



Рис. 1.

По мере расширения оболочки и роста массы гелиевого ядра определяющую роль в поведении звезды начинают играть два фактора: конвекция, развивающаяся в оболочке, и вырождение, возникающее в ядре. Расширение оболочки и падение в ней темп-ры способствуют расширению внеш. конвективной зоны, к-рая имела у звезды на ГП. Развитие конвекции приводит к улучшению теплоотвода; что, благодаря отрицат. теплоёмкости звезды, вызывает её сжатие, рост темп-ры, тепловыделения и светимости. Рост светимости способствует росту лучистого градиента темп-ры, что ещё больше усиливает конвекцию. Т. о. возникает положительная обратная связь и конвекция захватывает значит. часть массы звезды, приближаясь к слоевому источнику. Светимость растёт, и звезда движется на ГРД от точки C к точке D (область красных гигантов).

По мере движения звезды к точке D происходит ускоренное горение водорода, масса изотермич. гелиевого ядра возрастает, что при условии равновесия приводит к росту его плотности. Т. к. темп-ра ядра при этом близка к темп-ре водородного слоевого источника и увеличивается слабо, рост плотности приводит к вырождению ядра. Давление в нём практически перестаёт зависеть от темп-ры. В этих условиях небольшое увеличение темп-ры ядра, связанное с возгоранием гелия, почти не влияет на давление, звезда приобретает положит. теплоёмкость, к-рая обуславливает резкое увеличение скорости горения гелия (*гелиевую вспышку*). Действительно, пока энерговыделение при горении гелия мало, звезда располагается на ГРД вблизи точки D и рост темп-ры и плотности приводит к росту энерговыделения, что в свою очередь увеличивает темп-ру. Возникает положительная обратная связь, приводящая к тепловой гелиевой вспышке в ядре. Развитие вспышки продолжается до тех пор, пока рост темп-ры не снимет вырождение в ядре, звезда приобретёт «нормальную» отрицат. теплоёмкость и дальнейшее горение гелия продолжится спокойно в невырожденном ядре. Особенностью гелиевой вспышки является то, что она запрятана в глубине звезды и внеш. проявления её почти отсутствуют. После образования невырожденного ядра звезда опускается вниз от точки D и поворачивает налево к линии EF (горизонтальная ветвь гигантов), где находится до тех пор, пока гелий в ядре превращается в углерод. Вновь образованное углеродное ядро становится вырожденным, возгорание гелия в слоевом источнике и образование двухслойного гелий-водородного горящего слоя приводят к развитию конвекции в оболочке, и вновь повторяется та же схема развития, причём звезда возвращается почти вдоль той же линии к точке D.

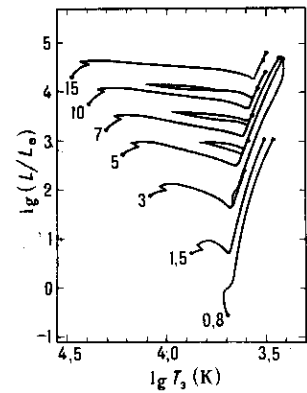
В отличие от водородных слоевых источников, где горение идёт спокойно, гелиевые слоевые источники неустойчивы относительно развития тепловой вспышки. Природа этой вспышки, так же, как и вспышки в гелиевом ядре, связана с положит. теплоёмкостью, ведущей к положительной обратной связи. Однако в слое положит. теплоёмкость обусловлена не вырождением (гелий здесь не вырожден), а геометрией области горения (тонкий слой) и быстрым ростом скорости энерговыделения с увеличением

темп-ры при горении гелия. Механизм неустойчивости слоевого горения не столь очевиден, как в случае вспышки в вырожденном ядре, и требует для своего обоснования детальных расчётов.

Т. о., в окрестности точки D располагаются спокойные звезды с гелиевыми ядрами и вспыхивающие — с углеродными. Вспышки способствуют истечению вещества, поэтому по мере роста углеродного ядра полная масса звезды уменьшается. После неск. сотен вспышек (цифра примерная, т. к. никому не удалось последовательно просчитать столь много вспышек) в результате быстрого истечения вещества и роста ядра масса над гелиево-водородным слоевым источником уменьшается настолько, что при той же светимости начинаются быстрое оседание оболочки на ядро, рост эфф. темп-ры и, следовательно, движение звезды влево. После исчерпания горючего в слоевых источниках (точка G) светимость поддерживается только за счёт теплоёмкости ядра, к-рое быстро остывает, звезда движется по ГРД вниз и превращается в белый карлик (точка H). На этой стадии звезда находится вплоть до полного остывания. Наблюдения свидетельствуют о том, что истечение вещества вблизи точки D происходит неравномерно и значит. доля массы сбрасывается непосредственно перед началом движения звезды влево, образуя *планетарную туманность*.

Звёзды с $M < 8 M_{\odot}$. У звёзд с $M < 0,8 M_{\odot}$ время жизни на ГП превышает космологич. время ($2 \cdot 10^{10}$ лет), и все они либо находятся на ГП, либо движутся к ней. В звёздах с $M > 0,8 M_{\odot}$ выгорание водорода сопровождается ростом плотности в центре звезды и приближением ядра к вырожденному состоянию. При $M < 2,25 M_{\odot}$ гелиевое ядро, образующееся после выгорания водорода, становится вырожденным, а оболочка сильно раздувается, приводя к росту светимости и уменьшению поверхностной темп-ры (рис. 2). Звезда становится красным гигантом. Вырожденное ядро неустойчиво относительно гелиевой вспышки. Гелиевая вспышка в ядре приводит к его расширению и снятию вырождения; при этом сгорает не более 1% гелия.

Рис. 2. Эволюционные треки звёзд с начальным химическим составом $X_H = 0,7$, $X_{He} = 0,27$, X_Z (содержание элементов тяжелее гелия) = 0,03] от главной последовательности до гелиевой вспышки (для $M = 0,8$ и $1,5 M_{\odot}$) или до возгорания углерода в центре (для $M = 3 + 15 M_{\odot}$). Цифры указывают массу звезды в M_{\odot} , точки соответствуют главной последовательности и моментам возгорания гелия и углерода в ядре.



Звёзды небольшой массы с невырожденным гелиевым ядром и водородной оболочкой после гелиевой вспышки располагаются на ГРД вблизи горизонтальной ветви гигантов (ГВГ, рис. 3). На этой ветви звёзды представляют собой гелиевые ядра массой $\approx 0,5 M_{\odot}$, окружённые водородными оболочками разл. массы. После выгорания гелия в ядре начинается его быстрое сжатие до загорания гелиевого слоевого источника. Звезда на ГРД движется вверх и направо к линии, называемой асимптотич. ветвью гигантов (АВГ). На этой линии звезда состоит из вырожденного углеродно-кислородного ядра и двух слоевых источников (гелиевого и водородного), расположенных очень близко друг от друга. Над ними располагается водородная оболочка, масса к-рой может достигать $7 M_{\odot}$. Удивительным свойством звёзд на АВГ является то, что их положение на ГРД зависит только от массы углеродного ядра и практически не зависит от массы водородной оболочки. Све-