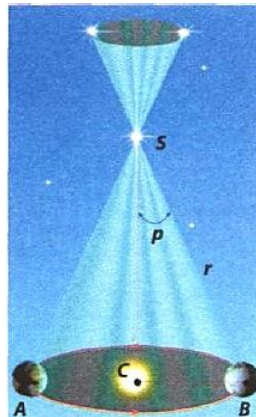


Лекция 7. Физическая природа звезд. Виды звезд. Эволюция звезд.

Звезды – пространственно-обособленные, гравитационно-связанные, непрозрачные для излучения массы вещества в интервале от 10^{29} до 10^{32} кг ($0,07$ – 100 М/м³), в недрах которых в значительных масштабах происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий.

Измерение расстояний до звезд

Звезды находятся в миллионы раз дальше, чем Солнце, поэтому горизонтальные параллаксы звезд соответственно в миллионы раз меньше, и измерить такие малые углы еще никому не удавалось. Для измерения расстояний до звезд астрономы вынуждены определять годовые параллаксы, связанные с орбитальным движением Земли вокруг Солнца.



Годичный параллакс можно измерять только в течение нескольких месяцев, пока Земля, а вместе с ней и телескоп, двигаясь вокруг Солнца, не переместится в космическом пространстве.

Годичные параллаксы звезд астрономы пытались определять еще во времена Коперника, что могло стать неоспоримым доказательством обращения Земли вокруг Солнца и подтверждением гелиоцентрической системы мира. Но только в 1837 г. В. Струве в Пулковской астрономической обсерватории (Россия) определил годичный параллакс звезды Вега (Лиры). Самый большой параллакс у ближайшей к нам звезды Проксимы Кентавра $p = 0,76''$, но ее в Европе не видно. Из ярких звезд, которые можно наблюдать в Украине, ближе всего к нам находится звезда Сириус (Большого Пса), годовой параллакс которой $p = 0,376''$.

Расстояние до звезд измеряют в световых годах, но в астрономии еще используют единицу парсек (пк) — расстояние, для которого годичный параллакс $p = 1''$ (парсек — сокращение от параллакс-секунда).

Видимые звездные величины

Впервые термин звездная величина был введен для определения яркости звезд во II в. до н. э. греческим астрономом Гиппархом. Тогда астрономы полагали, что звезды находятся на одинаковом расстоянии от Земли, поэтому их яркость зависит от размеров этих светил. Сейчас мы знаем, что звезды даже в одном созвездии располагаются на разных расстояниях (рис. 2.2), поэтому видимая звездная величина определяет только некоторое количество энергии, которую регистрирует наш глаз за какой-то промежуток времени. Гиппарх разделил все видимые звезды по яркости на 6 своеобразных классов — 6 звездных величин. Самые яркие звезды были названы звездами первой звездной величины, более слабые — второй, а самые слабые, еле видные на ночном небе, — шестой. В XIX в. английский астроном Н. Погсон (1829—1891) дополнил определение звездной величины еще одним условием: звезды первой звездной величины должны быть в 100 раз ярче звезды шестой величины

Видимая звездная величина m определяет количество света, попадающего от звезды в наши глаза. Самые слабые звезды, которые еще можно увидеть невооруженным глазом, имеют звездную величину $m = +6^m$. Уравнение (13.4) называют формулой Погсона. Яркость E фактически определяет освещенность, создаваемую звездой на поверхности Земли, поэтому величину E можно измерять люксами — единицами освещенности, применяющимися в физике. Согласно формуле (13.4), если разница звездных величин двух светил равна единице, то отношение яркости будет $\sim 2,512$.

Для определения видимых звездных величин небесных светил астрономы приняли за стандарт так называемый северный полярный ряд — это 96 звезд вокруг Северного полюса мира. Самая яркая среди них — Полярная, имеет звездную величину $m = +2^m$ (рис. 13.2). Относительно этого стандарта слабые звезды, которые еще можно увидеть невооруженным глазом, имеют звездную величину $+6^m$, в бинокль видны звезды до $+8^m$, в школьный телескоп видны светила до $+11^m$, а при помощи самых больших телескопов современными методами можно зарегистрировать слабые галактики до $+28^m$. Очень яркие небесные светила имеют отрицательную звездную величину. Например, самая яркая звезда нашего неба Сириус имеет видимую звездную величину $m = -1,6^m$, для самой яркой планеты Венеры $m = -4,5^m$, а для Солнца $m = -26,7^m$.

Абсолютные звездные величины и светимость звезды

Хотя Солнце является самым ярким светилом на нашем небе, это не значит, что оно излучает больше энергии, чем другие звезды. Из курса физики известно, что освещенность, создаваемая источниками энергии, зависит от расстояния до них, так небольшая лампочка в вашей комнате может казаться гораздо ярче, чем дальний прожектор. Для определения светимости, или общей мощности излучения, астрономы вводят понятие абсолютной звездной величины M . Звездную величину, которую имела

бы звезда на стандартном расстоянии $r_0=10$ пк, называют абсолютной звездной величиной. Примерно на таком расстоянии (11 пк, или 36 световых лет) от нас находится звезда Арктур, она имеет видимую звездную величину, почти равную абсолютной. Солнце на расстоянии 10 пк имело бы вид достаточно слабой звезды пятой звездной величины, то есть абсолютная звездная величина Солнца $\sim 5m$.

Абсолютная звездная величина M определяет яркость, которую имела бы звезда на стандартном расстоянии в 10 пк.

Светимость звезды определяет мощность излучения звезды. **За единицу светимости** принимается мощность излучения Солнца $4 \cdot 10^{26}$ Вт

Светимость звезды определяет количество энергии, излучаемое звездой за единицу времени, то есть мощность излучения звезды. За единицу светимости в астрономии принимают мощность излучения Солнца $4 \cdot 10^{26}$ Вт.

Цвет и температура звезд

Температуру звезды можно определить при помощи законов излучения черного тела. Самый простой метод измерения температуры звезды заключается в определении ее цвета. Правда, невооруженным глазом можно определить только цвет ярких звезд, так как чувствительность нашего глаза к восприятию цветов при слабом освещении очень мала. Цвет слабых звезд можно определить при помощи бинокля или телескопа, которые собирают больше света, поэтому в окуляре телескопа звезды кажутся нам более яркими.

За температурой звезды разделили на 7 спектральных классов, которые обозначили буквами латинского алфавита: O, B, A, F, G, K, M.

Цвета звезд определяют 7 основных спектральных классов. Самые горячие звезды голубого цвета относятся к спектральному классу O, холодные красные звезды — к спектральному классу M. Солнце имеет температуру фотосферы $+5780$ К, желтый цвет и относится к спектральному классу G.

Самую высокую температуру на поверхности имеют голубые звезды спектрального класса O, которые излучают больше энергии в синей части спектра. Каждый спектральный класс делится на 10 подклассов: A0, A1..A9.

Интенсивность излучения космических тел с разной температурой. Горячие звезды излучают больше энергии в синей части спектра, холодные звезды — в красной. Планеты излучают энергию преимущественно в инфракрасной части спектра.

Обычно в спектре каждой звезды есть темные линии поглощения, которые образуются в разреженной атмосфере звезды и в атмосфере Земли и показывают химический состав этих атмосфер. Оказалось, что все звезды имеют почти одинаковый химический состав, так как основные химические элементы во Вселенной — водород и гелий, а

основное отличие различных спектральных классов обусловлено температурой звездных фотосфер.

Радиусы звезд

Для определения радиуса звезды нельзя использовать геометрический метод, потому что звезды находятся настолько далеко от Земли, что даже в большие телескопы еще до недавнего времени невозможно было измерить их угловые размеры — все звезды имеют вид одинаковых светлых точек. Для определения радиуса звезды астрономы используют закон Стефана-Больцмана

Радиус звезды можно определить, измеряя ее светимость и температуру поверхности.

Оказалось, что существуют звезды, которые имеют радиус в сотни раз больший радиуса Солнца, и звезды, имеющие радиус меньший, чем радиус Земли.

Диаграмма спектр-светимость

Солнце по физическим параметрам относится к средним звездам — оно имеет среднюю температуру, среднюю светимость и т. д. По статистике, среди множества различных тел больше всего таких, которые имеют средние параметры. Например, если измерить рост и массу большого количества людей различного возраста, то больше будет людей со средними величинами этих параметров. Астрономы решили проверить, много ли в космосе таких звезд, как наше Солнце. Для этой цели Э. Герцшпрунг (1873—1967) и Г. Рессел (1877—1955) предложили диаграмму, на которой можно обозначить место каждой звезды, если известны ее температура и светимость. Ее называли диаграмма спектр-светимость, или диаграмма Герцшпрунга-Рессела. Она имеет вид графика, на котором по оси абсцисс отмечают спектральный класс или температуру звезды, а по оси ординат — светимость.

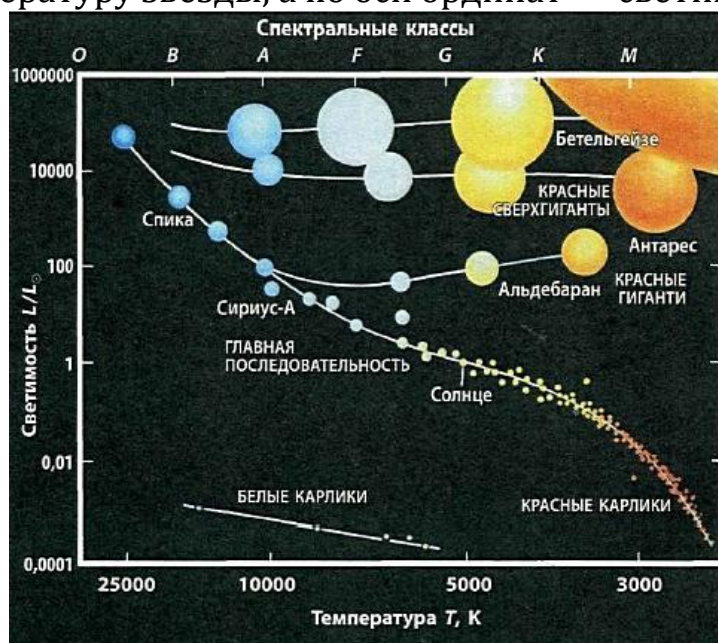


Диаграмма Герцшпрунга-Рессела. По оси абсцисс отмечена температура звезд, по оси ординат — светимость. Солнце имеет температуру 5780 К и светимость 1. Холодные звезды на диаграмме расположены справа (красного цвета), а более горячие — слева (синего цвета). Звезды, излучающие больше энергии, находятся выше Солнца, а звезды-карлики — ниже. Большинство звезд, к которым относится и Солнце, находятся в узкой полосе, которую называют главной последовательностью звезд.

Если Солнце — средняя звезда, то на диаграмме должно быть скопление точек вблизи того места, которое занимает Солнце. То есть большинство звезд должны быть желтого цвета с такой же светимостью, как Солнце. Каково же было удивление астрономов, когда оказалось, что в космосе не нашли звезды, которую можно считать копией Солнца. Большинство звезд на диаграмме оказались в узкой полосе, которую называют главной последовательностью. Диаметры звезд главной последовательности отличаются в несколько раз, а их светимость по закону Стефана-Больцмана определяется температурой поверхности. В эту полосу вошли Солнце и Сириус. Существенная разница в температуре на поверхности звезд различных спектральных классов объясняется разной массой этих светил: чем больше масса звезды, тем больше ее светимость. Например, звезды главной последовательности спектральных классов О и В в несколько раз массивнее Солнца, а красные карлики имеют массу в десятки раз меньшую, чем солнечная.

Белые карлики — звезды, имеющие радиус в сотни раз меньший солнечного и плотность в миллионы раз большую плотности воды.

Красные карлики — звезды с массой меньшей, чем у Солнца, но большей, чем у Юпитера. Температура и светимость этих звезд остаются постоянными на протяжении десятков миллиардов лет.

Красные гиганты — звезды, имеющие температуру 3000-4000 К и радиус в десятки раз больший солнечного. Масса этих звезд ненамного больше массы Солнца. Такие звезды не находятся в состоянии равновесия.

Отдельно от главной последовательности на диаграмме находятся белые карлики и красные сверхгиганты, которые имеют примерно одинаковую массу, но значительно отличаются по размерам. Гиганты спектрального класса М имеют почти такую же массу, как белые карлики спектрального класса В, поэтому средние плотности этих звезд существенно различаются. Например, радиус красного гиганта Бетельгейзе в 400 раз больший радиуса Солнца, но масса этих звезд почти одинакова, поэтому красные гиганты спектрального класса М имеют среднюю плотность в миллионы раз меньшую, чем плотность земной атмосферы. Типичным представителем белых карликов является спутник Сириуса.

Главная загадка диаграммы спектр-светимость заключается в том, что в космосе астрономы еще не нашли хотя бы две звезды с одинаковыми физическими параметрами — массой, температурой, светимостью, радиусом. Наверное, в течение эволюции звезды меняют свои физические параметры, поэтому маловероятно, что мы сможем отыскать в космосе еще одну звезду, которая зародилась одновременно с нашим Солнцем, имея тождественные начальные параметры.