

УДК: 524.354.7

БЕЛЫЕ КАРЛИКИ: СВЯЗЬ С МАССАМИ ПРАРОДИТЕЛЕЙ

П. Р. АМНУЭЛЬ, О. Х. ГУСЕЙНОВ, Х. И. НОВРУЗОВА,
Ю. С. РУСТАМОВ

Поступила 8 апреля 1985

Принята к печати 20 февраля 1987

Построена зависимость, связывающая массу белого карлика с массой родительской звезды на главной последовательности, при этом взаимно согласованы частоты образования белых карликов разных масс с частотами образования (умирания) звезд главной последовательности.

1. *Введение.* Для астрофизики чрезвычайно важен вопрос о том, звезды каких масс дают в конце эволюции вспышку сверхновой, а какие звезды становятся белыми карликами. Зависит ли образование белого карлика, а не релятивистской звезды, только от массы родительской звезды или существенную роль играют другие параметры, например, химический состав, вращение, магнитное поле? Вопрос можно сформулировать и так: существует ли однозначная связь между массой звезды на главной последовательности и массой конечного продукта эволюции — белого карлика или предсверхновой?

На этот вопрос можно попытаться ответить с помощью анализа наблюдательного материала. Неоднократно предпринимались попытки поставить в соответствие с массами белых карликов в рассеянных скоплениях массы их прародителей [1—3]. Методика такого рода оценок описана, в частности, в работе [1]. Для сопоставления массы белого карлика $M_{бк}$ в скоплении с массой соответствующей звезды главной последовательности M_H необходимо знать кроме массы белого карлика еще и возраст скопления, а также время остывания белого карлика до наблюдаемой температуры. Величина M_H оценивается затем по получаемому времени жизни звезды главной последовательности и по теоретическим моделям эволюции звезд разных масс, обычно согласно [4]. На рис. 1 показана связь между $M_{бк}$ и M_H для 11 белых карликов в рассеянных скоплениях Гиады, Ясли, Плеяды и NGC 2516 по данным работ [5—8]. Кроме того, на рис. 1 показана связь между $M_{бк}$ и M_H , полученная в [9] по кинематическим харак-

теристикам белых карликов и звезд главной последовательности. Как видно из рисунка, есть основания считать, что монотонная зависимость между $M_{бк}$ и M_H реально существует.

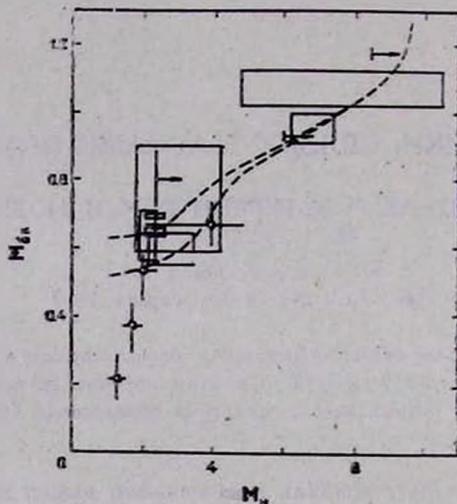


Рис. 1. Зависимость массы белого карлика $M_{бк}$ от массы родительской звезды на главной последовательности M_H . Прямоугольники и стрелки — согласно данным о рассеянных скоплениях. Кружки — согласно данным о кинематических характеристиках белых карликов и звезд главной последовательности. Пунктирной линией показано соотношение $M_{бк}(M_H)$, полученное из теоретических моделей эволюции одиночных звезд и главных компонентов широких двойных систем [10, 11].

В работах [10, 11] приведена теоретическая зависимость между $M_{бк}$ и M_H для одиночных звезд, носящая характер довольно грубой оценки. Эта зависимость также показана на рис. 1. Для одиночных звезд с заданным химическим составом функция $M_{бк}(M_H)$ монотонна и однозначна. С переходом к двойным системам возникает еще и зависимость от величины начального разделения компонентов, что также отражено на рис. 1. Видимо, переходная функция $M_{бк}(M_H)$ реально существует и представляет собой полосу, «ширина» которой, в основном, зависит при данной массе M_H от химического состава звезды и от начального разделения компонентов, если звезда входит в двойную систему.

Как при использовании наблюдательных точек, так и при использовании теоретических моделей, мы имеем переход от конкретных значений M_H к конкретным $M_{бк}$ и не получаем ответа на вопрос: достаточно ли в реальности звезд главной последовательности с массами M_H для того, чтобы в конце эволюции дать именно то количество белых карликов с массами

$M_{\text{бк}}$, которое также определяется из наблюдений и статистического анализа? При отрицательном ответе на этот вопрос возникает необходимость пересмотра теоретических предположений, лежащих в основе расчетов моделей звездной эволюции.

Для ответа на поставленный вопрос необходимо знать частоту образования (умирания) звезд главной последовательности, имеющих в начале эволюции массу M_{H} , и частоту рождения белых карликов с массами $M_{\text{бк}}$.

Распределение белых карликов по массам было исследовано, например, в [7, 9, 12—15]. Выводы этих работ существенно различны: в [12, 15] делается заключение о том, что массы белых карликов заключены в узком интервале $0.5—0.6 M_{\odot}$, а в [14] дается широкое распределение масс белых карликов. Выводы работы [14] подтверждены в [9], а в [16] показано, что и центральные звезды планетарных туманностей, будущие белые карлики, тоже имеют широкое распределение по массам. Выводы работ [7, 9] подвергались критике в [17], а в [16] было показано, что эта критика необоснованна.

Частота образования (умирания) звезд умеренных масс исследована, например, в работах [18, 19]. Ниже мы попытаемся, сопоставив частоты умирания звезд главной последовательности с соответствующими частотами рождений белых карликов, получить зависимость между $M_{\text{бк}}$ и M_{H} .

2. *Наблюдаемое распределение масс белых карликов.* При построении и анализе распределения числа белых карликов по массам [7, 9] были использованы массы не только одиночных белых карликов, но и входящих в визуально-двойные системы. Полученная в [9] частота рождений белых карликов различных масс является суммой частот рождений одиночных белых карликов и входящих в широкие двойные системы. Между тем, даже при одинаковой потере вещества одиночной звездой и звездой такой же начальной массы в широкой двойной системе, распределения масс белых карликов могут оказаться различными из-за того, что в принципе могут быть различны начальные функции масс главных компонентов широких двойных систем и одиночных звезд. Покажем, что это не так.

В силу наблюдательной селекции вторичными компонентами в двойных системах, содержащих белые карлики, являются красные карликозые звезды. Исключение составляют близкие к Солнцу системы Сириуса и Прокциона, но даже и в этих благоприятных случаях наблюдение белых карликов затруднено присутствием яркой звезды. Эти две системы мы в дальнейшем не рассматриваем.

Мы отобрали системы, расположенные в пределах 50 пк от Солнца: 89 одиночных белых карликов и 40 белых карликов в визуально-двойных системах из [7, 9]. Эффекты наблюдательной селекции практически одинаковы для обеих выборок, поскольку красные карлики здесь во многих слу-

чаях являются более слабыми компонентами. Расстояния до систем определялись по параллаксам белых карликов. В 34 случаях известны и массы красных карликов, которые определялись по их спектральной принадлежности и соотношению масса — светимость.

Для одиночных белых карликов получена величина средней массы $\langle M_{бк} \rangle = 0.59 \pm 0.02 M_{\odot}$ с полушириной распределения $0.19 M_{\odot}$. Для белых карликов в визуально-двойных системах $\langle M_{бк} \rangle = 0.53 \pm \pm 0.03 M_{\odot}$ с полушириной распределения $0.20 M_{\odot}$. Из подобия спектров масс белых карликов следует и подобие распределения по массам звезд-прародителей — одиночных звезд и первичных компонентов визуально-двойных систем. Для указанных выборок можно, по-видимому, говорить и о подобии начальных функций масс. Подобие распределений белых карликов по массам (одиночных и компонентов широких систем) позволяет использовать данные [9] для дальнейшего исследования связи между $M_{бк}$ и M_H . Отметим, что частоты звездообразования в [19] также приводятся для звезд главной последовательности без разделения их на одиночные и компоненты визуально-двойных систем.

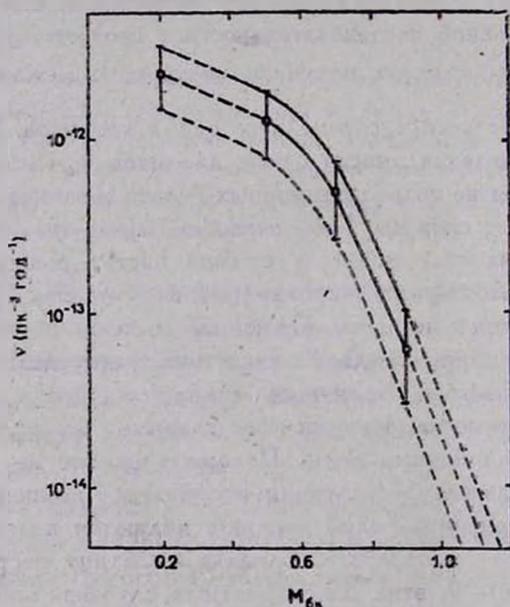


Рис. 2. Зависимость частоты образования белых карликов (ν , $\text{пк}^{-3} \text{год}^{-1}$) от массы $M_{бк}$. Наиболее надежный участок зависимости показан сплошными линиями.

На рис. 2 показано распределение частот рождений белых карликов разных масс по данным [9]: приведены частоты рождений белых карликов, массы которых больше некоторого значения $M_{бк}^*$. Нужно иметь в ви-

ду, что в [9] учет остывания белых карликов с массами менее $0.3 M_{\odot}$ проводился по одной теоретической кривой из работы [20], вычисленной для $M_{\text{бк}} = 0.32 M_{\odot}$, независимо от химического состава атмосфер белых карликов. Поэтому ошибки в определении частот рождений белых карликов с массами $M_{\text{бк}} \leq 0.4 M_{\odot}$ связаны не только с ненадежным определением пространственной плотности числа объектов (эти ошибки показаны на рис. 2), но и с не вполне надежным учетом времени остывания.

3. *Переходные функции $M_{\text{бк}}(M_{\text{Н}}$)*. В качестве функции, задающей частоты умирания звезд главной последовательности различных масс, мы использовали функцию Миллера и Скало [19]. Для возможности сопоставления значений, приведенных в [19], со значениями частот рождений белых карликов, необходимо данные [19], приведенные в проекции на галактическую плоскость, перевести к единичному объему пространства. Для этого была использована шкала высот объектов различных масс из [19].

Поставить в соответствие друг с другом частоты рождений белых карликов и частоты умирания звезд главной последовательности можно, задав еще либо верхний, либо нижний предел массы звезд главной последовательности, которые превращаются в белые карлики.

За время жизни диска Галактики, 12—15 миллиардов лет согласно [21], могли закончить эволюцию звезды с массами $\sim 1 M_{\odot}$. К сожалению, практически невозможно указать надежную нижнюю границу масс звезд, закончивших эволюцию, в пределах хотя бы $\pm 0.2 M_{\odot}$, поскольку это значение зависит от принятой модели эволюции (даже если рассматривать звезды одного типа населения) и от возраста диска Галактики. Между тем, изменение нижнего предела массы на $0.2 M_{\odot}$ кардинально сказывается на величине неопределенности функции $M_{\text{бк}}(M_{\text{Н}})$ в области масс более 3—4 M_{\odot} , поскольку ошибки в определении частот умирания звезд в этом случае сравниваются с полными частотами образования белых карликов соответствующих масс и даже превосходят эти частоты.

Вид функции $M_{\text{бк}}(M_{\text{Н}})$ можно получить более надежно, задавая верхний предел $M_{\text{Н}}$. Величина максимальной массы $M_{\text{Н}}$ неоднократно обсуждалась в литературе в связи с оценкой частоты вспышек сверхновых. В частности, в [22] по частоте вспышек сверхновых II типа и начальной функции масс в Sc-галактиках получено, что вспыхивать могут звезды с начальной массой не менее, чем $8 \pm 1 M_{\odot}$. Если считать, что массы звезд, способных дать вспышку сверхновой, и массы звезд, становящихся белыми карликами, четко разграничены, то эту оценку можно считать и косвенной оценкой верхнего предела $M_{\text{Н}}$. Прямые исследования белых карликов в рассеянных скоплениях, в частности, в молодом скоплении NGC 2516 [6], дают для верхнего предела $M_{\text{Н}}$ величину $8_{-2}^{+1} M_{\odot}$. Теоретические расчеты

[10] для верхнего предела M_H дают величину от $9 M_\odot$ (одиночные звезды) до $10.5 M_\odot$ (широкие двойные системы). Однако, как указано в [10], эти оценки носят грубый характер, величина M_H может измениться, например, с изменением химического состава звезды. К сожалению, современные данные не позволяют задать верхний предел M_H с точностью, лучшей, чем $8_{-2}^{+3} M_\odot$.

При построении функции $M_{бк}(M_H)$ мы использовали:

1. Зависимость частоты образования белых карликов от массы (рис. 2, данные для окрестностей Солнца);

2. Зависимость частоты умирания звезд главной последовательности от их массы, приведенную в [19], с использованием шкалы высот звезд разных масс из [19], причем возраст диска Галактики был принят равным $15 \cdot 10^9$ лет с учетом приближенно постоянной скорости звездообразования в Галактике (правомерность такого приближения подробно обоснована в [19]);

3. Величину верхнего предела $M_H = 8_{-2}^{+3} M_\odot$ из работы [6].

Сопоставление частот образования белых карликов и частот умирания звезд главной последовательности привело к функции $M_{бк}(M_H)$, показанной на рис. 3.

Наиболее надежно переходная функция $M_{бк}(M_H)$ определяется в области масс белых карликов от 0.4 до $0.7 M_\odot$. В области $M_{бк} \lesssim 0.4 M_\odot$ ошибка возрастает из-за ненадежности определения частот образования белых карликов, связанной с ненадежным заданием времени остывания. В области $M_{бк} > 0.7 M_\odot$ ошибки возрастают из-за ненадежности в задании верхнего предела M_H . Изменение возраста диска Галактики в пределах от 12 до 15 миллиардов лет несущественно меняет $M_{бк}(M_H)$. Для построения $M_{бк}(M_H)$ нельзя использовать возраст диска Галактики менее $12 \cdot 10^9$ лет, иначе частота умирания звезд окажется заведомо больше частоты рождений белых карликов. Однако маловероятно и $T > 15 \cdot 10^9$ лет, см. [21]. Таким образом, для согласования полной частоты рождений белых карликов и умирания звезд главной последовательности нужно использовать возраст диска Галактики в пределах от 12 до 15 миллиардов лет.

Заметим, что зависимость $M_{бк}(M_H)$ относится к звездам второго поколения (население диска), поскольку получена по данным о звездах в окрестности Солнца. Согласно [23], плотность числа звезд первого поколения (население гало) в окрестности Солнца в ~ 100 раз меньше плотности числа звезд второго поколения для звезд с массами $\sim 0.8 M_\odot$.

Величина потерь массы одиночными звездами и компонентами широких систем велика: от $\sim 75\%$ у звезд с $M_H \lesssim 2.5 M_\odot$ до $\gtrsim 90\%$ у звезд с массами $M_H \sim 8 M_\odot$. Вывод о большой потере массы звездами в ходе эволюции был сделан ранее в [24]. Белые карлики с $M_{бк} = 0.4 - 0.6 M_\odot$ (объекты, расположенные в области максимума распределения белых карликов по массам) образуются из звезд главной последовательности с $M_H = 1.5 - 3 M_\odot$, то есть преимущественно из звезд классов А—F.

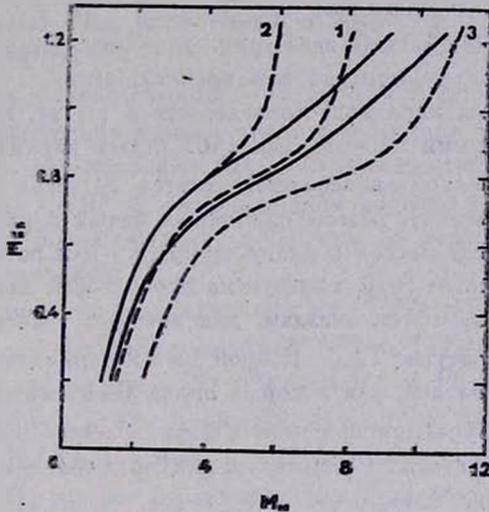


Рис. 3. Переходная функция $M_{бк}(M_H)$, полученная в результате согласования частот рождения белых карликов и умирания звезд главной последовательности. Пунктирные линии: 1—среднее значение, 2—соответствует верхнему пределу частот рождения белых карликов (рис. 1) и максимальной начальной массе $11 M_\odot$, 3—соответствует нижнему пределу частот рождения белых карликов и начальной массе $6 M_\odot$.

4. *Обсуждение.* Важное значение имеет вид переходной функции в области $M_H \lesssim 2 M_\odot$. Здесь $M_{бк} \lesssim 0.5 M_\odot$. Согласно теоретическим расчетам [10, 11], одиночные звезды и компоненты широких двойных систем не образуют белых карликов с гелиевыми ядрами. Для углеродно-кислородных ядер минимальная масса $0.5 - 0.6 M_\odot$. Между тем, в списках белых карликов [7, 9] содержится значительное число звезд с массами менее $0.5 M_\odot$. Кинематические данные свидетельствуют о том, что эти белые карлики образовались из звезд главной последовательности с $M_H < 2 M_\odot$ (см. рис. 1). С учетом наблюдательной селекции в [9] был сделан вывод о том, что частота рождений белых карликов с $M_{бк} \lesssim 0.4 M_\odot$ составляет

~ 1/3 полной частоты рождений белых карликов (одиночных и в широких двойных системах).

Возникшее противоречие можно разрешить с помощью следующих предположений:

— либо массы белых карликов в [7, 9] определены неверно, и реально белых карликов с $M_{\text{БК}} < 0.5 M_{\odot}$ не существует;

— либо белые карлики с $M_{\text{БК}} < 0.5 M_{\odot}$ являются на самом деле компонентами тесных двойных систем, в которых вторичный компонент не обнаруживается при наблюдениях;

— либо ошибочны модели эволюции одиночных звезд с $M_H < 2 M_{\odot}$.

Рассмотрим последовательно эти предположения.

В описках белых карликов, приведенных в [7, 9], среди 204 звезд с надежно определенными параметрами (163 белых карлика типа DA и 41 белый карлик с гелиевой атмосферой) имеется 39 звезд с $M_{\text{БК}} \leq 0.4 M_{\odot}$ (27 и 12 соответственно). Массы одиночных белых карликов оценивались по зависимости между массой и радиусом $M(R)$ или по зависимости между массой и ускорением силы тяжести на поверхности звезды $M(g)$. Первый способ применим к тем звездам, для которых известны расстояние и эффективная температура $T_{\text{эфф}}$. Второй способ применим, в основном, к белым карликам типа DA, для которых определены значения g . Величины $M_{\text{БК}} \leq 0.4 M_{\odot}$ получаются при использовании обоих способов и дают согласованные результаты. Рассмотрим для примера оценки масс некоторых белых карликов.

1. *WD 0413—07*. Это один из самых известных белых карликов. В [7] приводится значение $M_{\text{БК}} = 0.48 \pm 0.1 M_{\odot}$. В [25] сделан анализ ошибок определения массы этой звезды по двойственности. Получено $M_{\text{БК}} = 0.45^{+0.10}_{-0.08} M_{\odot}$. В работе [26] приводится значение $M_{\text{БК}} = 0.43 \pm 0.02 M_{\odot}$. Таким образом, можно считать, что $M_{\text{БК}} < 0.5 M_{\odot}$.

2. *WD 0310—68*. Это один из самых ярких и близких белых карликов, расстояние до него 14 пк. Масса определялась неоднократно. В [7] получено $M(R) = 0.28 M_{\odot}$ и $M(g) = 0.33 \pm 0.01 M_{\odot}$. Согласно [12], $M(R) = 0.36 M_{\odot}$ и $M(g) = 0.32 M_{\odot}$.

3. *WD 0943 + 44*. Белый карлик находится на расстоянии 31 пк. Для него

$$M(R) = 0.29 M_{\odot} [7], \quad 0.26 M_{\odot} [13], \quad 0.17 M_{\odot} [12],$$

$$M(g) = 0.36 M_{\odot} [7], \quad 0.32 M_{\odot} [12].$$

4. *WD 1544—37*. Расстояние 13 пк. Определения массы:

$$M(R) = 0.33 M_{\odot} [7], \quad 0.17 M_{\odot} [13], \quad 0.41 M_{\odot} [12]$$

$$M(g) = 0.29 M_{\odot} [7], \quad 0.29 M_{\odot} [12].$$

5. *WD 1743—13*. Расстояние 40 пк. Определения массы:

$$M(R) = 0.15 M_{\odot} [7], \quad 0.21 M_{\odot} [13], \quad 0.17 M_{\odot} [12],$$

$$M(g) = 0.31 M_{\odot} [7], \quad 0.32 M_{\odot} [12].$$

Список можно продолжить, однако и эти примеры показывают, что одиночные белые карлики с $M_{\text{бк}} < 0.5 M_{\odot}$, а возможно и $< 0.4 M_{\odot}$, существуют. Если полагать, что эти определения ошибочны, то нужно считать, что ошибочны либо теория внутреннего строения белых карликов, по которой определяется $M_{\text{бк}}$, либо теория атмосфер белых карликов, по которой определяются g и R .

Величины $M_{\text{бк}}$, определенные в [7, 9], могут быть занижены в тех случаях, когда $T_{\text{эфф}}$ настолько велики, что использование зависимости $M(R)$, полученной в [27] для холодных белых карликов, становится неправомерным. Если $T_{\text{эфф}} \geq 25 \cdot 10^3$ К, то при данном радиусе белый карлик может иметь существенно большую массу [28], чем по зависимости $M(R)$ для холодных белых карликов.

Рассмотрим лишь те белые карлики из [7, 9], для которых $T_{\text{эфф}} \lesssim 10^4$ К, и следовательно, зависимость $M(R)$ из [27] может быть использована. Таких белых карликов 115 (80 типа DA и 35 гелиевых), при этом 18 DA-белых карликов и 13 гелиевых имеют массы $M_{\text{бк}} \lesssim 0.4 M_{\odot}$, определенные как по $M(R)$, так и по $M(g)$ (соответственно 22 и 37%). Отметим, что в [7, 9], где нет ограничений по $T_{\text{эфф}}$, соответствующие отношения составляют 17 и 29%. По-видимому, среди низкотемпературных белых карликов доля маломассивных ($M_{\text{бк}} < 0.4 M_{\odot}$) во всяком случае не меньше, чем среди всех белых карликов, и принципиальный вывод о существовании одиночных белых карликов с $M_{\text{бк}} < 0.4 M_{\odot}$ остается в силе.

Возможно ли, что все маломассивные белые карлики являются на самом деле компонентами тесных двойных систем, в которых вторичный компонент не виден из-за его малой светимости? Возможно, если вторичный компонент является более холодным белым карликом или красным карликом с массой менее $0.2 M_{\odot}$. Обнаружить компонент — холодный белый карлик современными методами практически невозможно. В принципе, количество таких систем может быть большим, но надежные количественные оценки в настоящее время вряд ли осуществимы. Сценарий, при котором компонентом белого карлика является маломассивный красный карлик, значительно менее вероятен, поскольку такие системы возникают в результате эволюции систем с очень малым начальным отношением масс

($q \leq 0.2$). Этот сценарий вряд ли объяснит наличие даже $\sim 10\%$ числа наблюдаемых одиночных немассивных белых карликов. В последние годы были предприняты конкретные поиски немассивных компонентов около белых карликов. Так в работе [29] был произведен анализ данных о белых карликах Eg 5 (WD 0046+05) и Eg 290 (WD 0553+05). Белый карлик Eg 5 находится на расстоянии всего 4 пк, согласно [9] $M_{\text{бк}} = 0.24 M_{\odot}$. Между тем, согласно [29], у этого белого карлика нет компонента, радиус которого был бы больше радиуса Юпитера, а температура была бы выше 900 К. Аналогичный результат получен для белого карлика Eg 290 ($M_{\text{бк}} = 0.54 M_{\odot}$).

Таким образом, по имеющимся данным реальное существование одиночных белых карликов с $M_{\text{бк}} < 0.5 M_{\odot}$ и даже $< 0.4 M_{\odot}$ не может быть исключено. Отметим, что на рис. 3 нижняя граница массы белых карликов принята $0.2 M_{\odot}$. Реально, с использованием более точных $M(R)$ может быть получено, что нижний предел массы белых карликов несколько выше, но надежную нижнюю границу сейчас указать трудно, во всяком случае, она может быть меньше, чем $0.5 M_{\odot}$ и, вероятно, меньше, чем $0.4 M_{\odot}$.

Используя теоретические расчеты [10, 11] в области $M_H > 3 M_{\odot}$, а также наблюдательные данные о белых карликах в рассеянных звездных скоплениях (рис. 1), можно уменьшить область ошибок нашей переходной функции: на рис. 3 эта область обозначена сплошными линиями. По-видимому, предельную массу прародителей белых карликов можно положить 8—10 M_{\odot} .

5. Заключение. Построена зависимость, связывающая массу белого карлика с массой звезды на главной последовательности, при этом взаимно согласованы частоты образования белых карликов разных масс с частотами умирания звезд главной последовательности. Наиболее надежно эта зависимость определяется для масс белых карликов $0.4\text{--}0.7 M_{\odot}$ что соответствует $M_H = 1.5\text{--}4 M_{\odot}$. Полученная переходная функция не противоречит эмпирическим соотношениям $M_{\text{бк}}(M_H)$ по данным о белых карликах в рассеянных скоплениях и по данным о кинематических характеристиках белых карликов и звезд главной последовательности.

Важное значение имеет возможность наличия одиночных белых карликов (и компонентов широких двойных систем) с $M_{\text{бк}} \leq 0.4 M_{\odot}$. Поскольку теория эволюции требует, чтобы маломассивные белые карлики возникали только в тесных двойных системах, необходим дальнейший анализ проблемы. По-видимому, необходим более строгий учет физических параметров и процессов в расчетах моделей эволюции одиночных звезд с $M_H < 2 M_{\odot}$, а также при расчетах зависимости $M(R)$ для белых карликов.

Для дальнейшего уточнения переходной функции $M_{\text{ок}}(M_{\text{H}})$ необходимы более надежные данные о начальной функции масс звезд, частоте образования белых карликов разных масс и о максимальной массе звезд-прародителей белых карликов.

Институт физики АН
Азерб.ССР

WHITE DWARFS: THE CONNECTION WITH THE PARENTS' MASSES

P. R. AMNUEL, O. H. GUSEINOV, H. I. NOVRUZOVA, YU. S. RUSTAMOV

The dependence between the mass of white dwarfs and that of their main sequence parent star is determined. The birth-rates of white dwarfs with different masses and the death-rate of the mainsequence stars are interconsistent.

ЛИТЕРАТУРА

1. V. Weidemann, in "Effects of Mass Loss on Stellar Evolution", 339, 1981.
2. V. Weidemann, D. Koester, *Astron. and Astrophys.*, 121, 77, 1983.
3. V. Weidemann, *Astron. and Astrophys.*, 134, L1, 1984.
4. I. Iben, *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.*, 5, 571, 1967.
5. B. Anthony-Twarog, *Astrophys. J.*, 255, 245, 1982.
6. D. Reimers, D. Koester, *Astron. and Astrophys.*, 116, 341, 1982.
7. O. H. Guseinov, H. I. Novruzova, Yu. S. Rustamov, *Astrophys. and Space Sci.*, 98, 1, 1983.
8. B. Anthony-Twarog, *Astron. J.*, 89, 267, 1984.
9. O. H. Guseinov, H. I. Novruzova, Yu. S. Rustamov, *Astrophys. and Space Sci.*, 97, 305, 1983.
10. I. Iben, *Quart IRAS*, March 1985.
11. I. Iben, A. V. Tutukov, *Prepr.*, 1985.
12. D. Koester, H. Schulz, V. Weidemann, *Astron. and Astrophys.*, 76, 232, 1979.
13. H. L. Shipman, *Astrophys. J.*, 228, 240, 1979.
14. H. Shipman, A. Sass, *Astrophys. J.*, 235, 177, 1980.
15. V. Weidemann, D. Koester, *Astron. and Astrophys.*, 132, 195, 1984.
16. P. R. Amnuel, O. H. Guseinov, H. I. Novruzova, Yu. S. Rustamov, *Astrophys. and Space Sci.*, 113, 59, 1985.
17. D. Koester, *Astrophys. and Space Sci.*, 100, 471, 1984.
18. E. Salpeter, *Astrophys. J.*, 121, 161, 1955.
19. I. Miller, I. Scalo, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 41, 513, 1979.
20. D. Koester, *Astron. and Astrophys.*, 16, 459, 1972.

21. Л. С. Марочник, А. А. Сучков, Галактика, Наука, М., 1984.
22. R. Kennicutt, *Astrophys. J.*, 277, 36, 1984.
23. O. Eggen, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 51, 183, 1983.
24. О. Х. Гусейнов, Х. И. Новрузова, *Астрофизика*, 10, 273, 1974.
25. G. Wegner, *Astron. J.*, 85, 1255, 1980.
26. W. D. Heintz, *Astron. J.*, 79, 819, 1974.
27. T. Hamada, E. Salpeter, *Astrophys. J.*, 134, 683, 1961.
28. J. Holberg, F. Wesemael, G. Wegner, F. Bruhweiler, *Astrophys. J.*, 293, 294, 1985.
29. C. Kumar, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 97, 294, 1985.