

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

# АСТРОФИЗИКА

ТОМ 9

АВГУСТ, 1973

ВЫПУСК 3

## ЭВОЛЮЦИОННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ: КРАСНЫЙ ГИГАНТ — ПЛАНЕТАРНАЯ ТУМАННОСТЬ — БЕЛЫЙ КАРЛИК

О. Х. ГУСЕЙНОВ

Поступила 19 февраля 1973

Пересмотрена 16 мая 1973

Приводятся аргументы в пользу эволюционной последовательности: красный гигант — планетарная туманность — белый карлик. Образование планетарной туманности объясняется магнитной накачкой между сжимающимся ядром и расширяющейся оболочкой красного гиганта.

В настоящее время пути эволюции звезд разных масс, хотя и грубо, известны. Особенно удовлетворительно теория звездной эволюции объясняет пути звезд от главной последовательности до красных гигантов. Однако образование белых карликов из красных гигантов, как указывается, например, в [1], считают связанным с двумя основными трудностями: 1) Родительская звезда (красный гигант) должна терять массу  $\sim 1M_{\odot}$ ; 2) Полная энергия белого карлика около  $\sim 3 \cdot 10^{50}$  эрг. Эта энергия слишком велика для того, чтобы быть выделенной за счет только фотонной светимости в процессе сжатия звезды. Выделение этой энергии не удается объяснить также вспышками Новых и Сверхновых.

С другой стороны, проблема происхождения планетарных туманностей (далее ПТ) в настоящее время еще далека от разрешения. Отделение оболочки от звезды с малой скоростью трудно объяснить причинами взрывного характера. Предлагались модели происхождения ПТ, связанные с тепловой неустойчивостью красного гиганта [2], динамической нестабильностью оболочки [3], гелиевой [4] или углеродной вспышкой [5] и т. д. Дальнейшее расширение ПТ объясняется газовым давлением в туманности и лучевым давлением ядра [6]. Для

объяснения форм туманности привлекаются магнитные поля ядра [7] или самой туманности [8]. Кстати, объяснение форм планетарных туманностей является очень трудной задачей [6, 8].

И. С. Шкловский в 1956 г. предложил гипотезу [9], согласно которой предшественником ПТ является красный гигант [2—6]. Однако следует напомнить, что Г. А. Гурзаян до сих пор считает ПТ начальной фазой эволюции звезд промежуточного составляющего Галактики [8].

Известно, что звезды с первоначальной массой  $\sim 1.3 M_{\odot}$  за время жизни Галактики ( $\sim 5 \cdot 10^9$  лет) успели проэволюционировать до стадии красного гиганта. Поэтому, а также вследствие других аргументов [10], красные гиганты, в основном, имеют массы  $\sim 1.3 M_{\odot}$ . По нашему мнению, красные гиганты с массой  $> 1.5 M_{\odot}$  расположены в плоскости Галактики и, вспыхивая как Сверхновые, дают релятивистские звезды. Следует отметить, что в стадии красного гиганта звезда может потерять до 20% своей массы [12]. Кроме того, если белый карлик образуется через планетарную туманность, то образование туманности уносит еще до  $0.3 M_{\odot}$  [6]. Поэтому оставшаяся масса уже вполне достаточна для образования белого карлика средней массы  $\sim 0.8 - 1.0 M_{\odot}$ . Первая трудность — сброс большой массы таким образом снимается.

Красный гигант малой массы живет  $\sim 10^9$  лет и излучает примерно в 50 раз больше Солнца [13]. Тогда может высветиться энергия  $\sim 10^{51}$  эрг, что достаточно для снятия второго противоречия. Ведь ни откуда не следует, что ядро красного гиганта (будущий белый карлик) должно потерять энергию  $\sim 3 \cdot 10^{50}$  эрг уже после потери оболочки. Ядро планетарной туманности имеет радиус в несколько раз больше радиуса белого карлика, но гравитационная энергия может быть равна или порядка  $\sim 10^{51}$  эрг из-за наличия разреженной оболочки и компактного ядра с радиусом белого карлика.

Известно, что хотя вращательная энергия обычных звезд мала по сравнению с ее внутренней и гравитационной энергиями, она быстро растет при сжатии звезды. Достаточно звезде с массой  $\sim 1 M_{\odot}$  уменьшить свой радиус до радиуса белого карлика, чтобы ее вращательная энергия возросла до  $\sim 10^{48}$  эрг. Ядро красного гиганта, превращаясь в белый карлик, передает свою вращательную энергию оболочке, которая превратится в планетарную туманность.

Напомним, что ежегодно в Галактике образуется в среднем один белый карлик и одна планетарная туманность [6, 8]. Ядро планетарной туманности является звездой очень горячей, но пониженной светимости из-за малого радиуса. Средняя масса ядра планетарной ту-

манности  $\leq 1 M_{\odot}$ . Среднее расстояние планетарных туманностей от галактической плоскости больше 250 пс [6]. Учитывая также и то, что на диаграмме Гершпрунга — Рессела нет других объектов, которые могли бы быть переходными между красными гигантами и белыми карликами, мы высказываемся в пользу эволюционной последовательности: красный гигант — планетарная туманность — белый карлик.

Отделение оболочки красного гиганта от центральной части, нам кажется, можно объяснить механизмом магнитной накачки, который был применен в [11] к образованию Сверхновых.

Первоначальное магнитное поле  $H_0$  усиливается при дифференциальном вращении как  $H = H_0 \cdot n$ , где  $n$  — число оборотов ядра относительно оболочки [11, 14]. Магнитное поле  $H$ , пронизывающее оболочку, должно быть близко к однородному в силу однородности внутреннего дипольного поля звезды. Можно принять, что магнитное поле в оболочке зависит от расстояния как  $H \sim r^{-k}$ , причем  $k$  меньше 3 и близко к 2.

Согласно оценкам Г. А. Гурзаяна [8], среднее магнитное поле в туманности может достигать  $\sim 10^{-3}$  гаусс. Наличие такого поля также свидетельствует в пользу усиления поля накачкой. Действительно, при однородном расширении туманности поле меняется как  $r^{-2}$ . Тогда первоначальное поле при  $R \sim 10^{13}$  см (начальный радиус звезды) должно быть  $\sim 10^6 - 10^7$  гаусс, что вряд ли возможно без предварительного усиления. На возможность сильных магнитных полей в звезде при отделении оболочки указывалось в [8].

Прежде чем перейти к конкретным оценкам, нужно отметить, что требование наличия сильного магнитного поля обусловлено также и тем, что интенсивная намотка силовых линий может в первое время после начала сжатия ядра просто не начаться, если велико конвективное движение в оболочке звезды. Для того, чтобы магнитная намотка могла начаться сразу после возникновения негтердотельности, необходимо выполнение условия

$$H_0^2 > \frac{3Mu_k^2}{2R^3}, \quad (1)$$

где  $u_k$  — скорость конвективных потоков в звезде,  $M$ ,  $R$  и  $H_0$  — соответственно масса, радиус и магнитное поле. Для звезды с  $M = 1.5 M_{\odot}$ ,  $R = 10^{13}$  см получаем условие начала намотки:  $u_k \leq 18 H_0$ . При средней скорости конвективных потоков  $\sim 10^5$  см/сек начальная напряженность магнитного поля в звезде должна быть не меньше  $\sim 10^3$  гаусс.

Без учета расширения оболочки и сжатия ядра магнитное поле способно уравновесить тяготение за время

$$t_0 \approx \frac{8\pi^2 \sqrt{2GM_1 M_2}}{\Phi_0 \Delta\omega} \left(\frac{r}{R_*}\right)^{k-2}, \quad (2)$$

где  $M_1$  и  $M_2$  — массы ядра и оболочки,  $\Phi_0$  — начальный магнитный поток,  $\Delta\omega$  — средняя за время накачки разность угловых скоростей ядра и оболочки,  $R_*$  и  $r$  — радиусы ядра и оболочки,  $G$  — гравитационная постоянная. При  $k=2$  и  $\Phi_0 = 10^3 \Phi_\odot$ ,  $\overline{\omega\Delta} \approx 10^{-3}$  и,  $M_1 = 2M_\odot$ ,  $M_2 = 0.2 M_\odot$ , время накачки около 20 лет и не зависит от радиуса оболочки. При менее вероятном значении  $k=3$ , тех же  $\Phi_0$ ,  $\Delta\omega$ ,  $M_1$  и  $M_2$ , а также  $R_* \sim 10^9$  см и  $R \sim 10^{12}$  см получим время накачки около  $2 \cdot 10^4$  лет, что очень много.

Магнитное ускорение оболочки

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{\Phi_0^2 n^2 R_*^{2(k-2)}}{32\pi^3 M_2 r^{2(k-1)}}. \quad (3)$$

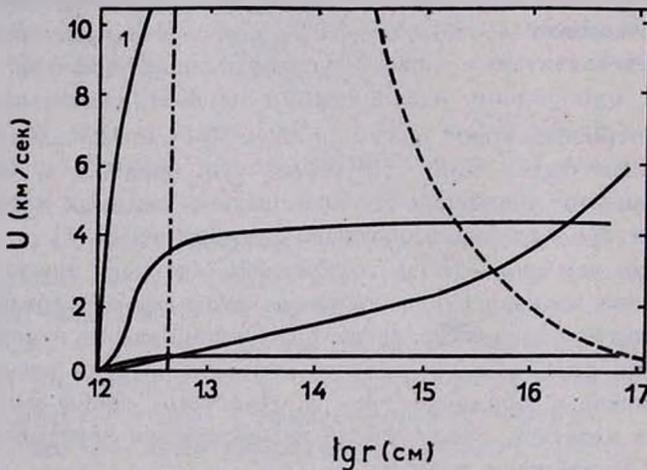


Рис. 1. Изменение скорости расширения оболочки планетарной туманности в зависимости от ее радиуса. 1)  $\Phi_0 = 10^3 \Phi_\odot$ ,  $k=2$ ; 2)  $\Phi_0 = 10^3 \Phi_\odot$ ,  $k=2.5$ ; 3)  $\Phi_0 = 10^3 \Phi_\odot$ ,  $k=3$ ; 4)  $\Phi_0 = \Phi_\odot$ ,  $k=2$ . Пунктирная линия — скорость убегания в оболочке; штрихпунктирная линия — световой конус  $r = \omega_0 c$ , где  $\omega_0$  — угловая скорость ядра планетарной туманности.

Для  $k=2$ ; 2.5; 3 получим при  $\Phi_0 = 10^3 \Phi_\odot$  зависимость скорости расширения оболочки от времени  $t$ , показанную на рис. 1. За начало отсчета времени принято время накачки  $t_0$ . Оценки показывают, что магнитное поле звезды при  $k$ , близких к 2, может сообщить оболочке скорости порядка наблюдаемых в планетарных туманностях.

Отметим, что как только кинетическая энергия расширения ПТ станет равной ее гравитационной энергии в поле ядра и начнется почти свободное расширение туманности, произойдет быстрое падение магнитного поля между ядром и оболочкой ПТ.

То, что массы остатков Сверхновых 1-го типа малы, по-видимому, говорит о том, что этот механизм в случае красных гигантов больших масс не срабатывает. Это может быть связано также с малым временем жизни массивных красных гигантов, что важно в случае усиления магнитного поля в звезде динамо-механизмом.

Из изложенного следует также, что отношение массы оболочки к массе ядра у красных гигантов малой массы больше, чем у массивных.

В заключение благодарю В. А. Амбарцумяна за стимулирующие обсуждения.

Шемахинская астрофизическая  
обсерватория

## EVOLUTION SEQUENCE: RED GIANT—PLANETARY NEBULAE — WHITE DWARF

O. N. GUSEINOV

Arguments in favour of the evolution sequence: red giant—planetary nebulae—white dwarf are given. The origin of a planetary nebulae is explained by the magnetic pumping between contracting nucleus and ding envelope of the red giant.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Э. Ф. Сеидов, Т. А. Эминяев*, Цирк. ШАО, № 7, 1972.
2. *W. K. Rosa*, Planetary Nebulae, 1968, p. 390.
3. *B. Paczinsky, J. Ziolkowski*, Planetary Nebulae, 1968, p. 396.
4. *S. Sakachita, V. Tanaka*, Progr. Theor. Phys., Kyoto, 27, 127, 1962.
5. *C. Hayashi, R. Hashi, D. Sugimoto*, Suppl. Progr. Theor. Phys., 22, 183, 1962.
6. *Л. Аллер, У. Лиллер*, Планетарные туманности, Мир, М., 1971.
7. *E. Woyke*, Planetary Nebulae, 1968, p. 275.
8. *Г. А. Гурьядян*, Планетарные туманности, Наука, М., 1962.
9. *И. С. Шкловский*, Астрон. ж., 33, 315, 1956.
10. *О. Х. Гусейнов*, Цирк. ШАО, № 4, 1972.
11. *П. Р. Амнуэль, О. Х. Гусейнов, Ф. К. Касумов*, Астрон. ж., 49, 1139, 1972.
12. Mass Loss from Stars, Ed. M. Hack, D. Reidel Publishinh Company, Dordrecht, 1968.
13. *Д. Я. Мартынов*, Курс общей астрофизики, Наука, М., 1971.
14. *Н. С. Кардашев*, Астрон. ж., 47, 465, 1970.