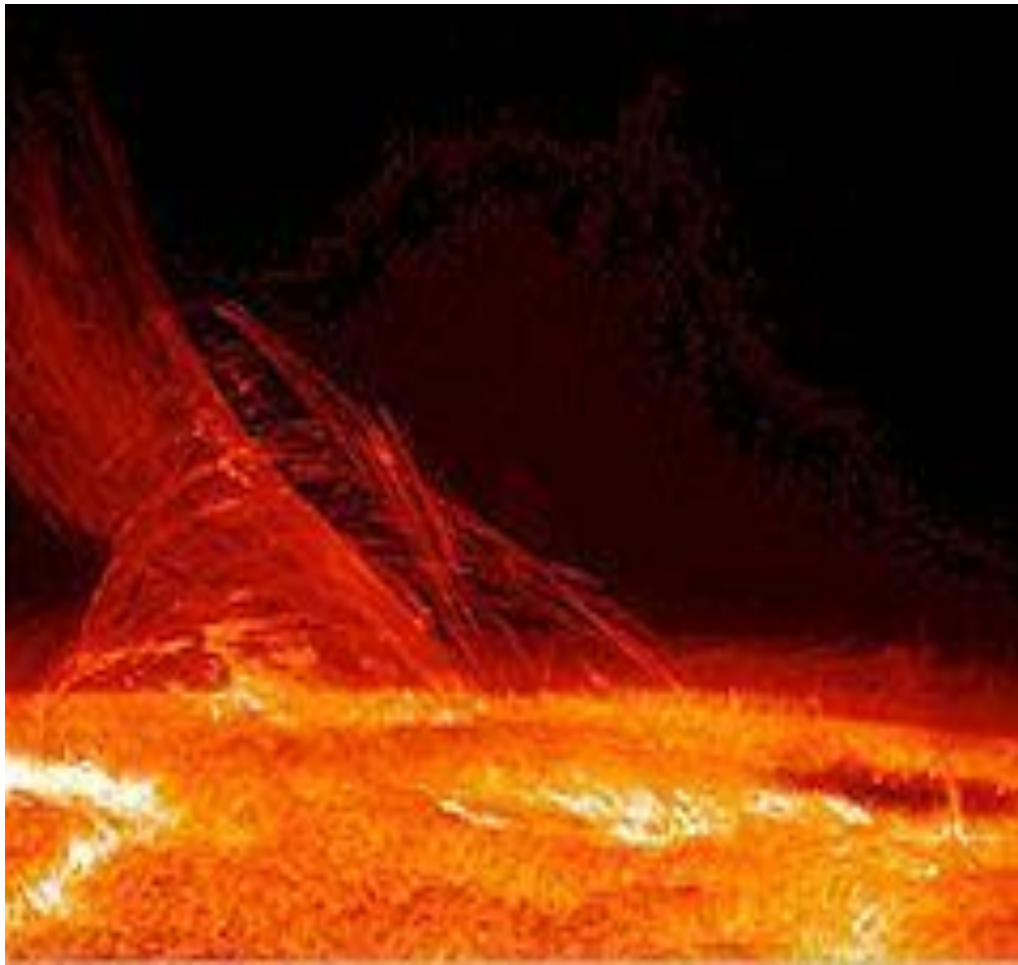
- проходящей через площадку единичной площади, перпендикулярную солнечным лучам. На расстоянии в одну астрономическую единицу (то есть на орбите Земли) эта постоянная равна приблизительно  $1370 \text{ Вт/м}^2$ .
- Проходя сквозь атмосферу Земли, солнечное излучение теряет в энергии примерно  $370 \text{ Вт/м}^2$ , и до земной поверхности доходит только  $1000 \text{ Вт/м}^2$  (при ясной погоде и когда Солнце находится в зените). Эта энергия может использоваться в различных естественных и искусственных процессах. Так, растения с помощью фотосинтеза перерабатывают её в химическую форму (кислород и органические соединения). Прямое нагревание солнечными лучами или преобразование энергии с помощью фотоэлементов может быть использовано для производства электроэнергии (солнечными электростанциями) или выполнения другой полезной работы. Путём фотосинтеза была в далёком прошлом получена и энергия, запасённая в нефти и других видах ископаемого топлива.





В центре Солнца находится солнечное ядро. Фотосфера — это видимая поверхность Солнца, которая и является основным источником излучения. Солнце окружает солнечная корона, которая имеет очень высокую температуру, однако она крайне разрежена, поэтому видима невооружённым глазом только в периоды полного солнечного затмения.

- Фотосфера (слой, излучающий свет) образует видимую поверхность Солнца. Её толщина соответствует оптической толщине приблизительно в  $2/3$  единиц[31]. В абсолютных величинах, фотосфера достигает толщины по разным оценкам от 100[32] до 400 км[1]. Из фотосферы исходит основная часть оптического (видимого) излучения Солнца, излучение же из более глубоких слоёв до неё уже не доходит. Температура по мере приближения к внешнему краю фотосферы уменьшается с 6600 К до 4400 К[1]. Эффективная температура фотосферы в целом составляет 5778 К[1]. Она может быть рассчитана по закону Стефана — Больцмана, по которому мощность излучения абсолютно чёрного тела прямо пропорциональна четвёртой степени температуры тела. Водород при таких условиях сохраняется почти полностью в нейтральном состоянии. Фотосфера образует видимую поверхность Солнца, от которой определяются размеры Солнца, расстояние от поверхности Солнца и т. д. Так как газ в фотосфере является относительно разреженным, то скорость его вращения много меньше скорости вращения твёрдых тел[32]. При этом газ в экваториальной и полярных областях, движется неравномерно — на экваторе он делает оборот за 24 дня, на полюсах — за 30 дн



Изображение  
поверхности и  
короны Солнца,  
полученное  
Солнечным  
оптическим  
телескопом (SOT) на  
борту спутника  
Hinode. Получено 12  
января 2007 года.

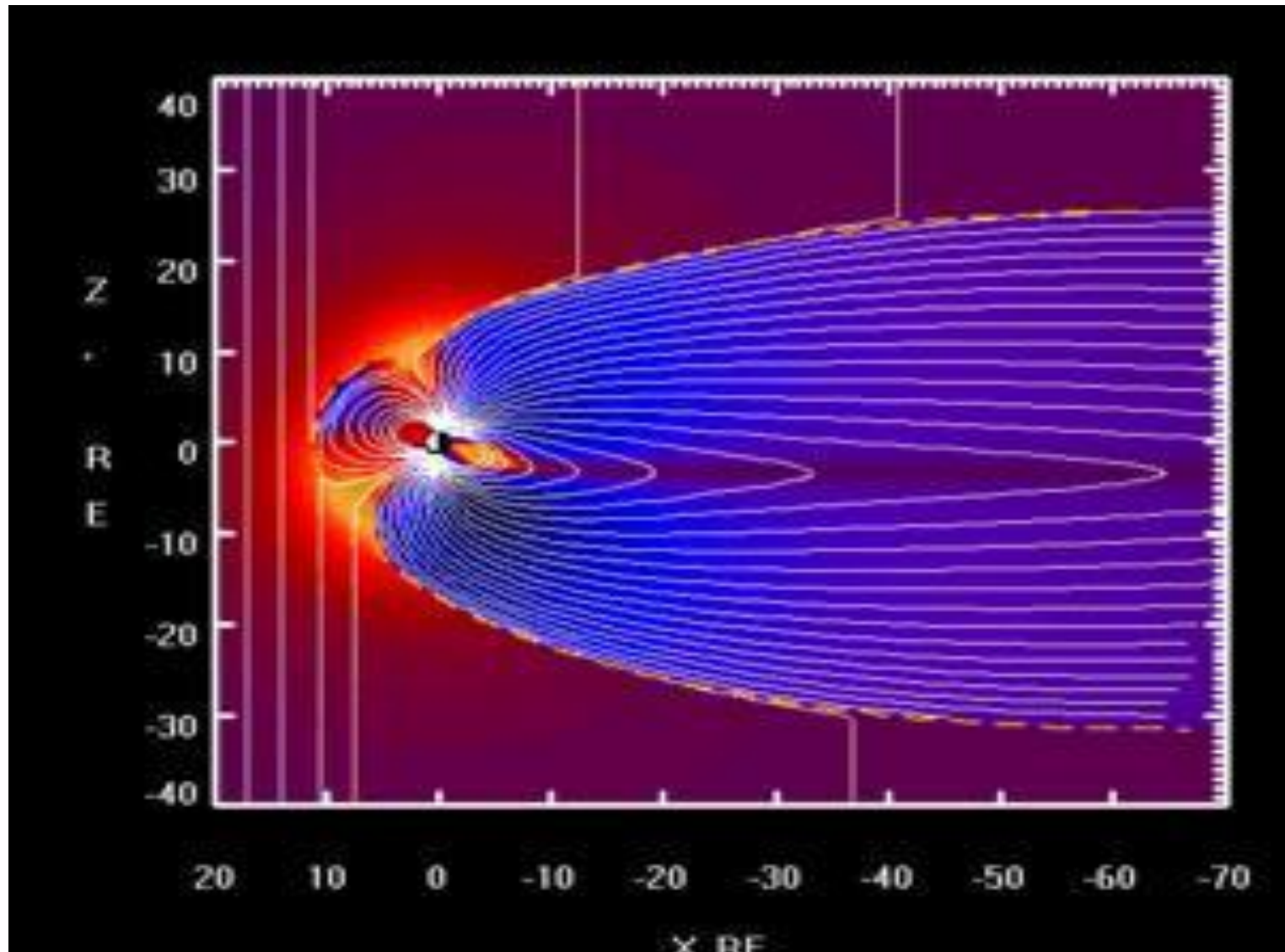
- Хромосфера (от др.-греч. χρομα — цвет, σφαίρα — шар, сфера) — внешняя оболочка Солнца толщиной около 2000 км, окружающая фотосферу). Происхождение названия этой части солнечной атмосферы связано с её красноватым цветом, вызванным тем, что в её видимом спектре доминирует красная H-альфа линия излучения водорода из серии Бальмера. Верхняя граница хромосферы не имеет выраженной гладкой поверхности, из неё постоянно происходят горячие выбросы, называемые спикулами. Число спикул, наблюдаемых одновременно, составляет в среднем 60—70 тыс. Из-за этого в конце XIX века итальянский астроном Секки, наблюдая хромосферу в телескоп, сравнил её с горящими прериями). Температура хромосферы увеличивается с высотой от 4000 до 20 000 К (область высоких температур, больше 10 000 К, относительно невелика

# Солнечная корона во время солнечного затмения 1999 года



- Корона — последняя внешняя оболочка Солнца. Корона в основном состоит из протуберанцев и энергетических извержений, исходящих и извергающихся на несколько сотен и даже более миллиона километров в пространство, образуя солнечный ветер. Средняя корональная температура составляет от 1 000 000 до 2 000 000 К, а максимальная, в отдельных участках, — от 8 000 000 до 20 000 000 К. Несмотря на такую высокую температуру, она видна невооружённым глазом только во время полного солнечного затмения, так как плотность вещества в короне мала, а потому невелика и её яркость. Форма короны меняется в зависимости от фазы цикла солнечной активности: в периоды максимальной активности она имеет округлую форму, а в минимуме — вытянута вдоль солнечного экватора. Поскольку температура короны очень велика, она интенсивно излучает в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах. Эти излучения не проходят сквозь земную атмосферу, но в последнее время появилась возможность изучать их с помощью космических аппаратов. Излучение в разных областях короны происходит неравномерно. Существуют горячие активные и спокойные области, а также корональные дыры с относительно невысокой температурой в 600 000 К, из которых в пространство выходят магнитные силовые линии. Такая («открытая») магнитная конфигурация позволяет частицам беспрепятственно покидать Солнце, поэтому солнечный ветер испускается в основном из корональных дыр.

# Искажение магнитного поля Земли под действием солнечного ветра

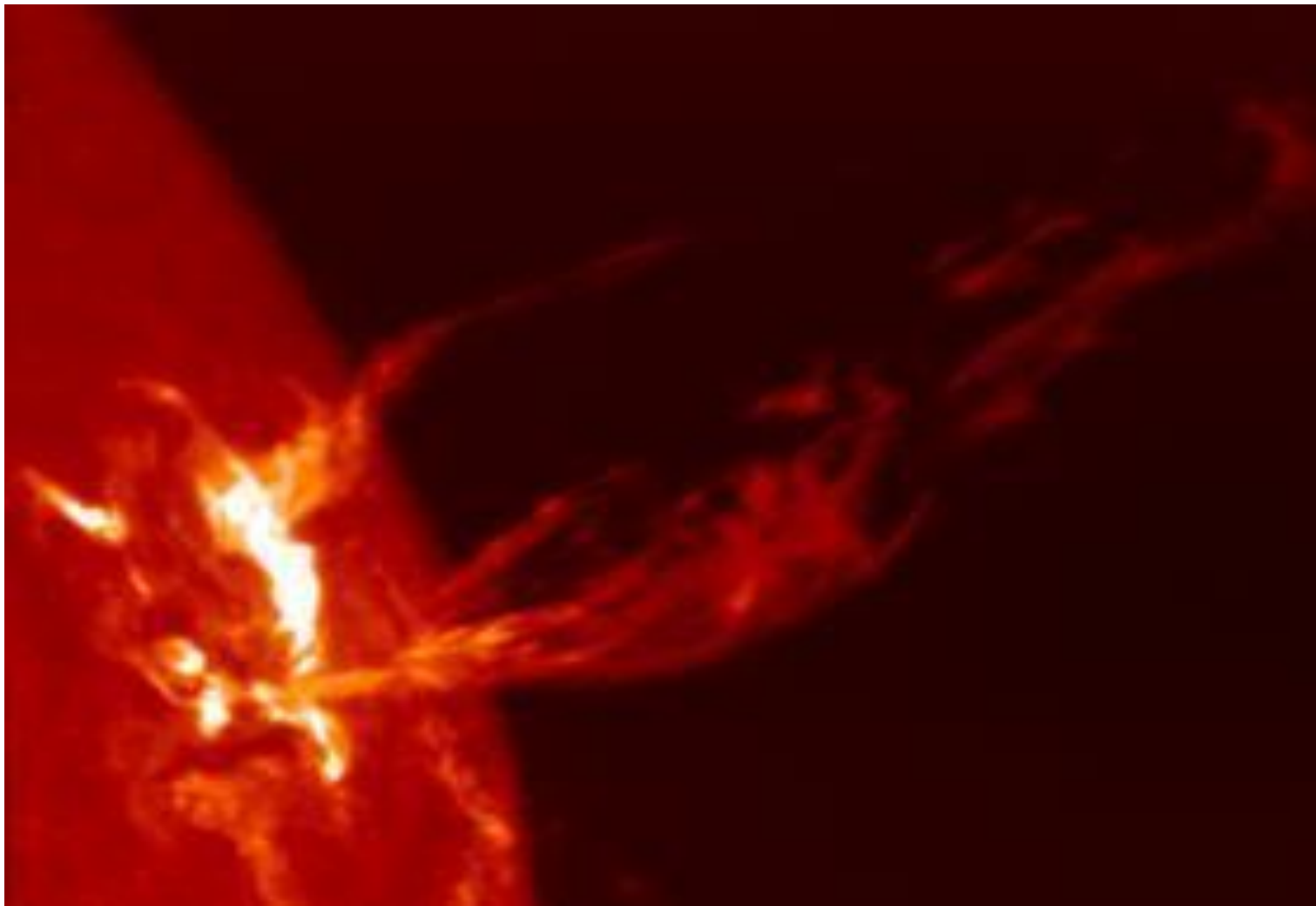


# Солнечный ветер

- Из внешней части солнечной короны истекает солнечный ветер — поток ионизированных частиц (в основном протонов, электронов и  $\alpha$ -частиц), распространяющийся с постепенным уменьшением своей плотности, до границ гелиосферы. Солнечный ветер разделяют на два компонента — медленный солнечный ветер и быстрый солнечный ветер.
- Медленный солнечный ветер имеет скорость около 400 км/с и температуру  $1,4—1,6 \times 10^6$  К и по составу близко соответствует короне. Быстрый солнечный ветер имеет скорость около 750 км/с, температуру  $8 \times 10^5$  К, и по составу похож на вещество фотосферы [39]. Медленный солнечный ветер вдвое более плотный и менее постоянный, чем быстрый. Медленный солнечный ветер имеет более сложную структуру с регионами турбулентности



Корональные выбросы массы на Солнце. Струи плазмы вытянуты  
вдоль арок магнитного поля



- Крупномасштабное (общее или глобальное) магнитное поле с характерными размерами, сравнимыми с размерами Солнца, имеет среднюю напряжённость на уровне фотосферы порядка нескольких гаусс. В минимуме цикла солнечной активности оно имеет приблизительно дипольную структуру, при этом напряжённость поля на полюсах Солнца максимальна. Затем, по мере приближения к максимуму цикла солнечной активности, напряжённости поля на полюсах постепенно уменьшаются и через один-два года после

- максимума цикла становятся равными нулю (так называемая «переполюсовка солнечного магнитного поля»). На этой фазе общее магнитное поле Солнца не исчезает полностью, но его структура носит не дипольный, а квадрупольный характер. После этого напряжённость солнечного диполя снова возрастает, но при этом он имеет уже другую полярность. Таким образом, полный цикл изменения общего магнитного поля Солнца, с учётом перемены знака, равен удвоенной продолжительности 11-летнего цикла солнечной активности — примерно 22 года («закон Хейла»).

- Средне- и мелкомасштабные (локальные) поля Солнца отличаются значительно большими напряжённостями полей и меньшей регулярностью. Самые мощные магнитные поля (до нескольких тысяч гаусс) наблюдаются в группах солнечных пятен в максимуме солнечного цикла. При этом типична ситуация, когда магнитное поле пятен в западной («головной») части данной группы, в том числе самого крупного пятна (т. н. «лидера группы») совпадает с полярностью общего магнитного поля на соответствующем полюсе Солнца («p-полярностью»), а в восточной («хвостовой») части — противоположна ему («f-полярность»). Таким образом, магнитные поля пятен имеют, как правило, биполярную или мультиполярную структуру. В фотосфере также наблюдаются униполярные области магнитного поля, которые, в отличие от групп солнечных пятен, располагаются ближе к полюсам и имеют значительно меньшую напряжённость магнитного поля (несколько гаусс), но большую площадь и продолжительность жизни (до нескольких оборотов Солнца).
- Согласно современным представлениям, разделяемым большей частью исследователей, магнитное поле Солнца генерируется в нижней части конвективной зоны с помощью механизма гидромагнитного конвективного динамо, а затем всплывает в фотосферу под воздействием магнитной плавучести. Этим же механизмом объясняется 22-летняя цикличность солнечного магнитного поля.
- Существуют также некоторые указания на наличие первичного (то есть возникшего вместе с Солнцем) или, по крайней мере, очень долгоживущего магнитного поля ниже дна конвективной зоны — в лучистой зоне и ядре Солнца

# Солнечная активность и солнечный цикл

- генерацию потоков ускоренных частиц, изменения в уровнях электромагнитного излучения Солнца в различных диапазонах, корональные выбросы массы, возмущения солнечного ветра, вариации потоков галактических космических лучей (Форбуш-эффект) и т. д.
- С солнечной активностью связаны также вариации геомагнитной активности (в том числе и магнитные бури), которые являются следствием достигающих Земли возмущений межпланетной среды, вызванных, в свою очередь, активными явлениями на Солнце.
- Одним из наиболее распространённых показателей уровня солнечной активности является число Вольфа, связанное с количеством солнечных пятен на видимой полусфере Солнца. Общий уровень солнечной активности меняется с характерным периодом, примерно равным 11 годам (так называемый «цикл солнечной активности» или «одиннадцатилетний цикл»). Этот период выдерживается неточно и в XX веке был ближе к 10 годам, а за последние 300 лет варьировался примерно от 7 до 17 лет. Циклам солнечной активности принято приписывать последовательные номера, начиная от условно выбранного первого цикла, максимум которого был в 1761 году. В 2000 году наблюдался максимум 23-го цикла солнечной активности.

- Существуют также вариации солнечной активности большей длительности. Так, во второй половине XVII века солнечная активность и, в частности, её одиннадцатилетний цикл были сильно ослаблены (минимум Маундера). В эту же эпоху в Европе отмечалось снижение среднегодовых температур (т. н. Малый ледниковый период), что, возможно, вызвано воздействием солнечной активности на климат Земли. Существует также точка зрения, что глобальное потепление до некоторой степени вызвано повышением глобального уровня солнечной активности во второй половине XX века. Тем не менее, механизмы такого воздействия пока ещё недостаточно ясны.
- Самая большая группа солнечных пятен за всю историю наблюдений возникла в апреле 1947 года в южном полушарии Солнца. Её максимальная длина составляла 300 000 км, максимальная ширина — 145 000 км, а максимальная площадь превышала 6000 миллионов долей площади полусферы (мдп) Солнца[48], что примерно в 36 раз больше площади поверхности Земли. Группа была легко видна невооружённым глазом в предзакатные часы. Согласно каталогу Пулковской обсерватории, эта группа (№ 87 за 1947 год) проходила по видимой с Земли полусфере Солнца с 31 марта по 14 апреля 1947 года, максимальная её площадь составила 6761 мдп, а максимальная площадь наибольшего пятна в группе — 5055 мдп; количество пятен в группе достигало 172

# Солнце как переменная звезда

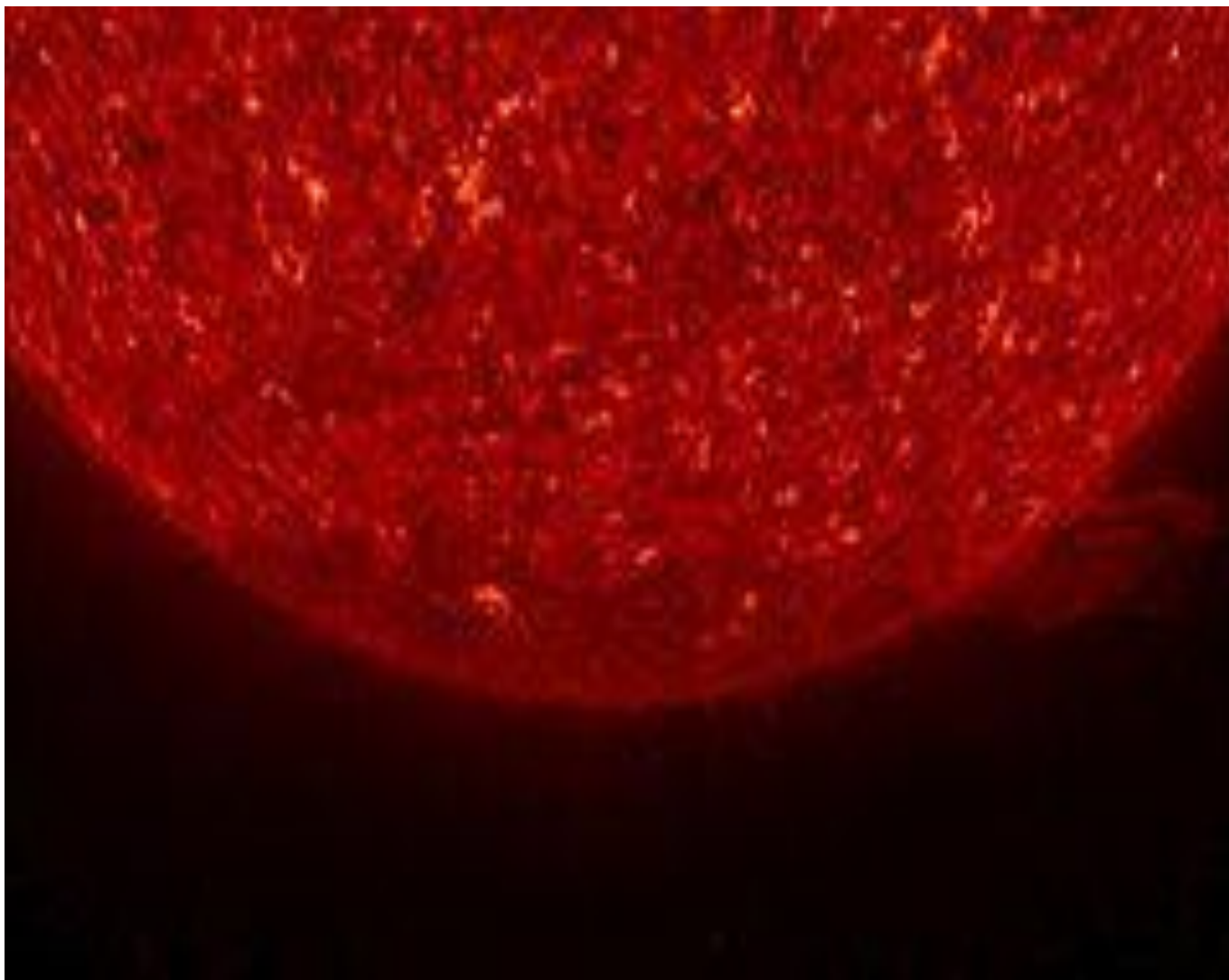
- Так как магнитная активность Солнца подвержена периодическим изменениям, а вместе с этим изменяется и его светимость (см. Солнечный цикл), его можно рассматривать как переменную звезду. Некоторые исследователи относят Солнце к классу низкоактивных переменных звёзд типа VY Дракона. Данный тип переменных звёзд в молодости имеет значительный процент покрытия пятнами (до 30 % от общей площади поверхности звезды). На основе последних исследований было выявлено также периодическое изменение Солнечной постоянной: с амплитудой 0,1 % (в абсолютных значениях это  $1 \text{ Вт/м}^2$ , при среднем значении  $1361,5 \text{ Вт/м}^2$ ). В годы максимума солнечной активности Солнечная постоянная выше, чем в годы минимума

# Солнце в рентгеновских лучах





# Изображение южного полюса Солнца



# Двойники Солнца

- Бета Гончих Псов
- 18 Скорпиона
- 37 Близнецов
- HD 44594 = HIP 30104
- HD 101364 = HIP 56948

- Задание
  - § 30 з. 18 (все)
- Написать реферат про любой объект Солнечной системы
  - Всем спасибо, все свободны!!!