Диаграмма «спектр — светимость». Как и Солнце, звёзды освещают Землю, но из-за огромного расстояния до них освещённость, которую они создают на Земле, на много порядков меньше солнечной. По этой причине и возникают технические проблемы при измерениях освещённости от звёзд. Астрономы строят гигантские телескопы, чтобы уловить слабые излучения звёзд. Чем больше диаметр объектива телескопа, тем более слабые звёзды можно с его помощью исследовать. Измерения показали, что, например, Полярная звезда создаёт освещённость на поверхности Земли Е = 3,8 • 1СГ9 Вт/м2, что в 370 млрд раз меньше освещённости, создаваемой Солнцем. Расстояние до Полярной звезды составляет 200 пк, или около 650 св. лет (г = 6 • 1018 м). Поэтому светимость Полярной звезды.

Как видим, несмотря на малую видимую яркость этой звезды, её светимость в 4600 раз превышает солнечную.

Измерения показали, что среди звёзд встречаются звёзды в сотни тысяч раз более мощные, чем Солнце, и звёзды со светимостями, в десятки тысяч раз меньшими, чем у Солнца.

Измерения температур поверхности звёзд показали, что температура поверхности звезды определяет её видимый цвет и наличие спектральных линий поглощения тех или иных химических элементов в её спектре.

Так, Сириус сияет белым цветом и его температура равна почти 10 000 К. Звезда Бетельгейзе (а Ориона) имеет красный цвет и температуру поверхности около 3500 К. Солнце жёлтого цвета и имеет температуру 6000 К.

По температуре, цвету и виду спектра все звёзды разбиты на спектральные классы, которые обозначаются буквами О, В, A, F, G, К, М. Спектральная классификация звёзд приведена в таблице.

Между спектральным классом и светимостями звезд имеется связь, которая представлена в виде диаграммы «спектр — светимость (в светимостях Солнца)» (рис. 15.2).

Эту диаграмму называют диаграммой Герцшпрунга—Рессела в честь двух астрономов — Э. Герцшпрунга и Г. Рессела, построивших её. На диаграмме чётко выделяются четыре группы звёзд.

Главная последовательность. В эту группу входит большинство звёзд. К звёздам главной последовательности относится и наше Солнце. Плотности звёзд главной последовательности сравнимы с солнечной плотностью.

Красные гиганты. К этой группе в основном относятся звёзды красного цвета с радиусами, в десятки раз превышающими солнечный, например звезда Арктур (а Волопаса), радиус которой превышает солнечный в 25 раз, а светимость — в 140 раз.

Сверхгиганты. Это звёзды со светимостями, в десятки и сотни тысяч раз превышающими солнечную. Радиусы этих звёзд в сотни раз превышают радиус Солнца. К сверхгигантам красного цвета относится звезда Бетельгейзе (а Ориона). При массе примерно в 15 раз больше солнечной её радиус превышает солнечный почти в 1000 раз. Средняя плотность этой звезды составляет всего 2 • 10“11 кг/м3, что более чем в 1000000 раз меньше плотности воздуха.

Белые карлики. Это группа звёзд в основном белого цвета со светимостями в сотни и тысячи раз меньше солнечной. Они расположены слева внизу диаграммы. Эти звёзды имеют радиусы почти в сто раз меньше солнечного и по размерам сравнимы с планетами. Примером белого карлика служит звезда Сириус В — спутник Сириуса. При массе, почти равной солнечной, и размере, в 2,5 раза большем, чем размер Земли, эта звезда имеет гигантскую среднюю плотность — р = 3 • 108 кг/м3.

Чтобы понять, чем объясняются наблюдаемые различия звёзд разных групп, вспомним связь между светимостью, температурой и радиусом звезды, которую мы использовали для определения температуры Солнца (см. формулу (15.3)).

Сравним две звезды спектрального класса К, одна главной последовательности (ГП), другая красный гигант (КГ). У них одинаковая температура — Т = 4500 К, а светимости различаются в тысячу раз: т. е. красные гиганты в десятки раз больше по размерам, чем звёзды главной последовательности.

Массы звёзд удалось измерить только у звёзд, входящих в состав двойных систем. И они определялись по параметрам орбит звёзд и периоду их обращения вокруг друг друга с использованием третьего обобщённого закона Кеплера. Оказалось, что массы всех звёзд лежат в пределах.

Для звёзд главной последовательности имеется связь между массой звезды и её светимостью, т. е. чем больше масса звезды, тем больше её светимость:

Так, звезда спектрального класса В имеет массу М ~ 20Ма и её светимость почти в 100 000 раз больше солнечной.

Источник энергии Солнца и звёзд. По современным представлениям источником энергии, поддерживающим излучение Солнца и звёзд, служит ядерная энергия, которая выделяется при термоядерных реакциях образования (синтеза) ядер атомов гелия из ядер атомов водорода. При реакции синтеза

из четырёх ядер атомов водорода (четырёх протонов) образуется ядро атома гелия, при этом выделяется энергия связи АЕ = 4,8 • 1СГ12 Дж и образуются две элементарные частицы нейтрино и два позитрона:

Для протекания ядерных реакций необходима температура выше нескольких миллионов кельвинов, при которой участвующие в реакции протоны с одинаковыми зарядами смогли бы получить достаточную энергию для взаимного сближения, преодоления электрических сил отталкивания и слияния в одно новое ядро. В результате термоядерных реакций синтеза из водорода массой 1 кг образуется гелий массой 0,99 кг, дефект масс Ат = 0,01 кг и выделяется энергия q = Ате2 = 9 • 1014 Дж.

Теперь можно оценить, на сколько времени хватит у Солнца запасов водорода, чтобы поддерживать наблюдаемое свечение, т. е. время жизни Солнца. Запас ядерной энергии.

Если поделить этот запас ядерной энергии на светимость Солнца L0, то мы получим время жизни Солнца:

Если учесть, что Солнце состоит по крайней мере на 70 % из водорода и ядерные реакции протекают только в центре, в солнечном ядре, масса которого составляет около 0,1Мо и где температура достаточно высокая для протекания термоядерных реакций, то время жизни Солнца и звёзд, похожих на Солнце, составит tQ ~ Ю10 лет. Солнце, по современным данным, существует уже около 5 млрд лет, так что ему ещё жить и жить!

Термоядерные реакции синтеза гелия из водорода являются источником энергии звёзд главной последовательности.