

БУДУЩЕЕ СОЛНЦА

Наша звезда сияет миллиарды лет и будет сиять еще миллиарды. Но со временем, в отдаленном будущем, ее существование эффектно завершится.

Солнце, обретя после бурной юности относительную стабильность, производит энергию в результате ядерного синтеза. Ежесекундно примерно 700 млн тонн атомов водорода сливаются в топке солнечного ядра, чтобы стать ядрами более тяжелого элемента – гелия. В этом процессе около 4 млн тонн вещества преобразуется в энергию.

К счастью, Солнце настолько огромно, что это – лишь мельчайшая крупинка его общего энергетического запаса. Хотя за миллиарды лет этот запас медленно, но необратимо расходуется. По самым точным прогнозам, Солнце стабильно сияет приблизительно 5 млрд лет и, вероятно, ему хватит водорода, чтобы так же светить еще 5 млрд лет.

Однажды ресурс израсходуется, и начнется неизбежный процесс трансформации, который со временем приведет Солнце к гибели.

РОСТ ДО ГИГАНТА

На первой стадии этого процесса яркость Солнца неожиданно вырастет в тысячу раз в результате поисков дополнительных ресурсов питания. Начнет снижаться давление, поддерживаемое реакциями синтеза в ядре, и верхние слои Солнца опадут внутрь под действием собственной силы тяжести, сжимаясь и нагревая зону вокруг

ГИГАНТСКОЕ СОЛНЦЕ

Вид с безжизненной Земли на красное Солнце, уже достаточно огромное, чтобы поглотить Меркурий. Вдали чернеет диск Венеры.



ядра до температур и давления, достаточно высоких, чтобы запустить горение водорода в оболочке.

С прекращением горения водорода в ядре центр Солнца начнет разрушаться под собственным весом, а поддерживать солнечное сияние будет оболочка сгорания водорода. Сжимающееся ядро станет значительно горячее, что повысит температуру и скорость реакций в оболочке сгорания водорода. В результате этого Солнце станет ярче. В то же время повышение давления от потока излучения

КАК ЭТО РАБОТАЕТ ОТ КРАСНОГО ГИГАНТА ДО БЕЛОГО КАРЛИКА

Превращение звезды солнечного типа в красного гиганта начинается с перемещения выгоревшего водорода из ядра в расширившиеся внешние слои. Так как инертное ядро сжимается, со временем оно нагревается, вызывая горение водорода в оболочке. В результате начинается горение гелия в ядре, что замедляет горение водорода в оболочке и приводит к тому, что звезда становится не такой огромной и красной. Выгоревший гелий также поднимается во внешние слои звезды, превращая ее в асимптотического гиганта. Со временем звезда теряет внешние оболочки, из которых образуется планетарная туманность, а оголенное звездное ядро становится белым карликом.



1 РАБОТА НА ИЗНОС
Солнцеподобная звезда с водородом в ядре, из которого синтезируется гелий.

2 ОБЛОЧКА ВОДОРОДА Сжимающаяся и нагреваясь, ядро вызывает горение водорода в оболочке. Звезда становится ярче и раздувается до красного гиганта.

звезды на ее внешние слои будет способствовать тому, что слои, лежащие выше оболочки сгорания водорода, будут раздуваться.

За миллиарды лет диаметр Солнца увеличится в 250 раз, поглотив орбиты Меркурия, Венеры и, вероятно, Земли (см. «Земля, Луна и Солнце», выпуск 104). Несмотря на повышение яркости, увеличение площади поверхности приведет к тому, что количество энергии, излучаемой каждым квадратным метром, уменьшится. В результате температура поверхности Солнца упадет до 3000 °С, а его цвет из желтого станет красным. Так наша звезда превратится в красного гиганта.

Даже если внешние слои Солнца расширятся, его выгоревшее ядро с гелием, синтезированным из водорода, будет продолжать сжиматься, становясь плотнее и горячее. Со временем условия станут такими экстремальными (температура – примерно 100 млн °С), что ядра гелия



НАШИ СВЕДЕНИЯ
ПУЛЬСИРУЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ

Звездные пульсации могут быть вызваны различными причинами. Однако самые сильные пульсации в звездах типа Солнца возникают из-за температурных колебаний, которые связаны с реакциями горения гелия, питающими их на последнем этапе жизни.

Сравнительно небольшое изменение температуры может вдвое уменьшить или увеличить их скорость. Повышение температуры быстро ускоряет реакции, что приводит к увеличению звезды. Это в свою очередь приводит к снижению скорости горения гелия и понижению температуры. Лишившись питания изнутри, звезда снова сжимается, нагревая оболочку с гелием до такой степени, что процесс начинается сначала.

ПУЛЬСАЦИЯ Пульсирующая звезда Миры (на обоих фото): то маленькая и тусклая (вверху), то большая и яркая (внизу).

начнут сливаться, образуя более тяжелые ядра, такие как углерод и кислород (см. «Как это работает» на стр. 8).

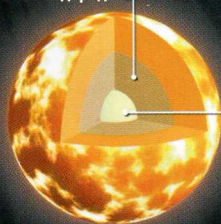
ГЕЛИЕВАЯ ВСПЫШКА

При гелиевой вспышке реакции синтеза стремительно распространятся по ядру, воспламеняя сердце Солнца. Повышение давления и излучения от центра приведут к тому, что оболочка сгорания водорода станет менее плотной, а количество ядерных реакций снизится настолько, что, несмотря на два источника питания, Солнце станет менее ярким. Его диаметр также уменьшится, а температура на поверхности возрастет. Но горение гелия даст Солнцу лишь короткую передышку на пути к гибели. После сравнительно короткого периода (несколько десятков миллионов лет) ядро исчерпает



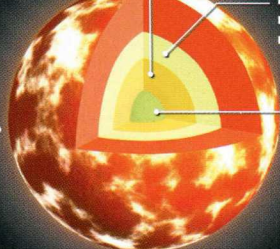
БЕТЕЛЬГЕЙЗЕ Фото красного сверхгиганта Бетельгейзе, сделанное «Хабблом». Если поместить эту звезду в центр Солнечной системы, она выйдет за орбиту Юпитера.

уменьшившаяся оболочка горения водорода



повторно «зажигается» ядро

оболочка горения гелия



возобновленное горение водорода в оболочке

выгоревшее богатое углеродом ядро

оголившееся ядро



сброшенные внешние слои

белый карлик



3 ГОРЕНИЕ ГЕЛИЯ Ядро становится достаточно горячим для горения гелия. При этом горение водорода в оболочке затихает, поэтому звезда уменьшается.

4 ОБОЛОЧКА ГЕЛИЯ Гелий в ядре иссыкает. Снова начинается сжатие ядра. Выгоревший гелий поднимается во внешние слои звезды.

5 УТРАЧЕННЫЙ ГАЗ Нестабильная звезда сбрасывает внешние оболочки, образуя планетарную туманность.

6 ВЫГОРАНИЕ Оголенное выгоревшее ядро становится белым карликом.



СИЯНИЕ СМЕРТИ

За красным гигантом Мира, пронсящимся через Млечный Путь, тянется хвост из истекающего с него вещества.

и этот источник питания, и превращение в красного гиганта возобновится, так как выгоревший гелий также поднимется в оболочку вокруг ядра.

На этот раз отсрочки не будет. Внешние слои Солнца будут расширяться и охлаждаться по мере сжатия ядра, но условия в ядре никогда не достигнут тех параметров, которые необходимы для горения тяжелых элементов, таких как углерод. Так как оболочки горения водорода и гелия начнут опадать внутрь Солнца, вся звезда станет нестабильной, то увеличиваясь, то уменьшаясь в размерах и меняя яркость, поскольку в ней будут противостоять друг другу процессы расширения и сжатия (см. «Наши сведения»).

КОЛЬЦА ДЫМА

Со временем периодические импульсы расширения во внешних слоях Солнца станут настолько сильными, что раздувающаяся звезда начнет сбрасывать свои внешние слои мерцающего газа со скоростью, достаточной высокой для преодоления ими

ГИБНУЩАЯ ЗВЕЗДА

На фото космического телескопа «Хаббл» – туманность Кольцо (M57). Умиравшая звезда парит в голубой дымке горячего газа.

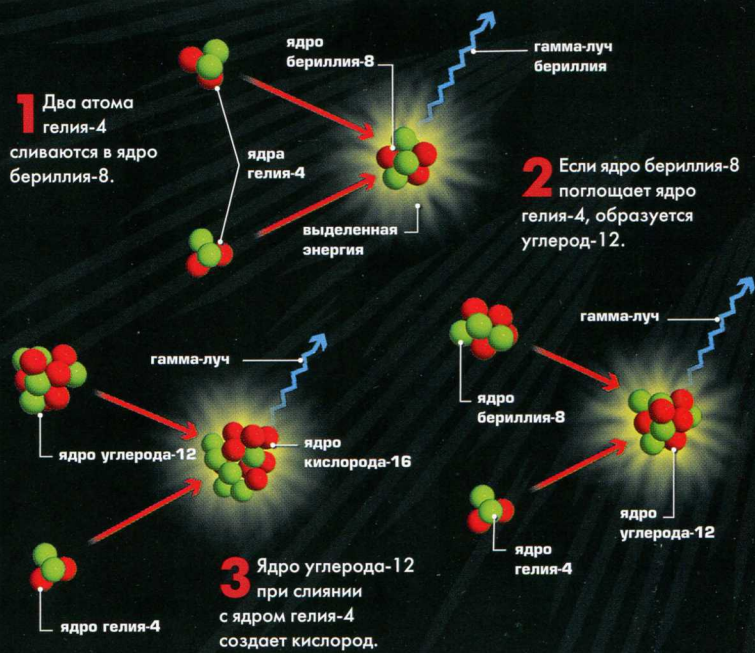


КАК ЭТО РАБОТАЕТ

ГОРЕНИЕ ГЕЛИЯ

Такие звезды как Солнце на последних этапах жизни сжигают гелий в ядерной реакции в результате слияния его ядер, которую называют тройным альфа-процессом (альфа, потому что ядра гелия-4 идентичны альфа-частицам). Этот процесс довольно прост: два ядра гелия-4, каждое из которых содержит две положительно заряженные частицы (протоны) и две электрически нейтральные (нейтроны), сливаются в ядро бериллия-8, масса которого значительно меньше. Избыток массы превращается в энергию, которая выбрасывается в виде гамма-луча. Если ядро бериллия-8 поглотит еще одно ядро гелия-4, получится ядро углерода-12 и освободится еще больше энергии. Часто альфа-частица сливается с углеродом-12, образуя кислород-16, а последующий синтез может в небольших количествах произвести неон и магний.

1 Два атома гелия-4 сливаются в ядро бериллия-8.



2 Если ядро бериллия-8 поглощает ядро гелия-4, образуется углерод-12.

3 Ядро углерода-12 при слиянии с ядром гелия-4 создает кислород.

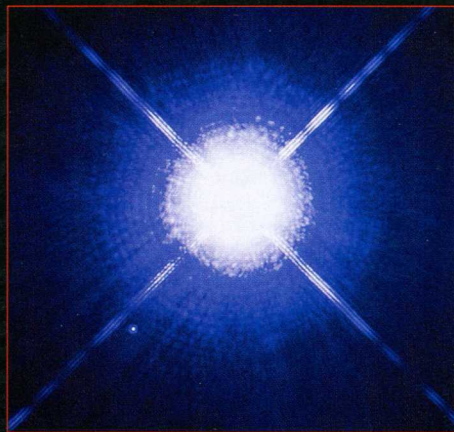


ВАЖНЫЕ ОТКРЫТИЯ

ОБНАРУЖЕНИЕ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

Несмотря на невероятно горячую поверхность, белый карлик незаметен из-за миниатюрного размера. Уильям Гершель впервые увидел карлика в тройной звездной системе 40 Эридана в 1783 году, но он не знал всей важности своего открытия. Только в 1910 году астрономы Гарвардской обсерватории заметили несоответствие между цветом этой звезды (как у очень ярких звезд) и светимостью. Вскоре американский астроном Уолтер Сидни Адамс догадался, что Сириус В, тусклый компаньон самой яркой звезды на

небе, — еще один объект такого типа. Название «белый карлик» для этих странных звезд придумал Виллем Лейтен в 1922 году.

**БОЛЬШАЯ И МАЛЕНЬКАЯ**

Сириус А, самая яркая звезда на ночном небе, и ее компаньон, белый карлик Сириус В (точка внизу слева). Сириус В примерно в 10 000 раз тусклее Сириуса А, но такие телескопы как «Хаббл» позволяют вычислять и изучать белых карликов.

ЗАМОРОЖЕННОЕ

БУДУЩЕЕ На рисунке — пустынная холодная Земля. Солнце (голубая звезда слева), ставшее белым карликом, больше не согревает нашу планету. Справа видна Луна.

Этап белого карлика означает конец существования звезды солнечного типа. Ее ждет медленное охлаждение в течение многих миллионов лет. Со временем температура ядра упадет до уровня, при котором оно не будет даже сиять. Белый карлик станет черным карликом, забытым звездным остатком, мимо которого будут пронеситься обугленные холодные остатки бывшей Солнечной системы.

В СЛЕДУЮЩЕМ ВЫПУСКЕ: МЕСТО НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ В ОГРОМНОЙ ВСЕЛЕННОЙ.

ее гравитации. Из них сформируется прекрасная, но недолговечная планетарная туманность, называемая так из-за того, что на большом расстоянии она по форме будет напоминать планету.

По космической временной шкале планетарные туманности недолговечны. Срок их жизни — всего несколько тысяч лет, так как они сбрасывают большую часть полученного от звезды газа в межзвездное пространство, где он становится материалом для будущих звезд. Этот газ еще долго будет горячим и сияющим, поскольку он будет ионизироваться излучениями из горячей центральной части Солнца, теперь напрямую попадающими в космос. Хотя реакции в его ядре прекратились, оно все еще очень горячее и способно излучать агрессивный ультрафиолет.

ПОСЛЕДНИЙ АККОРД БЕЛОГО КАРЛИКА

Формирование планетарной туманности — необратимый процесс. Если Солнце сбросит свою оболочку, все последующие реакции будут неизбежны, пока не останется только раскаленное ядро. Оно, сжатое собственной силой тяжести в шар размером с Землю, к этому моменту станет белым карликом — выгоревшей звездой, содержащей один из наиболее плотных известных материалов. Ложка этого материала, состоящего из ядер углерода и кислорода, будет весить примерно как слон.

