

§ 26. Нестационарные звезды

1. Общая характеристика переменных звезд. Многие звезды изменяют свои физические характеристики в течение относительно короткого периода времени. Такие звезды называются **нестационарными**. В отличие от затменно-двойных звезд (см. § 24) они меняют свою светимость в результате физических процессов, происходящих в самих звездах. По этой причине их называют **физическими переменными звездами**.

В зависимости от характера протекающих внутри звезды процессов физические переменные звезды бывают пульсирующими и эруптивными.

Пульсирующие переменные звезды — физические переменные звезды, у которых происходят периодические колебания блеска (например, цефеиды, звезды типа *RR* Лиры, мириды).

Эруптивные звезды — физические переменные звезды, проявляющие свою переменность в виде вспышек, которые объясняются выбросами вещества (например, новые и сверхновые звезды).

Все переменные звезды имеют специальные обозначения, если раньше им не были присвоены буквы греческого алфавита. В каждой созвездии первые 334 переменные звезды обозначаются последовательностью букв латинского алфавита *R, S, T, ..., Z, RR, RS, ..., RZ, SS, ST, ..., ZZ, AA, ..., AZ, ..., QQ, ..., QZ* с добавлением названия соответствующего созвездия. Следующие переменные, которым не хватило комбинации этих букв в созвездии, обозначаются *V 335, V 336* и т. д.

2. Пульсирующие переменные звезды. Первая пульсирующая звезда была открыта немецким астрономом Давидом Фабрициусом в 1596 г. в созвездии Кита и названа Мирой. Период изменения блеска этой звезды составляет 331,6 суток.

Долгопериодические переменные звезды (с периодами от нескольких недель до года и более; звезды типа Миры Кита) называются **миридами**. Практически все звезды этого типа — красные гиганты огромных размеров и большой светимости. Амплитуды изменения блеска таких звезд могут достигать десяти звездных величин.

При эволюционном превращении звезды в звезду-гиганта происходит увеличение ее объема и уменьшение средней плотности вещества. В это время внутреннее строение звезды изменяется коренным образом, что может сопровождаться нарушением равновесия между силами гравитационного притяжения и лучевого давления. Это приводит к периодическим колебаниям объема звезды: ее оболочка то расширяется, то сжимается. Пульсация звезды происходит благодаря клапанному механизму, когда непрозрачность наружных слоев звезды задерживает часть излучения внутренних слоев. При нагревании наружный

слой становится прозрачным, поток выходящего излучения увеличивается. Но это приводит к охлаждению и сжатию, из-за чего слой вновь становится непрозрачным и весь процесс повторяется снова.

Обширный класс очень ярких переменных звезд-сверхгигантов и гигантов классов *F* и *G* называется **цефеидами**. Это пульсирующие переменные звезды, блеск которых плавно и периодически меняется от 0,5 до 2 звездных величин. Период изменения блеска составляет от 1,5 до 70 суток. Название происходит от звезды δ Цефея — одной из наиболее типичных для данного класса переменных звезд.

Одновременно с видимой звездной величиной у цефеид меняется спектр и температура (в среднем на 1500 градусов) (рис. 131).

Период пульсаций звезды зависит от средней плотности ее вещества и подчиняется следующей закономерности:

$$P = \frac{\text{const}}{\sqrt{\rho}} = \frac{0,12}{\sqrt{\rho}},$$

где P — период пульсаций (в сутках), ρ — средняя плотность (в единицах средней плотности Солнца). Средняя плотность вещества цефеид составляет 10^{-2} кг/м³.

Цефеиды с большей массой имеют большую светимость, больший радиус, но меньшую плотность и, соответственно, больший период пульсации, т. е. цефеиды обладают важной зависимостью «период—светимость» (рис. 132). Эта зависимость описывается выражением: $M = -1,43 - 2,81 \cdot \lg P$, где P — период изменения блеска в сутках, а M — средняя абсолютная звездная величина. Таким

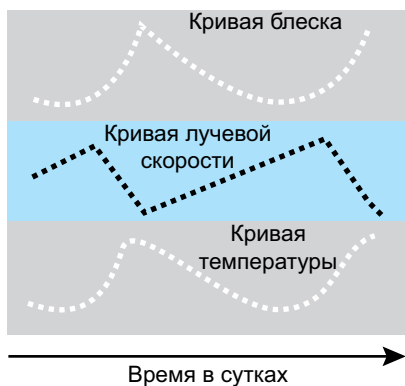


Рис. 131. Графики изменения блеска, лучевой скорости и температуры цефеид

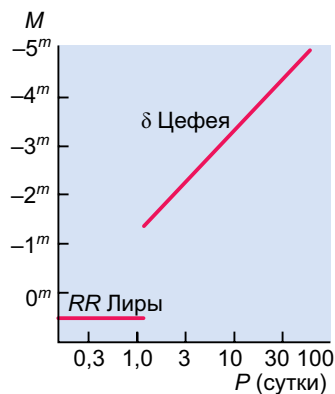


Рис. 132. Зависимость «период — светимость» у цефеид и звезд типа RR Лиры

образом, по известному из наблюдений периоду можно определить абсолютную звездную величину или светимость звезды. Сравнивая ее с наблюдаемой видимой звездной величиной, можно определить расстояние до цефеиды. Высокая светимость и переменность блеска позволяют обнаруживать цефеиды вплоть до расстояний 20 Мпк. Их наблюдают в ближайших галактиках, определяя таким образом расстояния до этих звездных систем.

Цефеиды образно называют маяками Вселенной. К настоящему времени в нашей Галактике известно свыше 800 цефеид.

Другой разновидностью пульсирующих переменных звезд являются **звезды типа RR Лиры**, имеющие более короткие периоды: от 0,2 до 1,2 суток. Практически все звезды этого типа — гиганты спектрального класса А. Они очень быстро меняют блеск. Амплитуда изменения блеска достигает 1-й звездной величины. У этих звезд, как и у цефеид, существует зависимость между периодом и светимостью (см. рис. 132).

3. Новые звезды. Звезды, блеск которых внезапно увеличивается в тысячи и миллионы раз за несколько суток, после чего ослабевает до первоначального в течение года и более, называются **новыми звездами**.

Термин «новая звезда» не подразумевает, что звезда родилась. Так называют звезды, у которых внезапно увеличился блеск. Например, одна из новых звезд, вспыхнувшая в июне 1918 г., увеличила свой блеск за четыре дня с 11-й до -0,5-й звездной величины (т. е. в 40 тыс. раз), а затем приняла прежнее значение блеска за период чуть более 1,5 года.

Наблюдения показывают, что вспыхивающими новыми звездами являются горячие белые карлики спектральных классов *O* — *B*, имеющие абсолютную звездную величину порядка 4^m — 5^m . Во время вспышки эти звезды увеличивают свой блеск на 7^m — 16^m звездных величин (рис. 133). За время вспышки новая

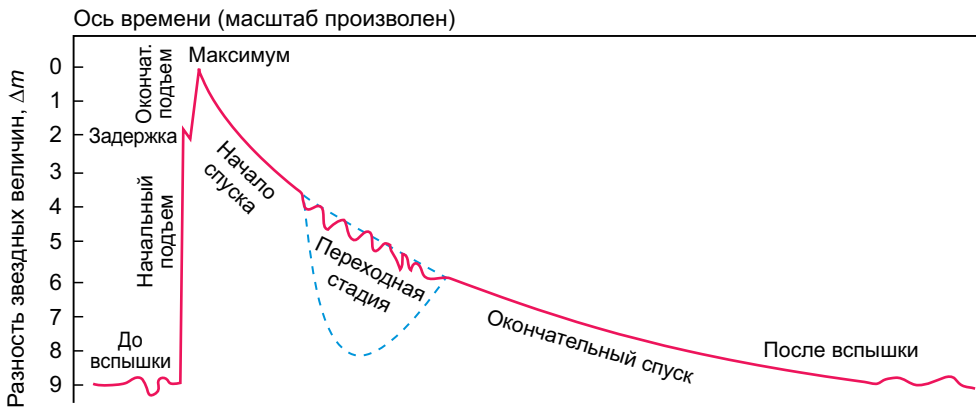


Рис. 133. График изменения блеска новой звезды



Рис. 134. Крабовидная туманность — остаток от взрыва сверхновой звезды

в максимуме абсолютной звездной величины от -18^m до -19^m . Отдельные сверхновые в максимуме блеска превышают светимость Солнца в десятки миллиардов раз, достигая абсолютной звездной величины $M = -21^m$.

В китайских летописях упоминается о внезапном появлении в 1054 г. в созвездии Тельца и наблюдавшейся китайскими и японскими астрономами «звезды-гостя», которая казалась ярче Венеры и была видна даже днем. Спустя два месяца эта звезда начала угасать, а еще через несколько месяцев совершенно исчезла из поля зрения. В наше время с помощью достаточно мощных телескопов в этом созвездии можно видеть туманность причудливой формы, напоминающую плывущего в воде краба. Туманность так и назвали — Крабовидная (рис. 134). Наблюдения показали, что она расширяется. С учетом скорости расширения можно заключить, что Крабовидная туманность — это остаток взрыва сверхновой 1054 г.



Рис. 135. Сверхновая SN 1987A в Большом Магеллановом Облаке (указана стрелкой)

звезда излучает энергию около 10^{38} Дж (такая энергия излучается Солнцем примерно за 100 тыс. лет!).

Причиной взрыва новых звезд является обмен вещества между компонентами тесных двойных пар, к которым принадлежат все достаточно детально исследованные бывшие новые звезды. Многие новые звезды вспыхивают неоднократно. Если вспышка повторяется, такую звезду называют повторной новой.

4. Сверхновые звезды. Сверхновые звезды — одно из самых грандиозных и захватывающих космических явлений. **Сверхновыми** называются звезды, вспыхивающие подобно новым и достигающие

в нашей Галактике за последнее тысячелетие зарегистрировано несколько случаев вспышек сверхновых звезд. Наиболее яркая сверхновая звезда, наблюдавшаяся с помощью современной техники, появилась в 1987 г. в одной из ближайших галактик — Большом Магеллановом Облаке (рис. 135).

Звезда вспыхивает вследствие коллапса (схлопывания) своего массивного ядра. Происходит это следующим образом. На разных этапах жизни массивной звезды в ее ядре протекают термоядерные реакции, при которых сначала водород превращается в гелий, затем гелий — в углерод и т. д. до образования ядер элементов группы железа (Fe, Ni, Co). Постепенно звезда все больше и больше «расслаивается» (рис. 136).

Ядерные реакции с образованием еще более тяжелых химических элементов идут с поглощением энергии, поэтому звезда начинает охлаждаться и сжиматься. Внутренние слои словно обрушиваются к центру звезды, происходит термоядерный взрыв, возникает ударная волна, движущаяся обратно от центра. В итоге наружные слои звезды выбрасываются с огромной скоростью и наблюдается вспышка сверхновой.

При взрыве освобождается энергия порядка 10^{46} Дж. Такую энергию наше Солнце способно излучить лишь за миллиарды лет. От огромной звезды остаются только расширяющаяся с большой скоростью газовая оболочка и нейтронная звезда (или черная дыра).

Если звездная масса невелика, то силы гравитации сравнительно слабы и сжатие звезды (гравитационный коллапс) прекращается. При очень высокой плотности вещества электроны, соединяясь с протонами, образуют нейтральные частицы — нейтроны. Вскоре почти вся звезда будет состоять из одних нейтронов, тесно прижатых друг другу, и огромная звездная масса будет сосредоточена в очень небольшом шаре размером порядка десяти километров (рис. 137). Плотность этого шара — **нейтронной звезды** — может составлять 10^{17} — 10^{18} кг/м³.

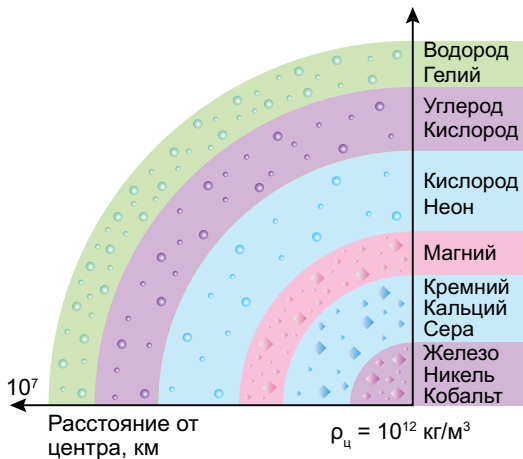


Рис. 136. Расслоение массивных звезд



Рис. 137. Относительные размеры белого карлика и нейтронной звезды



Рис. 138. Относительные размеры нейтронной звезды и черной дыры

Если такая звезда обладает мощным магнитным полем и находится в двойной системе, вещество соседки может захватываться и падать вдоль линий магнитного поля, создавая в районе магнитного полюса горячее пятно, излучающее в радиодиапазоне. В таком случае будет наблюдаться **пульсар** — быстро вращающаяся нейтронная звезда, испускающая радиопульсы. У известных сегодня пульсаров период испускания радиопульсов лежит в диапазоне от 0,0014 до 11,8 с.

Если в недрах звезды отсутствуют силы, противодействующие ее сжатию под действием сил гравитации, то звезда и дальше будет сжиматься. Плотность вещества будет продолжать увеличиваться. В результате массивная звезда (наименьшая известная масса составляет 5 масс Солнца) на заключительном этапе своей эволюции превращается в неустойчиво сжимающийся объект — **черную дыру** (рис. 138). Поле тяготения на границе черной дыры настолько велико, что сигналы от этого объекта не выходят наружу (отсюда происходит ее название), даже свет не в состоянии его преодолеть.

Критический радиус, до которого должна сжаться звезда, чтобы превратиться в черную дыру, называется **гравитационным радиусом** (r_g), или **радиусом Шварцшильда**. Для массивных звезд r_g составляет несколько десятков километров и может быть рассчитан по формуле:

$$r_g = \frac{2GM}{c^2},$$

где G — гравитационная постоянная, M — масса звезды, c — скорость света.

Теория относительности приводит к выводу, что вещество должно быть сжато в микроскопически малом объеме пространства в центре черной дыры. Это состояние называется **сингулярностью**. Границу черной дыры именуют **горизонтом событий**.



Рис. 139. Схема черной дыры в двойной системе

Чаще всего черную дыру удастся обнаружить двумя способами. Во-первых, если дыра образовалась в двойной системе звезд, то ее положение можно определить по обращению второго компонента вокруг «пустого места» (рис. 139). Во-вторых, при падении вещества на черную дыру должно возникать мощное рентгеновское

излучение. Источники такого излучения (Лебедь X-1, Скорпион X-1 и др.) зарегистрированы «кандидатами» в черные дыры, которые также могут существовать и наблюдаться как постоянно взаимодействующие с веществом в ядрах галактик.

В 2019 г. было получено изображение тени, предсказанной теорией, сверхмассивной черной дыры в центре галактики M87.

! Главные выводы

1. Звезды, которые изменяют свои физические характеристики в течение относительно короткого периода времени, называются нестационарными. Они бывают пульсирующими и эруптивными.
2. Физические переменные звезды — это пульсирующие звезды, которые меняют свою светимость за короткие промежутки времени в результате физических процессов, происходящих в самой звезде.
3. Эруптивные звезды — физические переменные звезды, проявляющие свою переменность в виде вспышек. К ним относятся новые и сверхновые звезды.
4. Нейтронные звезды образуются при взрывах сверхновых звезд. Некоторые из них наблюдаются как пульсары, для которых характерно мощное узконаправленное пульсирующее радиоизлучение.
5. Черная дыра — область замкнутого пространства, созданная гравитационным полем массивного тела, которую не могут покинуть ни частицы, ни излучение.
6. В ходе эволюции звезд (в результате термоядерных реакций и взрывов) происходит образование химических элементов.

? Контрольные вопросы и задания

1. Чем отличаются физические переменные звезды от затменно-двойных звезд?
2. Какова причина пульсаций цефеид?
3. В чем состоит отличие новой звезды от сверхновой?
4. Как образовалась Крабовидная туманность?
5. Каковы причины взрыва новых и сверхновых звезд?
6. Объясните механизм радиоизлучения пульсара.
7. Какой объект называют черной дырой? Какими свойствами обладает черная дыра?
8. Определите среднюю плотность цефеиды, если ее период пульсаций составляет 20 сут.
9. Определите радиус Шварцшильда для звезды с массой, равной 3 массам Солнца.
10. Светимость сверхновой превышает светимость Солнца в 10^{11} раз. Если бы эта звезда появилась на нашем небе с яркостью, равной солнечной, то на каком расстоянии от Солнца она должна была бы находиться? $M_c = 4^m,8$; $m_c = -26^m,8$.
11. Цефеида ζ Близнецов имеет период изменения блеска $P = 10^d,15$ и среднюю видимую звездную величину $m = 3^m,93$. На каком расстоянии от Солнца она находится?