

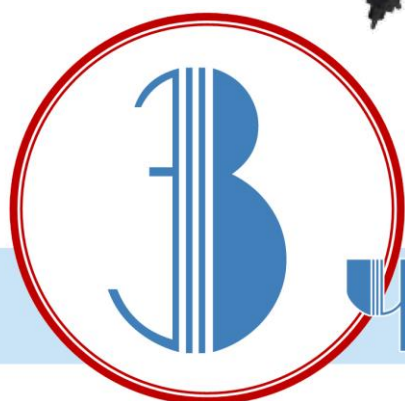
МИНИСТЕРСТВО СПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение
профессиональная образовательная организация
«Брянское государственное училище (колледж) олимпийского резерва»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по дисциплине

АСТРОНОМИЯ



ЧАСТЬ

Дмитроченков А.Е.

Астрономия. Учебное пособие в 3-х частях Часть III / А.Е. Дмитроченков, ФГБУ ПОО «БГУОР». – Брянск, 2022

Настоящее учебное пособие является переработанным вариантом широко известного учебника Б.А. Воронцова-Вельяминова «Астрономия 11 класс». В нем сохранены структура и методология изложения материала. Пособие образует завершенную предметную линию.

Содержание пособия соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего (полного) общего образования.

Курс астрономии, изложенный в данном пособии, рекомендуется использовать для обучающихся первого года обучения средних профессиональных учебных заведений, не зависимо от получаемой специальности.

Материал пособия составлен в соответствии с программой курса и предлагает комплексное (теоретическое и практическое) изучение ключевых вопросов миропонимания.

Рассмотрено и утверждено на заседании Методического Совета ФГБУ ПОО «БГУОР»

Протокол № ____ от _____ 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 5. ЗВЁЗДЫ, ГАЛАКТИКИ И ВСЕЛЕННАЯ

5.1	Состав и строение Солнца	4
5.2	Разнообразие звезд во Вселенной и их характеристики	00
5.3	Галактики и межзвездное пространство. Звездоплавание	00
5.4	Строение и эволюция Вселенной	00
5.5	Основы современной космологии	00

РАЗДЕЛ 5. ЗВЁЗДЫ, ГАЛАКТИКИ И ВСЕЛЕННАЯ

5.1. СРСТАВ И СТРОЕНИЕ СОЛНЦА

Солнце — центральное тело Солнечной системы — является типичным представителем звезд наиболее распространенных во Вселенной. Масса Солнца составляет 2×10^{30} кг.

Как и многие другие звезды, Солнце представляет собою огромный шар, который состоит из водородно-гелиевой плазмы.

Солнце излучает в космическое пространство колоссальный поток излучения. Земля получает всего лишь $\frac{1}{2} 000\,000\,000$ долю солнечного излучения. Однако и этого достаточно, чтобы приводить в движение все процессы в земной атмосфере, управлять погодой и климатом на земном шаре.

Все источники энергии, которые использует человечество, связаны с Солнцем. Тепло и свет Солнца обеспечили развитие жизни на Земле, формирование месторождений угля, нефти и газа.

Количество приходящей от Солнца на Землю энергии принято характеризовать *солнечной постоянной*.

Солнечная постоянная - поток солнечного излучения, который приходит на поверхность площадью 1 м^2 расположенную за пределами атмосферы перпендикулярно солнечным лучам на среднем расстоянии Земли от Солнца (1 а. е.).

Солнечная постоянная равна $1,37 \text{ кВт/м}^2$. Умножив эту величину на площадь поверхности шара, радиус которого 1 а. е., определим полную мощность излучения Солнца, его светимость, которая составляет $4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$.

Температура поверхности Солнца 6000 К ($5\,726^\circ \text{ С}$). Очевидно, что такая температура может поддерживаться лишь за счет постоянного притока энергии из недр Солнца, в недрах которого вот уже 5 млрд лет протекает термоядерная реакция, в ходе которой водород превращается в гелий. Реакция сопровождается выделением энергии.

Современные данные о химическом составе Солнца таковы:

- водород около 70%
- гелий— более 28%
- прочие элементы — менее 2%

Вещество Солнца сильно ионизовано: атомы, потерявшие электроны своих внешних оболочек и ставшие ионами, вместе со свободными электронами образуют плазму. Средняя плотность солнечного вещества соизмерима с плотностью воды.

Солнце находится в состоянии статического равновесия, Сила тяжести постоянно стремятся сжать Солнце, а силы внутреннего давления (термоядерные) противостоят этому. Величина давления равно примерно в 1 млрд раз превосходит земное атмосферное давление.



Внутреннее строение Солнца:

- **ядро** — здесь при высоком давлении и температуре происходят термоядерные реакции

- **лучистая зона** - где энергия передается наружу от слоя к слою в результате последовательного поглощения и излучения квантов

- **конвективная зона** - где энергия переносится в результате перемешивания (конвекции).

Атмосфера Солнца:

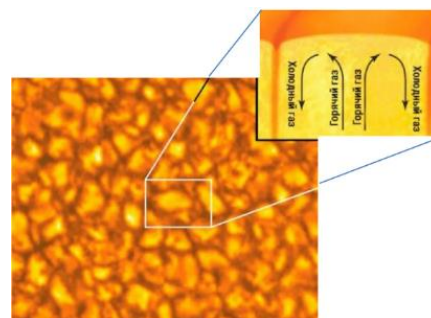
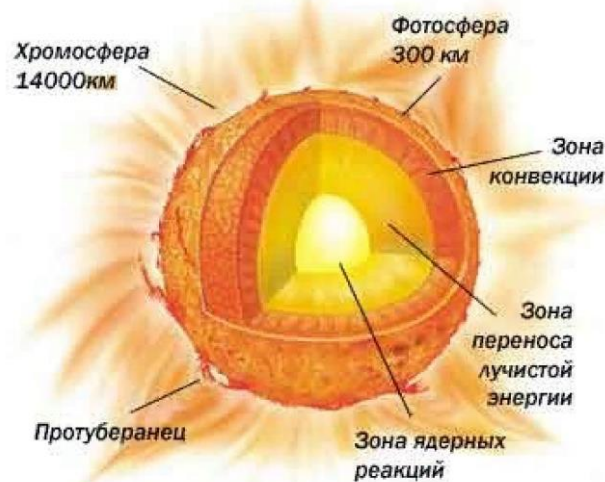
- **фотосфера** — поверхность Солнца. Фотосфера состоит из отдельных зерен — гранул, размером до 1000 километров. Гранула — это поток горячего газа, поднимающийся вверх. В темных промежутках между гранулами находится более холодный газ, опускающийся вниз.

Каждая гранула существует всего 5—10 мин, затем на ее месте появляется новая, которая отличается от прежней по форме и размерам.

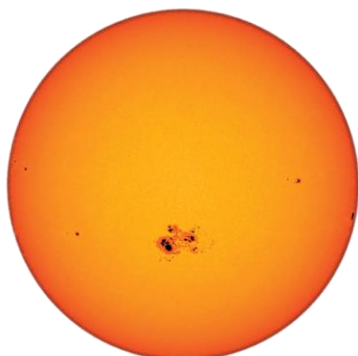
- **хромосфера** — красновато-фиолетовое кольцо хромосферы можно видеть в те моменты, когда диск Солнца закрыт Луной во время полного солнечного затмения. В хромосфере вещество имеет температуру в 2—3 раза выше, чем в фотосфере. Здесь, как и внутри Солнца, оно представляет собой плазму, только меньшей плотности. Толщина хромосферы 10—15 тыс. км.

- **солнечная корона** — простирающаяся на миллионы километров область, где температура возрастает до 150 000 000°C (!). Корону Солнца можно наблюдать во время полных солнечных затмений.

Потоки плазмы из короны («солнечный ветер») разлетаются по всей Солнечной системе. Скорость этих потоков в окрестностях Земли может достигать 1000 км/с.



Солнечная активность



В атмосфере Солнца наблюдаются многообразные проявления солнечной активности, характер протекания которых определяется поведением солнечной плазмы в магнитном поле — *пятна, вспышки, протуберанцы, корональные выбросы*.

Наиболее известными из них являются **солнечные пятна**, открытые еще в XVII в. По изменению положения пятен на диске Солнца было обнаружено,

что оно вращается. Время полного оборота вокруг оси 25-30 суток (на экваторе и на полюсах).

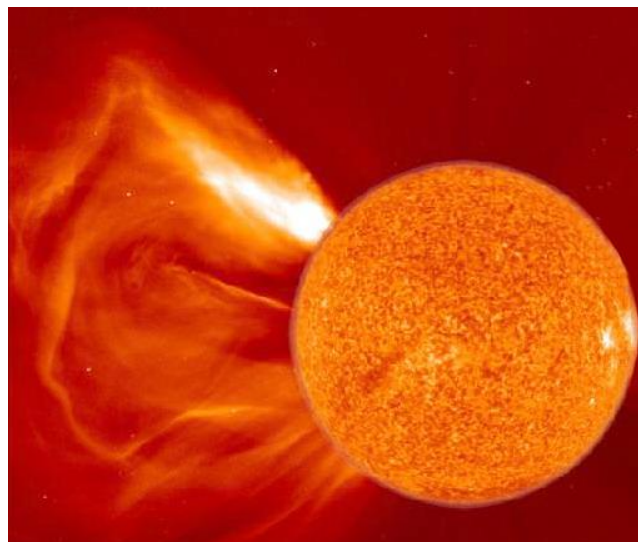
Пятна появляются там, где магнитное поле усиливается в несколько тысяч раз по сравнению с общим фоном. Вблизи пятен, где магнитное поле слабее, появляются хорошо заметные яркие образования — факелы.

Наиболее крупными по своим масштабам проявлениями солнечной активности являются наблюдаемые в солнечной короне **протуберанцы** — огромные по объему облака газа, масса которых может достигать миллиардов тонн. Отдельные части протуберанцев быстро устремляются вверх со скоростями нескольких сотен километров в секунду и поднимаются на огромную высоту (до 1 млн км).



Самыми мощными проявлениями солнечной активности являются **вспышки**, в процессе которых за несколько минут иногда выделяется энергия до миллиарда атомных бомб.

Продолжительность вспышек обычно около часа. По своей сути вспышка — это взрыв, вызванный внезапным сжатием солнечной плазмы.



Потоки плазмы через сутки достигают Земли. Взаимодействие такого облака с магнитосферой Земли вызывает **магнитную бурю**. Магнитные бури вызывают нарушения радиосигналов, влияет на прохождение тока в линиях электропередач.

Число пятен и протуберанцев, частота и мощность вспышек (т.е. активность Солнца) происходит с периодичностью в 11 лет.

Звезды и межзвездные расстояния

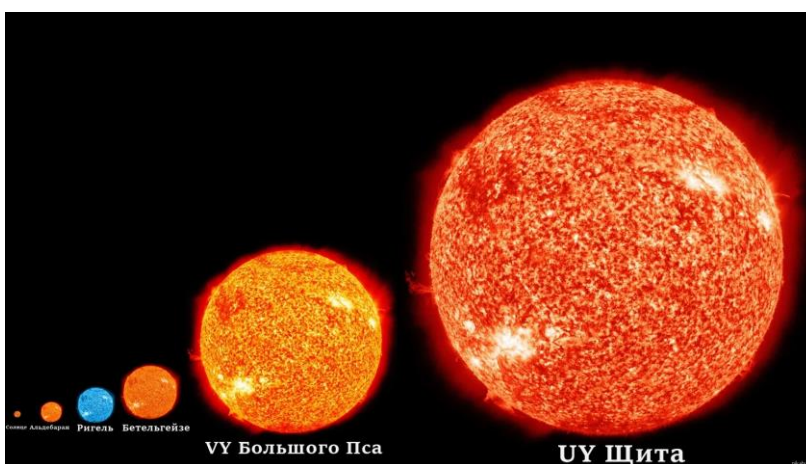
Солнце справедливо называют типичной звездой, но среди огромного многообразия звезд есть немало таких, которые значительно отличаются от него по физическим характеристикам. Поэтому более полное представление о звездах дает такое определение:



Звезда — это пространственно обособленный гравитационно связанный непрозрачный для излучения космический объект, в котором в значительных масштабах происходят термоядерные реакции превращения водорода в гелий.

Солнце существует уже несколько миллиардов лет и мало изменилось за это время, поскольку в его недрах все еще происходят термоядерные реакции, в

результате которых из четырех протонов (ядер водорода) образуется альфа-частица (ядро гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов).



Более массивные звезды расходуют запасы водорода значительно быстрее (за десятки миллионов лет). После того как водород израсходован, начинаются реакции между ядрами гелия с образованием устойчивого изотопа углерод-12 и другие реакции, продуктами которых являются кислород и тяжелые элементы (натрий, сера,

магний и т. д.). Таким образом, в недрах звезд образуются ядра многих химических элементов, вплоть до железа.

У наиболее массивных звезд прекращение всех возможных термоядерных реакций сопровождается мощным взрывом, который наблюдается как вспышка сверхновой звезды.

Все элементы, которые входят в состав нашей планеты и всего живого на ней, образовались в результате термоядерных реакций, происходивших в звездах, поэтому звезды не только самые распространенные во Вселенной объекты, но и самые важные для понимания происходящих в ней явлений и процессов.

Именно термоядерные реакции являются характерной отличительной особенностью звезд от планет. Поэтому современное определение планеты формулируется так:



Планета — это космический объект, в котором за все время его существования не происходят никакие реакции термоядерного синтеза.

Годичный параллакс

Только в середине XIX в., когда телескопы были оборудованы приспособлениями для точных угловых измерений, удаюсь измерить параллактическое смещение у звезд.

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

Расстояние до звезды:

$$D = \alpha / \sin p$$

где α — большая полуось земной орбиты.

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

$$D = 206\,265'' / p$$

Расстояние до ближайшей звезды (α Центавра), параллакс которой $p = 0,75''$ составляет:

$$D = 206\,265'' / 0,75'' = 270\,000 \text{ а. е.}$$

Поскольку такие огромные расстояния неудобно обозначать длинными цифрами, были введены единицы измерения космических расстояний – парсек (пк) и световой год (сг).



Парсек — это такое расстояние, на котором параллакс звезд равен $1''$.

Световой год — это такое расстояние, которое свет, распространяясь со скоростью $300\,000 \text{ км/с}$. проходит за год (например, от α Центавра свет идет свыше 4 лет, от Солнца - 8 минут, а от Луны - 1 секунду).

$$1 \text{ пак} = 3,26 \text{ сг}$$

Звезды, находящиеся на одинаковом расстоянии, могут отличаться по видимой яркости (светимости). Светимостью называется полная энергия, излучаемая звездой в единицу времени. Она выражается в единицах светимости Солнца.

Спектр и цвет звёзды

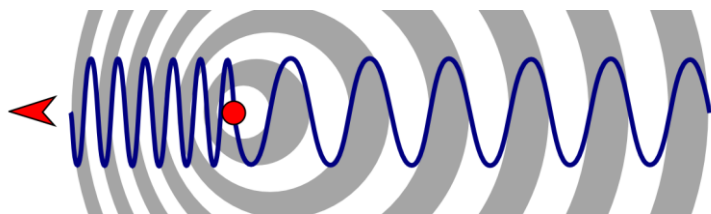
Информацию о звездах можно получить на основе исследования приходящего от них излучения. Наблюдая звезды, можно заметить, что они имеют различный цвет. Хорошо известно, что цвет любого нагретого тела зависит от его температуры.

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

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

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

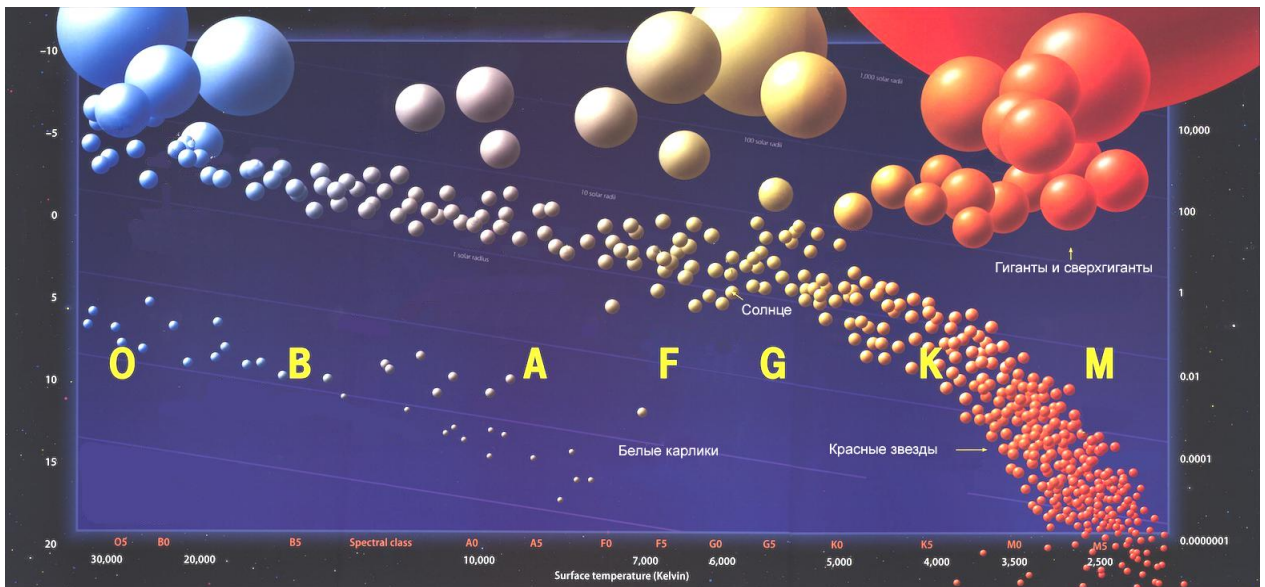
Измерение положения спектральных линий звезд позволяет определить скорость их движения.



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.

Существует четкая закономерность цвета, температуры и размера звезд. Если по горизонтальной оси отложить температуру звезд, а по вертикальной —

их светимость, то каждой звезде будет соответствовать определенная точка на этой диаграмме.



В результате обнаруживается определенная закономерность в расположении звезд на диаграмме — они не заполняют все ее поле, а образуют несколько групп, названных последовательностями. Наиболее многочисленной (примерно 90% всех звезд) оказалась главная последовательность, к числу звезд которой принадлежит наше Солнце (его положение отмечено на диаграмме). Звезды этой последовательности отличаются друг от друга по светимости и температуре, и взаимосвязь этих характеристик соблюдается весьма строго: самую высокую светимость имеют наиболее горячие звезды, а по мере уменьшения температуры светимость падает.

Красные звезды малой светимости получили название красных карликов. На диаграмме представлены звезды высокой светимости, такие звезды принадлежат последовательности гигантов и сверхгигантов.

Особое место на диаграмме занимают горячие звезды малой светимости — белые карлики.

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.

Размеры звезд.

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/м³.

Модели

В зависимости от массы и размеров звезды различаются по внутреннему строению, хотя все имеют примерно одинаковый химический состав (95—98% их массы составляют водород и гелий).

Звезды главной последовательности, температура которых такая же, как у Солнца, или ниже, похожи на него по внутреннему строению. Среди множества звезд этого типа есть и такие, которые по многим своим характеристикам являются «двойниками» Солнца. Наиболее яркой из них является ρ Гончих Псов. У более горячих звезд главной последовательности внешняя конвективная зона отсутствует. В этих звездах конвекция происходит в ядре протяженностью до 1/4 их радиуса, окруженном лучистой оболочкой.

Гиганты и сверхгиганты имеют очень маленькое ядро (его радиус около 0,001 доли радиуса гнеты). Термоядерные реакции происходят в окружающем его гонком слое; далее на протяжении около 0,1 радиуса звезды происходит передача энергии излучением. Практически весь остальной объем (9/10 радиуса) составляет протяженная конвективная

зона. Белые карлики состоят из вырожденного газа, давление которого определяется лишь его плотностью и не зависит от температуры. Равновесие такой «экзотической» звезды, масса которой равна солнечной, наступает лишь тогда, когда она сожмется до размеров, примерно ранних размерам Земли. Внутри белого карлика температура достигает 10 млн К и практически не меняется; только в тонкой оболочке из «обычного» вещества она резко падает до 10 000 К.

В 1996 г. были открыты космические тела, которые являются промежуточным звеном между звездами и планетами. Они получили название «коричневые карлики», поскольку слабо излучают только в инфракрасном диапазоне. Именно это излучение было обнаружено приборами, установленными на борту искусственных спутников. Коричневые карлики обладают слишком малой массой, что не обеспечивает температуры, необходимой для протекания термоядерной реакции превращения водорода в гелий. Гравитационное сжатие их массы достаточно лишь для того, чтобы достигнутая температура обеспечила в течение короткого (по космическим меркам) времени превращение дейтерия (тяжелого изотопа водорода) в гелий. Масса коричневых карликов составляет всего лишь 0,01—0,07

массы Солнца. Про них можно сказать, что они еще не звезды, но уже не планеты.

Понять, как связаны между собой различные типы звезд, как они возникают и как происходит их эволюция, оказалось возможным только на основе изучения всей совокупности звезд, образующих огромные звездные системы — галактики.

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.

Например, в китайских и японских хрониках сохранились сведения о «звезде-гостье», которая вспыхнула в созвездии Тельца в 1054 г. и в течение трех недель была видна днем, а через год совершенно «исчезла».

В 1572 г. учитель Кеплера Тихо Браге наблюдал в созвездии Кассиопеи новую звезду, которая была ярче Венеры. В 1604 г. уже сам Кеплер наблюдал новую звезду в созвездии Змееносца.

В XX в. тщательные наблюдения за звездным небом с применением фотографии позволили установить, что такие неожиданные вспышки наблюдаются у звезд, которые до этого долгое время оставались слабыми и не привлекали к себе внимание астрономов. В настоящее время различают новые и сверхновые вспыхивающие звезды.

Долгое время причины вспышек новых звезд оставались непонятыми. Положение изменилось, когда в 1954 г.

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. Теоретические расчеты, результаты которых хорошо согласуются с наблюдательными данными, позволили составить достаточно полное представление о процессах, происходящих в тех сверхновых звездах, масса которых в десятки раз превосходит массу Солнца.

К моменту вспышки в них полностью исчерпаны возможности протекания термоядерных реакций. Эволюция таких массивных звезд — это непрерывно ускоряющийся процесс увеличения температуры и плотности в ядре звезды.

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

Сразу же после открытия пульсаров было высказано предположение о том, что они являются быстровращающимися нейтронными звездами. Излучение пульсара, которое испускается в узком конусе, наблюдатель видит лишь в том случае, когда при вращении звезды этот конус направлен на него подобно свету маяка. Вещество пульсаров состоит из нейтронов, образовавшихся при соединении протонов с электронами, тесно прижатых друг к другу гравитационными силами. Диаметры таких нейтронных звезд всего 20—30 км, а плотность близка к ядерной и может ее превышать.

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

Исследования показали, что пульсары являются остатками сверхновых звезд. Один из пульсаров был обнаружен в Крабовидной туманности, которая наблюдается на месте вспышки Сверхновой 1054 г.

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 излуче-

ние. Именно это излучение и позволяет обнаружить существование черной дыры. В настоящее время известно несколько десятков рентгеновских источников, в состав которых могут входить черные дыры.

Наиболее вероятным «кандидатом» среди них считается Лебедь X-1.

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.



Вопросы для закрепления

1. *Что изучает*

РАЗДЕЛ 5. ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

5.1. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ

Первая особенность астрономии

Вопросы для закрепления

1. *Что означает понятие*