

### РАЗДЕЛ 3. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

#### Тема 3.2 Разнообразие звезд во Вселенной и их характеристики

1. Разнообразие звезд во Вселенной
  - переменные звезды
  - нейтронные звезды – пульсары
  - звезды – магнетары
  - чёрные дыры
2. Межзвёздные расстояния. Звёздный параллакс

#### Разнообразие звёзд во Вселенной

Не секрет, что всё многообразие нашего мира подразделяют на определённые группы по тем или иным параметрам и свойствам. Собственно говоря, космические тела не исключение.

Как известно, звёзды, в первую очередь, делят на спектральные классы. Что позволяет узнать про их многое. Например, абсолютную величину, состав и т.д. Разумеется, для того, чтобы сгруппировать светила, потребовалось много времени и труда учёных.

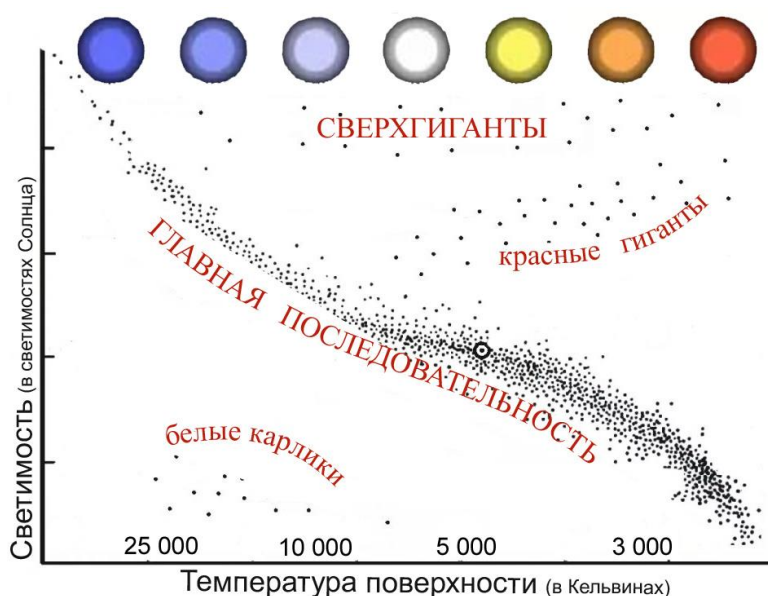
В начале XX века, благодаря деятельности двух астрономов, появилась диаграмма **Герцшпрунга-Рассела**. Что важно, на ней отображены звёздный спектральный класс, светимость, цвет, температура и этапы эволюции. Проще говоря, характеристика светил.

Безусловно, это одна из важнейших работ в изучении и исследовании жизни звёздных объектов. Можно сказать, что она является основой для их распределения на типы.

Итак, выделим основные виды звезд:

Светила **главной последовательности** — на этом этапе они проводят до 90% всей своей жизни. Главным образом, основные термоядерные реакции связаны с горением водорода. В результате чего формируется гелиевое ядро.

- **Коричневые карлики** — в их ядре также протекают термоядерные реакции, но основе лежит горение лёгких элементов. Например, бора, лития, бериллия или дейтерия. Поэтому тепловыделение и излучение у подобных тел быстро заканчивается. Что, соответственно, приводит к их остыванию, а затем превращению в планетоподобные объекты.



- **Красные карлики** отличаются долгой продолжительностью жизни, поскольку горение водорода в них проходит медленно. Вероятно, поэтому красных карликов больше других звёздных тел во Вселенной. Хотя из-за медленных процессов и слабого излучения, они не видны с нашей планеты без специальных приборов.
- **Красные гиганты** образуются после того, как сгорит весь водородный запас, что приводит к гелиевой вспышке и расширению звезды.
- **Белые карлики** имеют малую массу. Можно сказать, это остаток от красных гигантов, скинувших свою оболочку. При взрыве начинается процесс горения углерода и кислорода. Светило увеличивает атмосферные границы, быстро теряет газ и превращается в белый карлик.
- **Сверхгиганты** — массивный тип светил, которые из-за происходящих внутри реакций быстро покидают стадию главной последовательности. Для них характерна низкая температура, но высокий показатель светимости.
- **Переменные звёзды** — это те, у которых хотя бы раз за весь жизненный цикл изменялся блеск. Чаще всего это связано с внутренними процессами. Однако и внешние факторы могут повлиять на изменение блеска. К примеру, если звёздный свет пройдёт сквозь гравитационное поле.

Помимо этого, выделяют и другие виды звезд:

**Новые звёзды** - это особый тип переменных, с достаточно резким изменением блеска. Собственно говоря, скачки светимости провоцируют вспышки тела с различными амплитудами.

**Сверхновые** - это те, которые на конечном этапе эволюции взрываются. Причем их взрыв или вспышка очень мощные.

**Гиперновые** или проще говоря, большие сверхновые звёзды. После того, как источники поддержания термоядерных реакций иссякают, происходит коллапс. Что интересно, сила и мощность их неминуемого взрыва превышает обычных сверхновых приблизительно в 100 раз.

**LBV** (Яркие голубые переменные) или переменные типа S Золотой Рыбы являются пульсирующими гипергигантами. Для них свойственны неправильные изменения блеска с колебаниями от 1 до 7 m. Правда, это очень редкие и недолго живущие звезды, которые всегда окружают туманности.

**ULX** (Ультрарентгеновские источники) - космические объекты, обладающие сильным рентгеновским излучением. Их переменность может варьироваться от секунд до нескольких лет. Вероятно, что их источником излучения является чёрная дыра.

**Нейтронные звёзды**, на самом деле, представляют собой образования из нейтронов (нейтральных субатомных частиц). Поскольку эти частицы сильно сжимаются силами гравитации, то плотность светил также очень высокая. Между

## АСТРОНОМИЯ

краткий конспект лекций  
ФГБУ ПОО «БГУОР»

прочим, её часть сравнивают со средней плотностью атомного ядра. И это при том, что радиус нейтронных объектов составляет от 10 до 20 км, а масса равна примерно 1,5 солнечных масс.

**Двойные звёзды** или системы отличаются, главным образом, тем, что состоят их пары светил, связанных между собой силами гравитации. К удивлению, наша Галактика наполовину состоит именно из двойных звёзд.

### Спектр и цвет звёзд

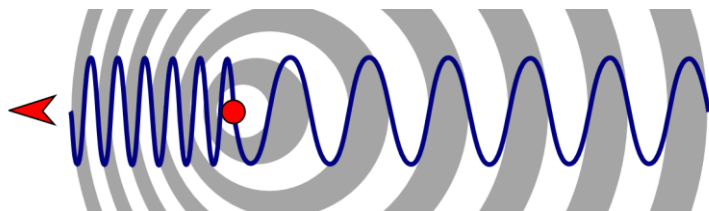
Информацию о звездах можно получить на основе исследования приходящего от них излучения. Наблюдая звезды, можно заметить, что они имеют различный цвет. Хорошо известно, что цвет любого нагретого тела зависит от его температуры.

Звезды разделены на спектральные классы, которые обозначены латинскими буквами и расположены в порядке, соответствующем убыванию температуры:

О - голубые А - белые G - желтые К - оранжевые М - красные
--

Каждый из классов имеет деление на 10 пунктов: О1, О2, О3, О4 ..... О10 А1, А2, А3, А4 ..... А10 ...
---

Измерение положения спектральных линий звезд позволяет определить скорость их движения.



Если источник излучения (звезда или любой другой объект) **приближается к наблюдателю**, то линии спектра его излучения смещаются к синему краю (длина световой волны уменьшается); если же

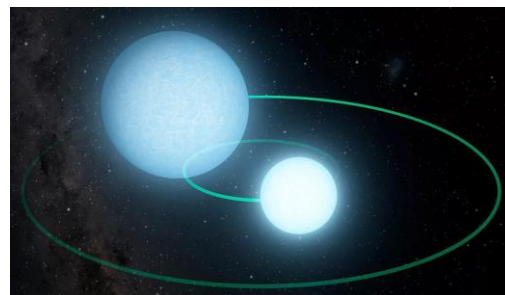
источник излучения **удаляется от наблюдателя**, то видимый наблюдателем спектр излучения смещается в красную сторону (длина волны увеличивается). Это явление получило название эффекта Доплера.

### Массы и размеры звезд

Среди звезд, которые видны на небе рядом, различают **двойные звезды**. Они образуют единую систему и обращаются вокруг общего центра масс под действием взаимного тяготения.

Первым, кто доказал, что такие звезды действительно существуют, был известный английский астроном **Вильям Гершель** (1738—1822).

Примером двойной звезды, оба компонента которой различимы даже невооруженным глазом, являются **Мицар** и **Алькор** в созвездии Большой Медведицы.



Большинство звезд имеют массу от 0,3 до 3 масс Солнца. Очень большие массы встречаются крайне редко.

К сожалению, звезды расположены так далеко от нас, что за редким исключением они даже в самые мощные телескопы видны как точки. Лишь в последние годы для некоторых самых крупных из них удалось получить изображение в виде диска, на котором обнаруживаются пятна.

Звезды самой большой светимости (**сверхгиганты**) действительно оказались очень большими.

Красные сверхгиганты **Антарес** и **Бетельгейзе** в сотни раз больше Солнца по диаметру.

Зато диаметр **красных карликов**, относящихся к главной последовательности, в несколько раз меньше солнечного.

Самыми маленькими звездами являются **белые карлики**, диаметр которых несколько тысяч километров.

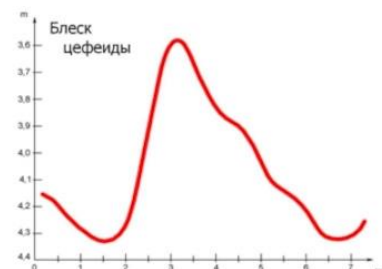
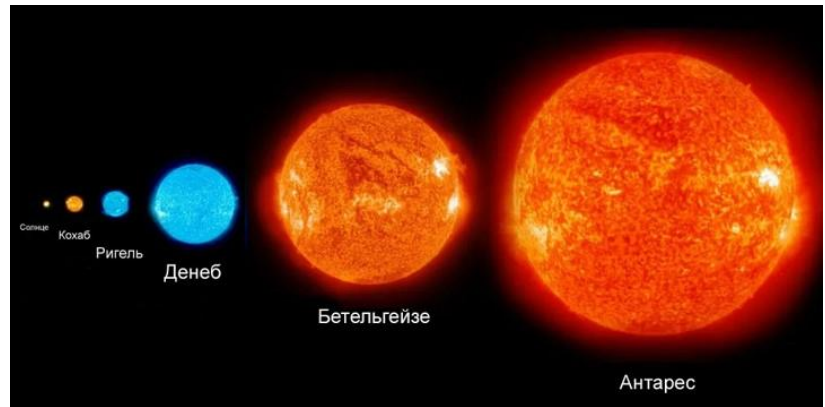
Расчеты средней плотности звезд различных типов, проведенные на основе имеющихся данных об их массе и размерах, показывают, что она может значительно отличаться от средней плотности Солнца. Так, средняя плотность некоторых сверхгигантов составляет в 1000 раз меньше плотности воздуха при нормальных условиях. Другой крайностью является плотность белых карликов — около  $10^4$  кг/м<sup>3</sup>.

В 1996 г. были открыты космические тела, которые являются промежуточным звеном между звездами и планетами. Они получили название «**коричневые карлики**». Эти объекты обладают слишком малой массой, что не обеспечивает температуры, необходимой для протекания термоядерной реакции превращения водорода в гелий. Про них можно сказать, что они еще не звезды, но уже не планеты.

### Пульсирующие переменные звезды

К числу переменных звезд со строгой периодичностью принадлежат прежде всего **цефеиды**. Они получили это название потому, что первой среди звезд этого типа была открыта **δ Цефея**.

Эта классическая цефеида меняет свою светимость раз в 5 суток. Причиной всему является пульсация наружных слоев звезды. Они периодически то расширяются, то сжимаются. При сжатии звезда нагревается и становится ярче, при расширении ее светимость уменьшается.



**Цефеиды** — это звезды-сверхгиганты, они обладают высокой светимостью. Они заметны даже в других галактиках, поэтому цефеиды можно использовать для определения расстояний, когда годичный параллакс невозможно измерить. Их часто называют «маяками Вселенной».

### Новые и сверхновые звезды

Начиная с глубокой древности в исторических летописях разных народов неоднократно отмечены случаи появления звезд, видимых невооруженным глазом на том месте, где их прежде не было. Особенно удивительными были эти «новые» звезды, когда они становились столь яркими, что могли наблюдаться даже днем. Затем их свет постепенно, в течение нескольких месяцев ослабевал настолько, что звезду уже нельзя было видеть невооруженным глазом.



Вспышка сверхновой звезды — гигантский по своим масштабам взрыв звезды, при котором ее светимость в течение нескольких суток возрастает в сотни миллионов раз. При вспышке выделяется энергия примерно равная той, которую Солнце может излучить за все время своего существования.

На протяжении большей части жизни любой звезды основным источником ее энергии служит термоядерный синтез гелия из водорода. В звездах с большой массой эта стадия длится несколько миллионов лет. Когда запасы водорода в звездном ядре истощаются, оно сжимается и разогревается.

Лишенное источников энергии ядро не может противостоять гравитационным силам и катастрофически сжимается (**коллапсирует**) за несколько миллисекунд. На конечной стадии коллапса центральная часть ядра звезды сжимается до плотности ядерного вещества.

Вскоре после того, как ядро прекратит сжиматься, наружные слои звезды, которые не участвовали в этом катастрофическом сжатии, упадут на него. При ударе о ядро плотность и температура вещества этих слоев резко возрастут. Это порождает мощную ударную волну, которая движется наружу со скоростью не менее 30 000 км/с и срывает со звезды большую часть массы. В некоторых случаях вещество полностью рассеивается в космическом пространстве, а иногда на месте звезды остается плотный остаток ее ядра.

### Пульсары, нейтронные звезды и черные дыры

**Пульсаром** называют очень быстро вращающуюся **нейтронную** звезду, выбрасывающую в пространство мощнейшие пучки электромагнитного излучения и гамма-лучи огромной силы.

Нейтронная звезда образуется в результате сжатия массивной звезды в процессе эволюции. Диаметры таких нейтронных звезд всего 20—30 км. Плотность вещества ядра такой звезды сопоставима с плотностью атомов. Для сравнения: чайная ложка вещества нейтронной звезды «весила» бы как гора Эверест.

Нейтронные звезды бешено вращаются, совершая около 500 оборотов за 1 секунду, порождая мощное магнитное поле, напряженностью в миллионы гауссов.

Таким образом, нейтронные звезды являются одним из тех объектов во Вселенной, которые предоставляют ученым возможность изучать поведение вещества в условиях, недостижимых в земных лабораториях.

Наиболее уникальные объекты, получившие название **черных дыр**, должны возникать, согласно теории, на конечной стадии эволюции звезд, масса которых значительно превышает солнечную. У объекта такой массы, который сжимается до размеров в несколько километров, поле тяготения оказывается столь сильным, что вторая космическая скорость в его окрестности должна была бы превышать скорость света. Стало быть, черную дыру не могут покинуть ни частицы, ни даже излучение — она становится невидимой.

Возможность обнаружить такой объект существует лишь в том случае, когда черная дыра оказывается одним из компонентов тесной двойной звездной системы. Мощное гравитационное поле черной дыры способно вызвать падение на нее газа из атмосферы другой звезды, входящей в эту систему. Газ при падении на черную дыру нагревается до высокой температуры и дает рентгеновское излучение. Именно это излучение и позволяет обнаружить существование черной дыры. В настоящее время известно несколько десятков рентгеновских источников, в состав которых могут входить черные дыры.

Белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры являются конечными стадиями эволюции звезд различной массы. Из вещества, которое было потеряно ими, в последующем могут образовываться звезды нового поколения. Процесс формирования и развития звезд рассматривается в настоящее время как один из важнейших процессов эволюции звездных систем — галактик — и Вселенной в целом.

### Годичный параллакс и расстояния до звёзд



Мысли о том, что звёзды — это далёкие солнца, высказывались ещё в глубокой древности. Однако долгое время оставалось неясным, как далеко они находятся от Земли.

Ещё Аристотель понимал, что если Земля движется, то, наблюдая положение какой-либо звезды из двух диаметрально противоположных точек земной орбиты, можно заметить, что направление на звезду изменится.

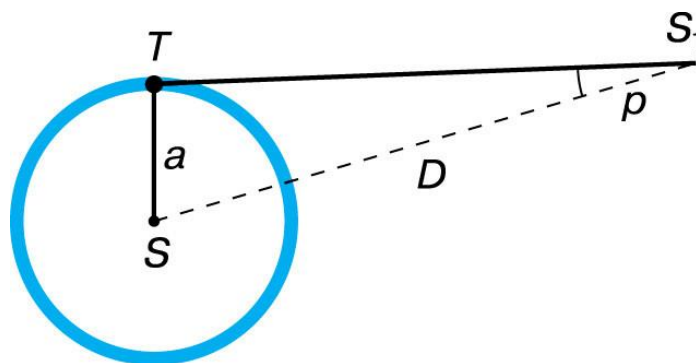
Это кажущееся (параллактическое) смещение звезды будет служить

## АСТРОНОМИЯ

краткий конспект лекций  
ФГБУ ПОО «БГУОР»

мерой расстояния до неё: чем оно больше, тем ближе к нам расположена звезда. Но не только самому Аристотелю, но даже значительно позднее Копернику не удалось обнаружить это смещение.

Только в конце первой половины XIX в., когда телескопы были оборудованы приспособлениями для точных угловых измерений, удалось измерить такое смещение у ближайших звёзд.



Годичным параллаксом звезды  $p$  называется угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую полуось земной орбиты (равную 1 а. е.), перпендикулярную направлению на звезду.

Расстояние до звезды

$$D = \frac{a}{\sin p}$$

где  $a$  — большая полуось земной орбиты.

Заменив синус малого угла величиной самого угла, выраженной в радианной мере, и приняв  $a = 1$  а. е., получим следующую формулу для вычисления расстояния до звезды в астрономических единицах:

$$D = \frac{206\,265''}{p}$$

В 1837 г. впервые были осуществлены надёжные измерения годичного параллакса. Русский астроном **Василий Яковлевич Струве** (1793—1864) провёл эти измерения для ярчайшей звезды Северного полушария Веги ( $\alpha$  Лирь).

Почти одновременно в других странах определили параллаксы ещё двух звёзд, одной из которых была  $\alpha$  Центавра. Эта звезда, которая с территории России не видна, оказалась ближайшей к нам. Даже у неё годичный параллакс составил всего  $0,75''$ . Под таким углом невооружённому глазу видна проволочка толщиной 1 мм с расстояния 280 м. Поэтому неудивительно, что столь малые угловые смещения так долго не могли заметить.

Расстояние до ближайшей звезды, параллакс которой  $p = 0,75''$ , составляет

$$D = \frac{206\,265''}{0,75''}$$

$$= 270\,000 \text{ а. е.}$$

### **Вопросы для закрепления**

1. *Какие основные виды звезд различают?*
2. *Что из себя представляет диаграмма Герцшпрунга-Рассела?*
3. *Какие звезды называют «цефеидами»?*
4. *В чем отличие нейтронных звезд от звезд типа Солнца?*
5. *Что собой представляют такие звезды, как: Новая, Сверхновая?*
6. *Что такое пульсар? Какова его природа?*
7. *Что собой представляют звезды – магнетары?*
8. *Дайте представление о понятии «черная дыра». Что такое «горизонт событий», почему нельзя заглянуть за него?*
9. *Что такое годичный параллакс звезды?*
10. *Что вы можете рассказать о спектральных классах звезд?*