

§ 66. Строение, излучения и эволюция солнца и звёзд

Звёзды¹ представляют собой шары из горячего, по большей части ионизированного газа. Ионизация звёздного вещества является следствием его высокой температуры (от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч градусов).

В результате исследования химического состава Солнца и других звёзд было обнаружено, что в них присутствуют почти все химические элементы, имеющиеся на Земле и представленные в таблице Д. И. Менделеева. Выяснилось также, что в большинстве случаев 70% массы звезды составляет водород, 28% — гелий и 2% — более тяжёлые элементы.

Вы уже знаете, что чем больше масса звезды, тем более сильное гравитационное поле она создаёт. Благодаря действию гравитационных сил, сжимающих звёздное вещество, его температура, плотность, давление значительно возрастают от внешних слоев к центру.

Так, например, температура внешних слоев Солнца приблизительно равна $6 \cdot 10^3$ °C, а в центре — порядка 14—15 млн °C, плотность вещества в центре Солнца приблизительно равна 150 г/см³ (в 19 раз больше, чем у железа), а давление от средних слоев к центру возрастает от $7 \cdot 10^8$ до $3,4 \cdot 10^{11}$ атм. При таких температурах и давлениях в ядре могут протекать термоядерные реакции, являющиеся источником энергии звёзд.

Мощность излучения звезды (называемая также светимостью и обозначаемая буквой L) пропорциональна четвертой степени её массы:

$$L \approx M^4.$$

Протекающие в недрах звёзд термоядерные реакции являются одним из процессов, существенно отличающих звёзды от планет, так как внутренний источник обогрева планет — это радиоактивный распад. Указанное различие обусловлено тем, что масса любой звезды заведомо больше массы даже самой большой планеты. Это можно проиллюстрировать на примере Юпитера. Несмотря на то что по многим параметрам он очень похож на звезду, его масса оказалась недостаточной для возникновения в его недрах условий, необходимых для протекания термоядерных реакций.

В результате термоядерных реакций в недрах Солнца выделяется огромная энергия, поддерживающая его свечение. Рассмотрим, каким образом эта энергия выходит наружу, к поверхности Солнца.

В зоне переноса лучистой энергии (рис. 188) освобождённое в ядре тепло распространяется от центра к поверхности Солнца путём излучения, т. е. через поглощение и излучение веществом порций света — квантов. Поскольку кванты излучаются атомами в любых направлениях, их путь к поверхности длится тысячи лет.



Рис. 188. Строение Солнца

В зоне конвекции энергия переносится к поверхности всплывающими потоками горячего газа. Достигнув поверхности, газ, излучая энергию, охлаждается, уплотняется и погружается к основанию зоны. В конвективной зоне газ непрозрачен. Поэтому можно увидеть только те слои, которые находятся над ней: фотосферу, хромосферу и корону (на рисунке не обозначена). Эти три слоя относятся к солнечной атмосфере.

Фотосфера («сфера света») на фотографиях выглядит как совокупность ярких пятнышек — гранул (рис. 189), разделённых тонкими тёмными линиями. Яркие пятнышки — это потоки горячего газа, всплывающие на поверхность конвективной зоны.



Рис. 189. Гранулы и пятно в фотосфере Солнца

Хромосфера («сфера цвета») названа так за свою красновато-фиолетовую окраску. Одним из наиболее интересных явлений, которые можно наблюдать в хромосфере, являются протуберанцы². Протяжённость хромосферы достигает 10—15 тыс. км.

Самая внешняя часть атмосферы Солнца — корона. Она простирается на миллионы километров (т. е. на расстояние порядка нескольких солнечных радиусов), несмотря на то что сила тяжести на Солнце очень велика. Большая протяжённость короны объясняется тем, что движения атомов и электронов в короне, разогретой до температуры 1—2 млн °С, происходят с огромными скоростями. Солнечная корона хорошо видна во время солнечного затмения (рис. 190). Форма и яркость короны меняются в соответствии с циклом солнечной активности, т. е. с периодичностью в 11 лет.



Рис. 190. Солнечная корона (во время полного солнечного затмения 1999 г.)

Индукция магнитного поля на Солнце всего в 2 раза больше, чем на поверхности Земли. Но временами в небольшой области солнечной атмосферы возникают концентрированные магнитные поля, в несколько тысяч раз более сильные, чем на Земле. Они препятствуют подъёму горячей плазмы, в результате чего вместо светлых гранул образуется тёмная область — солнечное пятно (см. рис. 189). При появлении больших групп пятен мощность видимого, ультрафиолетового и рентгеновского излучений резко возрастает, что может неблагоприятно отражаться на самочувствии людей.

Перемещение пятен по диску Солнца является следствием его вращения, которое происходит с периодом, равным 25,4 сут относительно звёзд.

Завершающий этап процесса эволюции звёзд включает несколько стадий. Когда в центре звезды весь водород превращается в гелий, структура звезды начинает заметно меняться. Её светимость растёт, температура поверхности понижается, внешние слои расширяются, а внутренние сжимаются. Звезда становится красным гигантом, т. е. звездой огромного размера с высокой светимостью и очень малой плотностью. В центре образуется плотное и горячее гелиевое ядро. Когда температура в нём достигает 100 млн °С, начинается реакция превращения гелия в углерод, сопровождающаяся выделением большого количества энергии.

На следующей стадии звёзды типа Солнца сбрасывают часть вещества, сжимаются до размеров планет, превращаясь в маленькие, очень плотные звёзды — белые карлики, и медленно остывают.

¹ Под звёздами здесь и далее подразумеваются звёзды типа Солнца, находящиеся на той же стадии развития, что и Солнце.

² Протуберанцы — громадные, протяжённостью до сотен тысяч километров, плазменные образования в солнечной короне, имеющие большую плотность и меньшую температуру, чем окружающая их плазма короны.