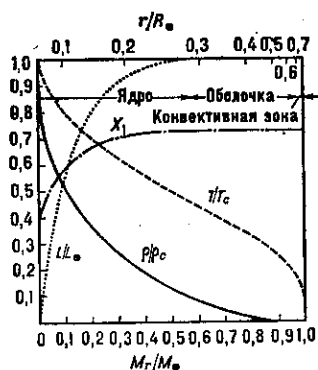


Рис. 2. Стандартная модель внутреннего строения Солнца (Bachall et al., 1982). Плотность  $\rho$ , температура  $T$ , светимость  $L$  и содержание водорода по массе  $X_1$  представлены как функции радиуса  $r$  и массы  $M_r$ .



са (см. *Нейтринная астрофизика*). Измеренный поток нейтрино оказался существенно меньшим величины  $7,8 \pm 0,9 \text{ SNU}$  ( $1 \text{ SNU} = 10^{-36}$  захватов нейтрино на одну частицу детектора в 1 с — солнечная нейтринная единица), предсказанной на основе стандартной модели. Расхождение может быть связано как с неточностью описания внутр. строения С. стандартной моделью, напр. в случаях перемешивания вещества в солнечном ядре в ходе эволюции или пониж. содержания тяжёлых элементов в зоне лучистого переноса, так и с превращением электронных нейтрино в мюонные в результате слабого взаимодействия при распространении в плотном солнечном веществе (эффект Михеева — Смирнова). Разрешить проблему дефицита солнечных нейтрино можно путём регистрации низкоэнергичных нейтрино ( $E \leq 0,5 \text{ МэВ}$ ), образующихся в первой реакции водородного цикла  $p + p \rightarrow {}^2\text{H} + e^+ + \nu_e$ , при помощи галлиевого детектора. Их поток (согласно расчётам,  $\approx 107 \text{ SNU}$ ) практически не зависит от деталей внутр. строения С., и поэтому, если измеренная величина окажется меньше расчётной, то это будет подтверждением гипотезы превращения нейтрино. В противном случае малый поток высокоэнергичных нейтрино связан с отличиями от стандартной модели, и тогда для их выяснения потребуются дополнительные нейтринные эксперименты с разл. детекторами.

Измерения частот акустич. мод собств. колебаний С. показали, что строение оболочки ( $0,3 \leq r/R_\odot \leq 1$ ) хорошо описывается стандартной моделью. Надёжных данных о структуре ядра пока не получено (см. *Солнечная сейсмология*).

Лит.: Сох J. P., Giulì R. T., Principles of stellar structure, v. 1—2, N. Y. — L. — P., 1968; Гибсон Э., Спокойное Солнце, пер. с англ., М., 1977; Bachall J. N. и др., Standard solar models and the uncertainties in predicted capture rates of solar neutrinos, «Rev. Mod. Phys.», 1982, v. 54, p. 767; Вачалл J. N. и др., Chlorine and gallium solar neutrino experiments, «Astrophys. J.», 1985, v. 292, p. L78; Михеев С. П., Смирнов А. Ю., Осцилляции нейтрино в среде с переменной плотностью, «УФН», 1986, т. 150, в. 4, с. 632. А. Г. Косовичев.

### 3. Атмосфера

В атмосфере С., так же как и в атмосферах др. вырожденных звёзд (см. *Звёздные атмосферы*), выделяют три слоя: фотосферу, хромосферу (см. также *Хромосферы звёзд*) и корону (см. *Солнечная корона, Корона звёзд*). Наблюдаемое непрерывное излучение в оптич. диапазоне генерируется в слое протяжённостью ок. 300 км — солнечной фотосфере. Оно является тепловым и достаточно точно описывается в видимой и близкой ИК-области спектра ф-цией Планка с эфф. темп-рой  $T_p = 5830 \text{ К}$ . Темп-ра в фотосфере падает с высотой, что приводит к наблюдаемому потемнению диска С. к краю (где видны поверхностные слои), небольшому — в красных лучах и более сильному — в синих и ультрафиолетовых. Небольшие флуктуации темп-ры спокойной фотосферы в горизонтальном направлении связаны, вероятно, с проникновением в эти слои горячего газа — поднимающихся из более глубоких слоёв конвективных потоков. Это солнечная грагуляция — яркие ячейки неправильной формы (грагулы) диамет-

ром ок.  $1-2''$  ( $700-1400 \text{ км}$  вдоль поверхности С.) с более тонкими тёмными промежутками между грагулами.

Плазма солнечной фотосферы с плотностью ок.  $10^{17} \text{ см}^{-3}$  является слабоионизованной (рис. 3). Падение темп-ры с высотой на нек-ром уровне останавливается;

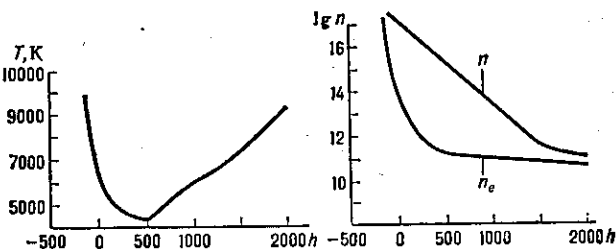


Рис. 3. Распределение температуры  $T$ , концентрации нейтрального водорода  $n$  и свободных электронов  $n_e$  в фотосфере и нижней хромосфере ( $h$  — высота в км).

выше этой т. н. области температурного минимума — во внеш. атмосфере С. — темп-ра разреженного газа вновь возрастает до  $\sim 10^4 \text{ К}$  в хромосфере и более чем до  $\sim 10^6 \text{ К}$  в короне. Первые две тысячи км хромосферы остаётся сравнительно однородной: лишь часть плазмы оказывается заключённой в петельные структуры; выше хромосферы распадается на ряд отд. потоков — хромосферных спикул, достигающих высот 8—10 тыс. км. Диаметры спикул сравнимы с диаметрами гракул, скорость подъёма и опускания вещества в них  $\approx 20 \text{ км/с}$ .

Хромосфера с  $T \approx 10000 \text{ К}$  является источником линейчатого излучения металлов, водорода и гелия. Линии наблюдаются в излучении за краем диска и в поглощении — в проекции на диск. Горизонтальная неоднородность хромосферы проявляется при наблюдениях в частотах линий  $H_\alpha$  водорода,  $H$  и  $K$  ионизов. кальция и нек-рых других. Наиб. характерной является хромосферная сетка: ячейки диам. 20—30 тыс. км, покрывающие весь диск. Газ в ячейках растекается от центра к периферии со скоростями 0,3—0,4 км/с. Происхождение хромосферной сетки связано с наличием конвективных движений масштаба — супер-, или сверхграгуляции. Из границ хромосферной сетки выбрасывается большее кол-во спикул, чем из центр. частей ячеек.

Переход от хромосферного газа с  $T \sim 10^4 \text{ К}$  к корональному с  $T \sim 10^6 \text{ К}$  происходит в каждой фиксиров. точке поверхности С. очень резко, на промежутке высот всего 10—100 км. Такой узкий слой формируется за счёт потока тепла из короны вниз.

Над хромосферой располагается оболочка разреженного горячего газа (корона). В первом приближении плотность газа падает при удалении от лимба по гидростатич. закону (с уменьшением плотности в  $e$  раз на расстоянии ок.  $0,1 R_\odot$ ). Плотности в основании короны изменяются от  $\sim 10^9 \text{ см}^{-3}$  в активных и до  $6 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$  в самых разреженных участках, т. н. *корональных дырах*.

Осн. часть вещества короны сосредоточена во внутр. короне (до расстояний  $0,1-0,3 R_\odot$  от лимба), причём не равномерно, а в отдельных корональных петлях (арках). Самые плотные и горячие арки располагаются в активных областях и близ них. Длина петли  $L$ , давление плазмы и темп-ра близ вершины связаны в первом приближении т. н. соотношением подобия  $T \sim (\rho L)^{1/2}$ . Темп-ра плазмы в большинстве арок составляет 2 млн. К, плотности близки к  $10^9 \text{ см}^{-3}$ . Как само происхождение арочной структуры, так и нагрев плазмы в арках связаны с влиянием магн. полей.

В нек-рых площадках на С. атмосфера на всех высотах заметно отличается от описанной выше атмосферы спокойного С. Само появление центров активности, или активных областей, происходит с определ. последовательностью во времени и по местоположению на С.