

## ОБ ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗД ВО ВСЕЛЕННОЙ

Еськова А.Е.

г. Балашиха, МБОУ № 11, 11 класс

По современным представлениям, базирующимся на достижениях в области космологии (от греческого kosmos – строй, порядок, мир, Вселенная), использующей наряду с известными астрономическими и физическими явлениями математическое моделирование. Вселенная включает бесконечное множество небесных тел, различающихся по массе и размерам.

К самым многочисленным объектам во Вселенной относятся звезды, многие из которых доступны визуальному восприятию. Звезды создают тяжелые элементы, необходимые для жизни. В солнечной системе центральная звезда – Солнце обеспечивает Землю светом и энергией.

На протяжении 10 млрд. лет в Галактике каждый год рождается около 10 звезд и постепенно межзвездная среда истощается. Ее восполнение возможно в результате попадания в Галактику небольших галактик-спутников, содержащих в большом количестве межзвездные газы.

В настоящей работе проведена классификация звезд и факторы, определяющие продолжительность их существования. Проведенный анализ основан на достижениях в изучении космического пространства, что связано в значительной мере с функционированием космического телескопа «Хаббл» (*Hubble Space Telescope, HST*), названного в честь Э. Хаббла (один из наиболее влиятельных астрономов и космологов в XX в.).

### Основная часть

Во Вселенной звезды существенно различаются по массе, что отражено на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Источником энергии звезд служит термоядерная реакция синтеза гелия из водорода (рис.).

Звезды с массой 0.012–0.0767M<sub>☉</sub> (солнечная масса M<sub>☉</sub> равна 1.9891·10<sup>30</sup> кг) и радиусами приблизительно равными радиусу Юпитера (6.99·10<sup>7</sup> м) относят к коричневым карликам. В звездах этого типа из-за относительно небольшой массы невозможно развитие термоядерной реакции на основе превращения водорода в гелий, что обеспечивает другим звездам длительное свечение. На начальном этапе своего существования коричневые карлики способны синтезировать легкие элементы, такие как дейтерий, литий и др. Это позволяет коричневым карликам некоторое время иметь

сходство со звездами главной последовательности, у которых в качестве источника энергии используется термоядерный синтез гелия из водорода. В недрах коричневых карликов термоядерные реакции поддерживаются в течение относительно коротких временных периодов и соответственно быстро остывают, тускнеют и превращаются в планетообразные объекты.

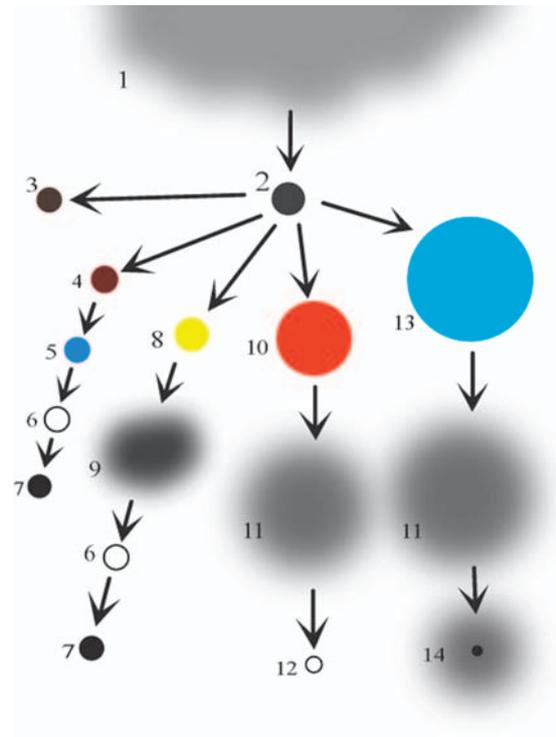


Рис. Возникновение и эволюция звезд (рисунок автора): 1 – газопылевая туманность, 2 – протозвезда, 3 – коричневый карлик, 4 – красный карлик, 5 – голубой карлик, 6 – белый карлик, 7 – черный карлик, 8 – звезда массой 0.4 – 1.2 M<sub>☉</sub>, 9 – планетарная туманность, 10 – звезда массой от 8M<sub>☉</sub>, 11 – сверхновая, 12 – нейтронная звезда, 13 – звезда массой, превышающей 30 M<sub>☉</sub>, 14 – черная дыра

Другой тип звезд – красные карлики имеют широкое распространение во Вселенной, составляя около 80% звезд Млечного Пути. Масса красных карликов (0.0767–0.4 M<sub>☉</sub>) позволяет им синтезировать гелий из водорода. Обладая низкой скоростью сжигания водородного топлива, красные карлики могут существовать от десятков миллиардов до десятков триллионов лет, превосходя по продолжительности существования коричневые карлики.

Красные карлики, израсходовав свой запас водородного топлива, должны превращаться в гипотетические голубые карлики. Но для их возникновения во Вселенной после Большого взрыва прошло еще недостаточно времени. Предполагается, что голубые карлики в свою очередь должны превращаться в белые, а белые – в черные карлики.

Звезды массой 0.4-0.8М<sub>☉</sub> относятся к оранжевым карликам. Их масса достаточна для выхода на главную последовательность, в которой они могут существовать 15–30·10<sup>9</sup> лет. После исчерпания запасов водородного топлива звезда такого типа подвергается многократному увеличению по размеру, что обуславливается началом гелиевой реакции. И оранжевый карлик преобразуется в красного гиганта. Он, выбрасывая во внешние слои газ, образует вокруг себя планетарную туманность, а ядро, находящееся в центре звезды, превращается в белый карлик.

Также к звездам главной последовательности относятся желтые карлики, масса которых находится в пределах 0.8–1.2М<sub>☉</sub>. Судя по массе, Солнце относится к желтым карликам. Продолжительность жизни звезд этого типа, составляет приблизительно 10<sup>10</sup> лет. После исчерпания запасов водородного топлива процессы на Солнце предположительно должны развиваться как у оранжевого карлика, но с большей скоростью, что обуславливается их различиями по массе, с уменьшением которой сокращается продолжительность жизни звезды.

Приняв, что Солнце существует приблизительно 5·10<sup>9</sup> лет, можно ожидать, что чрез 5·10<sup>9</sup> лет в ее недрах прекратится водородная реакция, поскольку весь водород превратится в гелий. После этого на Солнце начнется синтез углерода на основе имеющегося гелия. Этому будет сопутствовать увеличение размера Солнца настолько, что его внешние границы вполне могут достичь Земли, поглотив при расширении Меркурий и Венеру. Под влиянием этого температура на Земле повысится настолько, что произойдет испарение океанов [1]. С отсутствием свободной воды исчезнут условия для современной жизни.

Во всех случаях после того как звезда сойдет с главной последовательности (после того как прекратится водородная реакция) она, если позволяет масса, превращается в гиганта. На фазу гиганта невозможен переход звезд, масса которых не превышает 0.4М<sub>☉</sub>. Звезды массой от 0.4 до 1.2 М<sub>☉</sub> (оранжевые и желтые карлики), израсходовав водородное топливо, переходят в промежуточную стадию субгиганта. На этой ста-

дии прекращаются термоядерные реакции с участием водорода, но горение гелия еще не начинается потому, что гелиевое ядро еще недостаточно разогрето. Когда температура в ядре повысится до уровня, необходимого для запуска гелиевых реакций, наступает стадия красного гиганта. В состоянии красного гиганта звезда может просуществовать от 1000 (если масса звезды ≈ 10М<sub>☉</sub>) до 10<sup>8</sup> лет (если масса звезды ≈ 0.5 М<sub>☉</sub>).

Большие звезды массой от 1.2 до 8М<sub>☉</sub> после того как израсходуют водород и пройдут стадию субгиганта, подобно оранжевым и красным карликам, превращаются в красных гигантов, которые уже способны синтезировать более тяжелые химические элементы. И чем массивнее звезда, тем более тяжелые элементы она способна синтезировать. В начале синтезируется гелий, затем углерод, кислород и в конце, если позволяет масса звезды, то Fe<sup>56</sup>, который иногда называют пеплом термоядерного горения. [2]

На каждом этапе запусков термоядерных реакций (от гелиевых до углеродных и последующих) происходит определенная трансформация звезды, в результате чего она, то в сотни раз увеличивается, то – уменьшается. Соответственно этому возрастает или уменьшается светимость звезды. На последних этапах развития звезда сбрасывает свою оболочку в атмосферу в виде планетарной туманности, оставляя в центре белый карлик. У него нет каких-либо источников энергии. При малом радиусе (примерно в 100 раз меньше солнечного) Белый карлик обладает чрезвычайно большой плотностью, составляющей 10<sup>5</sup>–10<sup>9</sup> г/см<sup>3</sup>, в то время как плотность звезд главной последовательности почти в миллион раз меньше. В Галактике (Млечном Пути) на долю белых карликов приходится всего 3–10% звездного состава. Максимальная масса белых карликов достигает 1.44М<sub>☉</sub> (предел Чандрасекара). При его превышении образуется нейтронная звезда [3].

Наряду с красными гигантами во Вселенной существуют голубые гиганты. Они немного превосходят по массе красные гиганты, хотя границы пределов масс между ними слабо выражены. Поэтому дифференциация звезд на красные и голубые гиганты условна.

Звезды, масса которых больше 8М<sub>☉</sub>, заканчивают свое существование взрывом сверхновой, в результате которого образуется туманность, расширяющаяся с огромной скоростью (около 10000 км/с) [4]. Этому предшествуют изменения в ядре звезды. Ядро в ходе термоядерных реакций становится железным и когда его масса превысит 1.4 М<sub>☉</sub> наступает коллапс. Он выражается

в сжатии ядра под действием собственной силы тяжести и образовании сверхплотной нейтронной звезды. При массе составляющей примерно  $M_{\odot}$ , радиус ограничивается 10–20 км. Плотность нейтронной звезды в несколько раз превышает плотность атомного ядра ( $\rho$  ядерного вещества  $\approx 10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>).

В результате взрыва сверхновой может образоваться черная дыра. Она отличается очень сильным гравитационным притяжением, которое настолько велико, что у черной дыры даже свет (скорость в вакууме которого = 299 792 458 м/с) не может покинуть ее пределов. Образование черной дыры возможно, если начальная масса звезды превышает 30  $M_{\odot}$ , а ее ядро – 2.5–3  $M_{\odot}$  (предел Оппенгеймера-Волкова). Указанными пределами ограничивается минимальная масса черных дыр. Звезды, из которых обычно образуется черные дыры относятся к сверх- и гипергигантам. К сверхгигантам относят звезды, масса которых находится в пределах от 10 до 70  $M_{\odot}$ , у гипергигантов – она варьирует от 100 - 265  $M_{\odot}$ . Обладая большой массой, такие звезды отличаются небольшой продолжительностью жизни, составляющей у сверхгигантов от 30 до нескольких сотен миллионов, а у гипергигантов – всего несколько миллионов лет [5]. В Млечном пути таких звезд немного, вероятно, не больше 10.

### Заключение

Звезды формируются в газопылевых туманностях (межзвездных облаках), у кото-

рых некоторые области обладают большей плотностью и соответственно массой по отношению к окружающему веществу. Внутри каждой такой области формируется центр тяжести, что может быть вызвано ударной волной от взорвавшейся рядом сверхновой звезды, естественной динамикой внутри облака, столкновением двух облаков и т.п. Под действиями сил тяготения окружающее вещество начинает наслаиваться на уплотненную поверхность, увеличивая тем самым ее массу. В результате гравитационного коллапса уплотнение вещества в каждом таком центре приводит к образованию протозвезды, а находящийся обычно вокруг нее газопылевой диск ускоряет вращение.

Рост температуры протозвезды обуславливается столкновениями возрастающего количества частиц в ее недрах. При разогреве центра протозвезды до 15–20·10<sup>6</sup> К начинается термоядерная реакция, обеспечивающая в дальнейшем новую звезду энергией.

### Список литературы

1. К. Саган. Жизнь звезд // Космос. Амфора. 2015. С. 300-302.
2. <https://naked-science.ru/article/nakedscience/the-life-and-death-of-stars>
3. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB\\_%D0%A7%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB_%D0%A7%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%B0)
4. <http://galspace.spb.ru/index61-2.html>
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82>