

тимость L звезды на АВГ определяется ф-лой

$$L = 59\,100 \left(\frac{M_{CO}}{M_{\odot}} - 0.51 \right) L_{\odot}$$

где M_{CO} — масса углеродно-кислородного ядра. С ростом M_{CO} звезда движется на ГРД вверх по АВГ. Это движение не является спокойным. Малая толщина слоевых источников приводит к тепловым вспышкам (ТВ). Кол-во вспы-

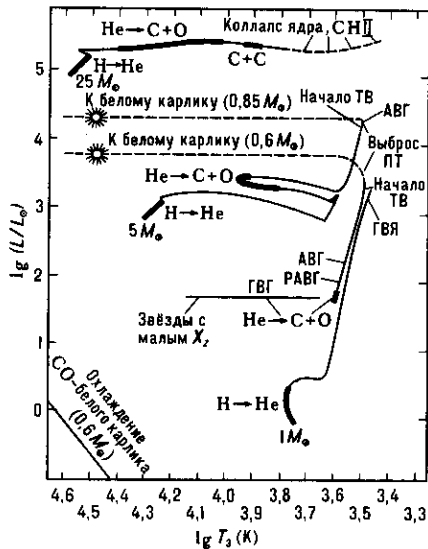


Рис. 3. Огрублённые эволюционные треки звёзд с начальными массами $M=1, 5, 25 M_{\odot}$. Жирные линии соответствуют основным стадиям горения в ядре (рядом указаны соответствующие реакции). Для $M < 2, 3 M_{\odot}$ происходит гелиевая вспышка в ядре (ГВЯ), далее начинается спокойное горение ${}^4\text{He}$ в ядре. После выгорания ${}^4\text{He}$ в ядре звезда переходит на раннюю асимитотическую ветвь гигантов (РАВГ). Когда ядро, в котором выгорел ${}^4\text{He}$, достигает массы $0,53 M_{\odot}$, начинаются тепловые вспышки (ТВ) в гелиевом слоевом источнике. На стадии АВГ происходит потеря массы, которая заканчивается быстрым сбросом остатка водородной оболочки в виде планетарной туманности (ПТ). СО-ядро массой $0,6 M_{\odot}$ превращается в белый карлик. Эволюция более массивных звёзд с $M < (8-9) M_{\odot}$ на стадии АВГ и дальше происходит аналогично. Кружком с лучами отмечено начало свечения планетарной туманности, когда T_3 звезды достигает $3 \cdot 10^4$ К и начинается ионизация газа в ПТ.

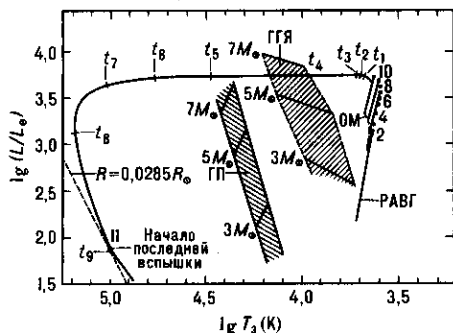


Рис. 4. Эволюционный трек звезды, превращающейся в белый карлик, с $M=0,6 M_{\odot}$, начиная от РАВГ; начальный состав: $X_H=0,749, X_{He}=0,25, X_Z=0,001$. Точки даны положения звезды перед очередной тепловой вспышкой, указан её номер. ОМ — огибающая минимумов светимости при вспышках. Показаны треки звезды в области минимумов вспышек № 7, 9 и 10. Заштрихованы участки на ГП и в области горения гелия в ядре (ГГЯ), где даны приближённые эволюционные треки звёзд с $M=3, 5, 7 M_{\odot}$. Штриховая линия слева соответствует звезде постоянного радиуса $R=0,0285 R_{\odot}$.

шек при движении по АВГ растёт с ростом массы водородной оболочки и может превышать неск. тысяч. Время между вспышками Δt также зависит в основном от массы ядра и определяется выражением

$$\lg \Delta t \approx 3,06 - 4,5 \left(\frac{M_{CO}}{M_{\odot}} - 1 \right)$$

(Δt в годах), а светимость звезды в максимуме вспышки

$$L_m = 97\,000 \left(\frac{M_{CO}}{M_{\odot}} - 0,52 \right) L_{\odot}$$

Характерным свойством звёзд на АВГ является интенсивная потеря массы. Считается, что звёзды с $M < 8 M_{\odot}$ теряют всю водородную оболочку и превращаются в белый карлик массой $\leq 1 M_{\odot}$. Механизм потери массы не вполне ясен, но считается (гл. обр. на основе данных наблюдений), что б. ч. массы теряется в виде спокойного истечения, а оставшаяся часть (неск. десятых долей M_{\odot}) сбрасывается быстро в виде сферич. оболочки, наблюдаемой как планетарная туманность. Эволюц. трек ядра планетарной туманности с $M=0,6 M_{\odot}$, превращающегося в белый карлик, приведён на рис. 4 (схематически такие треки показаны на рис. 3). Времена на штриховых отметках t_i и соответствующие массы водородных оболочек M_{ob} равны

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_i, 10^4$ лет	-3,0	-2,0	-1,0	-0,5	0	0,5	1,0	1,5	1,86
$M_{ob}, 10^{-3} M_{\odot}$	3,15	2,53	1,84	1,47	1,13	0,80	0,49	0,27	0,27

Звёзды с массой $M=(8-13) M_{\odot}$. У таких звёзд масса ядра достигает $\approx 1,39 M_{\odot}$. При сжатии ядра в нём зажигается углерод. Горение углерода в вырожденном ядре звезды с $M \approx 8 M_{\odot}$ неустойчиво, реакция ${}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\text{C}, \gamma + {}^{24}\text{Mg}$ приводит к взрыву и полному разлёту звезды. Возможно, подобные взрывы вызывают наблюдаемые вспышки сверхновых звёзд первого типа. В ядрах звёзд с нач. массами, превышающими $8 M_{\odot}$ (вплоть до $13 M_{\odot}$), углеродное ядро не выгорает. Вырождение наступает на стадии образования ядра из ${}^{16}\text{O}, {}^{20}\text{Ne}, {}^{24}\text{Mg}$. Для $M=(\geq 8-10) M_{\odot}$ вырожденное ядро сжимается в результате нейтронизации вещества ${}^{24}\text{Mg}$, сжатие переходит в гравитационный коллапс. При этом ядро разогревается за счёт неравновесной нейтронизации. В звёздах массой $(10-13) M_{\odot}$ в вырожденном ядре развивается тепловая неустойчивость, к-рая, как и при гелиевой вспышке, ведёт к снятию вырождения и переходу в режим спокойного горения вплоть до появления ${}^{56}\text{Fe}$ в центре звезды. Судьба такой звезды схожа с судьбой более массивных звёзд.

Эволюция массивных звёзд ($M > \approx 13 M_{\odot}$). Горение в центр. областях этих звёзд проходит в отсутствие вырождения вплоть до образования железного ядра. Расчётные эволюц. треки массивных звёзд после образования гелиевого ядра чувствительны к физ. предположениям, методу расчёта и очень разнообразны. Это проявляется в разл. форме петель на ГРД (аналогичных петлям для $5, 7, 10 M_{\odot}$ на рис. 2), а также в значениях эфф. темп-ры звезды на стадии горения гелия. Различие физ. предположений состоит в выборе критерия конвективной неустойчивости, к-рый учитывает [критерий П. Леду (P. Ledoux)] или не учитывает [критерий К. Шварцшильда (K. Schwarzschild)] стабилизирующую роль градиента хим. состава. С этим связано поведение т. н. полуконвективной зоны, к-рая является над конвективным ядром у звёзд с $M \geq 20 M_{\odot}$ на стадии горения водорода и имеет очень небольшое превышение градиента темп-ры над адиабатическим. В моделях, учитывающих градиент хим. состава, зона полуконвекции отделена от конвективного ядра лучистым слоем, что препятствует перемешиванию. Если же использовать критерий Шварцшильда, то возникает частичное перемешивание и условия эволюции существенно меняются. Горение гелия происходит в области голубых сверхгигантов при $\lg T_3 \geq 4$,