

При темп-рах $\sim 10^4$ К (хромосфера) и 10^6 К (корона), а также в переходном слое с промежуточными темп-рами появляются ионы разл. элементов. Соответствующие этим ионам эмиссионные линии довольно многочисленны в КВ-части спектра ($\lambda < 1800$ Å). Спектр в этой области состоит из отд. эмиссионных линий, самые яркие из к-рых — линия водорода L_α (1216 Å) и линии нейтрального (584 Å) и ионизованного (304 Å) гелия. Излучение в этих линиях выходит из области эмиссии практически не поглощаясь. Излучение в радио- и рентг. областях сильно зависит от степени *солнечной активности*, увеличиваясь или уменьшаясь в неск. раз в течение 11-летнего солнечного цикла и заметно возрастая при *вспышках на Солнце*.

Физ. характеристики разл. слоёв приведены на рис. 1 (условно выделена ниж. хромосфера толщиной 1500 км, где газ более однороден). Нагрев верх. атмосферы С. (хромосферы и короны) может быть обусловлен механ. энергией, переносимой волнами, возникающими в верх. части конвективной зоны, и

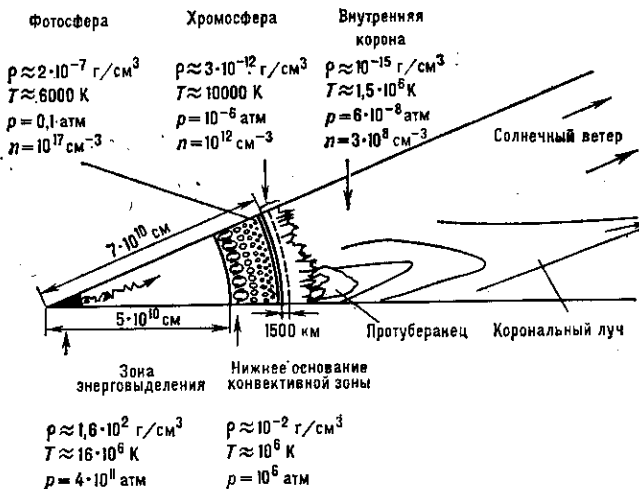


Рис. 1. Физические характеристики слоёв Солнца; ρ — плотность, T — температура, p — давление, n — число частиц в 1 см³. Толщина фотосферы и хромосферы на рисунке несколько преувеличена.

диссипацией (поглощением) энергии электрич. токов, генерируемых магн. полями.

С существованием на С. поверхностной конвективной зоны связан ещё ряд явлений. Ячейки самого верх. яруса конвективной зоны наблюдаются на поверхности С. в виде гранул. Более глубокие крупномасштабные движения во 2-м ярусе зоны проявляются в виде ячеек сверхгрануляции и хромосферной сетки. Имеются основания считать, что конвекция в ещё более глубоком слое наблюдается в виде гигантских структур — ячеек с большими, чем сверхгрануляция, размерами.

Большие локальные магн. поля в зоне $\pm 30^\circ$ от экватора приводят к развитию т. н. активных областей с входящими в них пятнами. Число активных областей, их положение на диске и полярности пятен в группах меняются с периодом $\approx 11,2$ года. В период необычайно высокого максимума (1957—58) активность затрагивала практически весь солнечный диск. Кроме сильных локальных полей на С. имеется более слабое крупномасштабное магн. поле. Это поле меняет знак с периодом ок. 22 лет и близ полюсов обращается в нуль в максимуме солнечной активности. М. А. Лившиц.

2. Внутреннее строение

Элементы тяжелее гелия составляют ок. 0,1% (по числу атомов) и присутствуют на С. примерно в тех же

пропорциях, что и на Земле. Это свидетельствует об их общем происхождении (см. *Происхождение Солнечной системы*). Геологич. данные, основанные на свойствах радиоактивных элементов в земной коре, показывают, что Земля отвердела $4,5 \cdot 10^9$ лет назад. Следовательно, и возраст С. должен быть больше. Известно также, что поток энергии от Солнца не изменился существенно за последние 10^9 лет.

Светимость С. обеспечивается энергией, освобождающейся в термоядерных реакциях превращения водорода в гелий, к-рые протекают в его центральной, наиб. горячей области — ядре. Термоядерный источник способен поддерживать С. в равновесном, почти неизменном состоянии длит. время — ок. 10^{10} лет; при отсутствии этого источника С. могло бы светить лишь за счёт собств. гравитац. энергии, освобождающейся при медленном сжатии, но только в течение времени порядка $(GM_\odot^2/R_\odot)/L_\odot \approx 3 \cdot 10^7$ лет.

Превращение водорода в гелий происходит гл. обр. в *водородном цикле* и частично в *углеродно-азотном цикле*. В конце этих циклов группы из четырёх протонов превращаются в ядра гелия. Поскольку масса ядра гелия меньше суммарной массы исходных протонов на 0,7%, то в каждом цикле выделяется энергия $\mathcal{E} = 0,007 \cdot (4m_p c^2) \approx 26,7$ МэВ (m_p — масса протона) в виде γ -излучения ($\approx 26,2$ МэВ) и двух нейтрино ($\approx 0,5$ МэВ). Нейтрино очень слабо взаимодействуют с веществом и поэтому почти беспрепятственно выходят из солнечного ядра. Фотоны же эффективно поглощаются и переизлучаются веществом. Длина свободного пробега фотонов (λ) в центр. областях С. $\sim 10^{-3}$ см. В результате излучение находится почти в термодинамич. равновесии с веществом. Это означает, что ср. энергия фотонов равна тепловой энергии частиц.

Перенос излучения наружу носит диффузионный характер, при к-ром фотоны многократно поглощаются и переизлучаются. Величина потока лучистой энергии внутри С. прямо пропорциональна градиенту темп-ры и обратно пропорциональна коэф. *непрозрачности* $\kappa = 1/\rho\lambda$ (ρ — плотность вещества), характеризующему способность газа поглощать и рассеивать излучение. Однако не на всём пути от центра к поверхности солнечная энергия переносится излучением. На расстоянии примерно $0,7 R_\odot$ от центра вещество становится конвективно неустойчивым, и выше этого уровня энергия переносится преим. турбулентными потоками вещества. В конвективной зоне темп-ра невелика по сравнению с темп-рой ядра. В результате увеличивается число электронов, находящихся в связанных состояниях в атомах водорода и др. элементов. Это ведёт к увеличению непрозрачности газа, большому сопротивлению диффузии излучения и возрастанию градиента темп-ры. Конвективная неустойчивость наступает, если абс. значение градиента темп-ры станет больше нек-рой критич. величины, называемой адиабатич. градиентом. Скорости конвективных потоков возрастают по мере продвижения к поверхности от $\sim 10^3$ см/с до 10^5 см/с. Вблизи поверхности С. на расстоянии $0,999 R_\odot$ эффективность конвективного теплопереноса резко падает вследствие низкой плотности вещества. Здесь энергия вновь переносится излучением. Вероятно, этот верх. слой конвективной зоны ответствен за наблюдаемую грануляц. структуру поверхности С.

Эволюция С. определяется изменением его хим. состава в результате термоядерных реакций. Согласно расчётам, ныне в ядре доля водорода по массе ок. 35%, тогда как в начале эволюции, судя по поверхностным слоям, в к-рых термоядерные реакции не происходят, водород составлял ок. 73%. Превращение водорода в гелий постепенно увеличивает ср. молекулярный вес вещества, поэтому равновесие в солнечном ядре поддерживается при всё более высоких темп-ре и плотности. Поскольку скорости термоядерных реакций быстро увеличиваются с ростом темп-ры, то, не-