# Солнце. Основные характеристики

Солнце относится к классу небольших звезд, достаточно далеко проэволюционировавших в своем развитии. Возникло оно около 5 млрд. лет назад и в настоящее время имеет массу ~2,1033 г, радиус - 696000 км, среднюю плотность вещества 1,41 г/см3 , ускорение силы тяжести на поверхности - 274 м/с2 .

Видимый бело-желтый диск Солнца - это его фотосфера, представляющая горячую плазменную атмосферу звезды с температурой поверхности 6000 К (напомним, что К - термодинамическая температура Кельвина. Нормальная температура 0°С = 273 К. Величина -273,16 К называется абсолютным нулем температуры).

В Солнце сосредоточено более 99% всей массы Солнечной системы. Угловая скорость вращения Солнца, наблюдаемая по фотосфере, убывает по мере удаления от экватора. Период вращения на экваторе равен 25 сут, вблизи полюсов - 30 сут. Линейная скорость вращения на экваторе близка 2 км/с, т. е. много медленнее скорости вращения Земли и других планет, но оно происходит в том же направлении. Все это подтверждает предположение, что мы наблюдаем вращение плазменной атмосферы и что внутреннее твердое тело звезды может вращаться с иной скоростью. Напомним, что плазмой называется газ, значительная часть атомов которого находится в ионизированном состоянии.

Солнце является мощным источником тепловой, электромагнитной и гравитационной энергии. Эта энергия равномерно рассеивается в космическое пространство, и на долю Земли и планет приходится лишь малая ее часть. В оптическом диапазоне спектра Земля, например, получает 1,96 кал/см2·мин, или 1,37·103 Вт/м2. Эта величина называется солнечной постоянной. Она варьирует в зависимости от гелиоцентрического расстояния и сильно меняется от планеты к планете.

Полная светимость Солнца определяется из выражения:

L0=F0 4pa2=3,85·1026 Вт,                    (II.30)

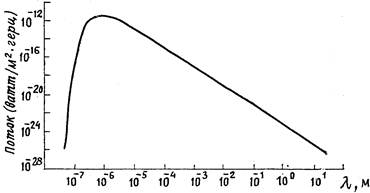
где a = 149,6·106 м, 4pа2 - площадь поверхности сферы радиусом в 1 а. е.

Каждый квадратный метр звезды излучает энергии в секунду

Е0 = L0/4pR02 = 6,3· 107 ВТ/м2,                         (II.31)

т. е. в 10 000 раз больше, чем получает вся Земля за одну минуту.

Спектр излучения Солнца лежит в широком диапазоне частот и длин волн (рис. II.5) - от радиоизлучения (метровые волны) до гамма-излучения (длина волны l менее 10-12 м). Как видно из рисунка, максимум энергии излучения приходится на оптическую и инфракрасную части спектра. Крайнюю левую часть спектра занимают волны жесткого ультрафиолетового и рентгеновского излучения, крайнюю правую - радиоизлучения.



Спектр излучения Солнца

Поскольку интенсивность излучения зависит только от изменения температуры с глубиной, то по наблюдениям интенсивности выходящего от звезды излучения можно составить представление о температуре в ее недрах. Максимальная температура Солнца 6150 К наблюдается в зеленой части спектра (l = 5000 А). Напомним, что 1 Ангстрем = 10-10 м. В красном (l = 6400-7600 А) и фиолетовом (l = 3900-4500 А) частях спектра температура близка 5800 К. В ультрафиолетовом диапазоне (l = 1000 А) температура уменьшается до 4500 К, а в радиодиапазоне на l = 1 м возрастает до 106 К.

Столь различные температуры не могут исходить только из одной фотосферы, ибо физические условия на ней довольно однородны. В целом на долю светового излучения Солнца приходится 81% энергии, на долю теплового - около 18%, а на долю ультрафиолетового - менее 1%. Чтобы лучше понять природу такого распределения энергии излучения, которое, как мы увидим, играет огромную роль в жизни Земли, рассмотрим основные черты строения внешних оболочек Солнца.

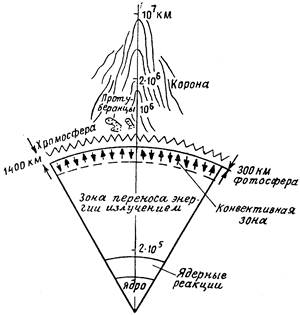


Рис. Внутреннее строение Солнца

Атмосфера Солнца состоит из трех главных уровней - фотосферы, хромосферы и короны (рис. II.6). На каждом из этих уровней идут различные физические процессы.

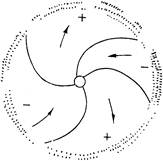
Фотосфера представляет собой нижний, наиболее активный светопроводящий слой атмосферы. Это граница прозрачности звездного вещества, воспринимаемого нами в виде бело-желтого диска Солнца.

На фотографиях поверхность фотосферы покрыта гранулами - это неустойчивые образования размером от 700 до 1400 км, они непрерывно появляются и распадаются, создавая впечатление кипящей поверхности. Фотосфера излучает энергию в оптическом и инфракрасном диапазонах. Потери энергии непрерывно пополняются притоком ее из более глубоких слоев. Этот процесс поддерживает стационарность излучения и осуществляется за счет процессов поглощения и переизлучения. Перенос энергии происходит также конвективным путем с помощью гранул, представляющих собой своеобразные конвективные ячейки. Горячее вещество выносится из недр на поверхность, где оно охлаждается и вновь погружается. В промежутках между гранулами наблюдается выброс вещества - спикулы и факелы. Толщина фотосферы около 500 км.

Следующий слой солнечной атмосферы - хромосфера - простирается на расстояние 15000-20000 км и имеет ярко-красный цвет. Она наблюдается при солнечном затмении в виде алого кольца вокруг черного диска Солнца. Температура хромосферы около 20000 К.

В хромосфере хорошо видны выбросы горячей плазмы - спикулы (протуберанцы). Высота выбросов достигает 12 тыс. км, а поперечные размеры - 1000 км.

Над хромосферой располагается корона, размеры которой колеблются в зависимости от активности Солнца. Внутренняя корона простирается на 300-500 тыс. км и имеет колоссальную температуру - в 1 млн. градусов Кельвина. Она состоит из ионизированных светящихся газов. Внешняя корона представляет собой туманное свечение солнечного света на пылевых частицах, концентрирующихся вокруг Солнца на расстоянии до 80 млн. км. Поэтому эта часть короны имеет светло-желтый оттенок. По мере удаления от хромосферы температура короны понижается, на орбите Земли составляет 200000 К. Периферия короны состоит из разреженных электронных облаков, выбрасываемых Солнцем, которые будучи вмороженными в его магнитное поле, движутся с большими скоростями, достигающими 30 км/с.



Магнитное  поле Солнца

Следует сказать, что в результате осевого вращения Солнце продуцирует мощное магнитное поле, силовые линии которого «приклеиваются» в высокопроводящую плазму короны, вытягиваются в виде спирали далеко в межпланетное пространство (рис. II.7). В ходе солнечной активности структура секторного магнитного поля может менять свою форму и даже число секторов.

Возвращаясь к энергетике солнечного излучения, мы теперь можем сказать, что основная доля оптического и инфракрасного излучения исходит из фотосферы, имеющей температуру около 5800 К. Низкотемпературное излучение 4500 К соответствует нижним слоям хромосферы. Радиоизлучение и рентгеновское излучение исходят из короны, имеющей в нижней своей части температуру 106 К. Хромосфера и корона прозрачны для оптического и инфракрасного излучения фотосферы. Что же в таком случае питает их энергией и создает столь высокую температуру?

Мы видели, что в фотосфере наряду с лучистым переносом энергии происходит и конвективное перемешивание вещества, фиксируемое в виде многочисленных гранул и спикул, а также мощных протуберанцевых выбросов плазмы. Это механическое движение огромных масс вещества на поверхности гигантской звезды должно приводить к мощным акустическим колебаниям окружающей атмосферы (вспомните шум кипящей воды в чайнике). Иными словами, поверхность звезды буквально сотрясается от оглушительного шума, звук которого со сверхзвуковыми скоростями распространяется через хромосферу во все стороны от Солнца. Однако по мере распространения в солнечную корону, где плотность вещества быстро убывает, обычные звуковые волны превращаются в ударные. Как известно из физики плазмы, в ударных волнах энергия механического движения быстро переходит в тепловую. Поэтому небольшая по массе, сильно разреженная корона нагревается до столь высоких температур.

Другой важной характеристикой Солнца является его периодическая активность, выражающаяся в появлении на фотосфере темных пятен, в хромосфере и короне - вспышек, факелов, протуберанцев. Установлена 11-летняя периодичность явления солнечной активности. Наиболее ярким показателем солнечной активности является изменение числа темных пятен и их размеров на диске Солнца. Температура их на 1500 К ниже температуры окружающей фотосферы, диаметр достигает 2-50 тыс. км. В рельефе поверхности пятна фиксируются в виде впадин глубиной 700-1000 км. Важной характеристикой пятна является его магнитное поле, напряженность которого достигает гигантской величины - 4·10-5 А/м. Для сравнения укажем, что напряженность магнитного поля Земли в районе полюсов всего 70 А/м.

Время жизни пятен - от нескольких часов до нескольких месяцев. Обычно уровень солнечной активности характеризуется числом Вольфа:

W = 10g + f,                                        (II.32)

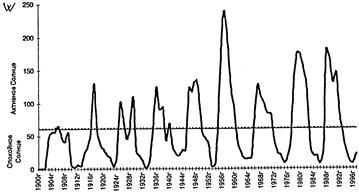
где g - число групп пятен; f - общее число всех пятен, видимых на диске Солнца.

Солнечная активность оказывает большое влияние на климат, погоду, биосферу Земли.

Здесь же отметим, что причины солнечной активности до сих пор являются предметом дискуссий. Есть по крайней мере две группы гипотез - эндогенные, объясняющие периодичность активности внутризвездными процессами, и экзогенные, связывающие ее с приливным взаимодействием с планетой-гигантом Юпитером.

С эндогенными гипотезами пока еще много неясного, хотя успехи изучения физики звезд весьма впечатляющи.

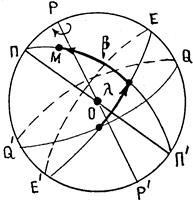
Экзогенные причины цикличности солнечной активности (рис. II.8) привлекают внимание сходством периодов обращения Юпитера вокруг Солнца (11,86 года) и средней длительностью солнечного цикла (11,13 года). Обнаруживается связь между изменением гелиоцентрического расстояния Юпитера с числом пятен на Солнце. Величина юпитерианского прилива на Солнце составляет всего 1 мм. Однако исследования показали, что здесь важно не изменение скорости приливного смещения центра Солнца (первая производная), а толчок (третья производная). Вклад планет в толчок возрастает на порядок величин.



Солнечная активность. Период 1900-1997 гг., в числах Вольфа W

**Движение Солнца по эклиптике**

Вследствие вращения планет, и в частности Земли, вокруг Солнца создаются различные условия освещенности и обогрева ее поверхности в различных участках орбиты. Это вызывает смену времен года, что обусловлено тремя причинами - наклоном земной оси к плоскости земной орбиты, неизменностью положения оси в пространстве и обращением Земли вокруг Солнца. Наблюдателю на Земле кажется, что светило имеет собственное движение по небесной сфере. На самом деле это движение обусловлено обращением Земли.



Плоскость эклиптики на небесной сфере:

ПП¢ - полюсы эклиптики;

РР¢ - полюсы мира; l - эклиптическая долгота; b - эклиптическая широта; ЕЕ¢ - плоскость эклиптики; QQ¢ - небесный экватор; М - светило

Видимое годовое движение Солнца относительно звезд происходит по большому кругу небесной сферы, называемому эклиптикой (эклипсис - по-гречески “затмение”). Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора под углом 23°27¢ (рис. II.9). Когда Солнце проходит точки пересечения эклиптики с небесным экватором, то на Земле день становится равным ночи. Эти точки называются точками весеннего (21 марта) и осеннего (23 сентября) равноденствия. Координаты Солнца - склонение d и прямое восхождение a - в этих точках равны нулю. В момент нахождения Солнца в верхней точки эклиптики Е его прямое восхождение a = 6 ч, а склонение d = +23°27¢. Точка Е называется точкой летнего солнцестояния (22 июня). В нижней точке эклиптики Е¢a = 18 ч, а d = -23°27¢. Эту точку Солнце проходит 22 декабря, поэтому она называется точкой зимнего солнцестояния. Скорость перемещения Солнца по эклиптике равна приблизительно 1° в сутки. Промежуток времени между двумя прохождениями Солнцем точки весеннего равноденствия называется тропическим годом. Его длительность равна 365,2422 дня.

Из-за гравитационного влияния Луны Солнце каждый год приходит в точку весеннего равноденствия на 20 мин 24 с раньше, чем Земля завершит очередной оборот вокруг него. Это смещение называется прецессией, или предварением равноденствий. Вследствие прецессии ось вращения Земли поворачивается за год на 50¢¢27, описывая в пространстве коническую поверхность. Интересно, что полный оборот земная ось вокруг оси эклиптики совершит за 25800 лет. Это и есть период прецессии, играющий важную роль в понимании вековых изменений климата на Земле и образования ледниковых периодов.