

О частоте образования релятивистских звезд и возможностях их обнаружения

О.Х.Гусейнов

Проведен анализ наблюдательных данных, касающихся пульсаров, остатков сверхновых, двойных систем с невидимыми компонентами, а также соответствующих теоретических предпосылок. На основании этого делается вывод о частоте образования релятивистских звезд и несущественности аккреции межзвездного вещества даже при их выявлении. Звезды в процессе эволюции теряют менее половины массы, и поэтому потеря вещества не влияет на порядок частоты образования релятивистских звезд. Такие звезды рождаются в основном в плоскости Галактики, т. к. массы красных гигантов с $|z| > 100$ пс малы.

On the Frequency of the Formation of Relativistic Stars and the Possibilities of their Detection

by O. X. Guseinov

Analysis of the observational data on pulsars, supernova remnants, binary systems with invisible components and corresponding theoretical preconditions has been made. On this bases one can make a conclusion about the frequency of the formation of relativistic stars and unimportance of the matter accretion even in their detection.

In the process of evolution the stars lose less than half of their mass and so the matter loss does not influence the frequency of the relativistic star formation. Such stars appear in general in the galactic plane as the masses of red giants with $|z| > 100$ nc are small.

Известно, что продолжительность жизни звезды зависит от ее массы и многие звезды за время жизни Галактики ($\sim 5 \cdot 10^9$ лет) не продвинулись далеко на своем эволюционном пути. Согласно современным представлениям, только звезды с массами $\sim 1.3 M_{\odot}$ успели закончить эволюцию за $5 \cdot 10^9$ лет. Конечными состояниями проэволюционировавших звезд (в зависимости от массы звезды) перед потерей устойчивости могут быть белые карлики, нейтронные и застывшие звезды НИЗЗ (Зельдович, Новиков, 1971). Доля тех или других конечных состо-

яний определяется не только функцией звездообразования, но и тем, какие потери вещества претерпевает звезда в течение всей эволюции. Как известно, скорости потери вещества звездами определяются с точностью до порядка и обычно плохо известны продолжительности каждой стадии эволюции (потери вещества в разных эволюционных стадиях различны). Именно поэтому исследование конечных стадий эволюции имеет решающее значение для всей теории звездной эволюции. В то же время, единственная возможность найти застывшую звезду, и тем самым доказать реализацию метрики Керра или Шварцшильда, также связана с конечным продуктом звездной эволюции. Наконец, мы являемся свидетелями грандиозных взрывов и спокойного истечения вещества из звезд. Имеют ли такое же фундаментальное значение во Вселенной обратные процессы — катастрофическое сжатие и аккреция вещества. Выяснение последнего также связано с конечной стадией звездной эволюции. Эти вопросы в настоящее время широко обсуждаются, и в данной статье мы приводим некоторые наблюдательные факты, которые помогут разрешению вышеуказанных задач.

Если оценить число звезд, ежегодно заканчивающих свою эволюцию в Галактике, исходя из функции звездообразования Салпетера (Зельдович, Новиков, 1971)

$$\frac{dN}{dt} = 2 \cdot 10^{-12} \left(\frac{m}{m_{\odot}}\right)^{-2.4} \cdot d\left(\frac{m}{m_{\odot}}\right) \left[\frac{\text{звезд}}{\text{нс}^3 \cdot \text{год}} \right],$$

то, принимая объем Галактики в $\sim 10^{12} \text{нс}^3$ (т.е. диск с радиусом $\sim 15 \text{кпс}$ и толщиной $\sim 1.4 \text{кпс}$), получим:

$m/m_{\odot} >$	1.3	1.5	2	3	5
dN/dt	1.0	0.8	0.53	0.3	0.13

Рассмотрим теперь, несколько хорошо наблюдательные данные подтверждают сделанные оценки. Предположим, два возможных пути окончания эволюции звезд: тихий коллапс и взрыв сверхновой. Пусть эволюция звезд всегда заканчивается взрывом сверхновых — тогда частота вспышек сверхновых в Галактике должна быть порядка 0.8 в год. А это не так. Оценка частоты вспышек в Галактике по частоте вспышек сверхновых в галактиках типа Sc и Sb дает $\nu = 0.04 \text{год}^{-1}$ (наша Галактика является промежуточной и, возможно, ближе к Sb типу). По плотности числа остатков сверхновых $\sim 8 \cdot 10^{-9} \text{нс}^{-3}$ (при объеме, занимаемом ими в Галактике $\sim 10^{11} \text{нс}^3$) и времени их жизни $\sim 3 \cdot 10^4$ имеем $\nu = 0.03 \text{год}^{-1}$. Из сверхновых с известными временами вспышек* четыре — типа I. Относительно 3C58 (1181 г.) есть сомнения, является ли она вообще остатком сверхновой. В результате $\nu = 0.03 \text{год}^{-1}$. Значит, часто-

* Cas A (1667 г.), II тип; Kepler (1604 г.); Tycho (1572 г.); Crab (1054 г.); PKS 1459 (1006 г.).

та вспышек сверхновых более чем на порядок ниже. Это согласуется также с частотой образования пульсаров и с гипотезой об образовании пульсаров в процессе взрыва сверхновых (Гусейнов, Касумов). То, что не известен радиопульсар в двойной системе, по-видимому, подтверждает генетическую связь между сверхновыми и пульсарами. Причем, исходя из наличия пульсара в Крабе, связывать их только со сверхновыми I типа пока рано. Очень возможно, что пульсар имеется и в остатке сверхновой II типа Vela X. Однако, отсюда не следует, что образование "черных дыр" тоже сопровождается взрывом сверхновых, тем более мощных.

Предположим теперь, что эволюция звезды заканчивается без взрыва, т.е. имеем дело с "тихим" коллапсом. В таком случае релятивистские звезды должны встречаться чаще в двойных системах. Анализ возможности встретить такие звезды в кратных системах показывает, что такой случай должен быть редким, а именно: релятивистские звезды в двойных системах возникают не чаще, чем одна в 50 лет (Гусейнов, Новрузова, 1970; Ахундова, Гусейнов). Итак, снова имеем расхождение, причем более чем на порядок.

В процессе взрыва сверхновой I типа (на примере Краба) мы наблюдаем образование звезды и оболочки с массой $\sim 0.1 M_{\odot}$. Нейтронная звезда обладает предельной массой, по-видимому, $\sim 1.6 M_{\odot}$. Следовательно, "предсверхновая", дающая I тип вспышки, имеет массу $\sim 2 M_{\odot}$. Вспышки сверхновых I типа встречаются и в эллиптических галактиках — там, где нет молодых звезд класса O и B, т.е. где нет газа. Вспышки сверхновых II типа могут породить звезды с $M > 2 M_{\odot}$, и сверхновые этого типа встречаются только в спиральных рукавах галактик, т.е. в местах нахождения газа и O, B-звезд (в нашей Галактике в области с $|z| \sim 60$ пс). С другой стороны, вспышки сверхновых I типа преимущественно вспыхивают в рукавах. Но красные гиганты, вероятно, предшествующие концу эволюции, из-за расположения в области с $|z| \sim 400$ пс имеют малые массы. В работе Гусейнова (1972) приводятся аргументы в пользу того, что массы красных гигантов по мере удаления от плоскости Галактики уменьшаются и что они в основном эволюционируют из F-звезд главной последовательности.

Красные гиганты главным образом встречаются в тех областях Галактики, где находятся и белые карлики (например, в шаровых скоплениях). Белые карлики возникают в первую очередь из звезд главной последовательности с массами $\sim 1.3 \div 2 M_{\odot}$ или из красных гигантов с $M \sim 1.3 \div 1.5 M_{\odot}$. Общее число белых карликов $\sim 5 \cdot 10^9$, т.е. ежегодно образуется по одному белому карлику. Итак, число белых карликов, согласно (3), оценивается достаточно хорошо, если только уменьшить число звезд с массами более $2 M_{\odot}$. А число звезд с $M > 2 M_{\odot}$, действительно, нужно уменьшить, учитывая, что все звезды главной последовательности класса A (и ранее) расположены фактически в самой плоскости Галактики со средним $|z| \sim 60$ пс. Поэтому при оценке числа звезд, заканчивающих эволюцию, объем Галактики нужно принять

равным $\sim 10^{11}$ пс³. Тогда значения dN/dt , соответствующие массам более $2M_{\odot}$, снижаются в 10 раз. Но приведенные значения масс отвечают звездам главной последовательности, которые теряют часть массы во время эволюции. Так что для числа возникающих релятивистских звезд получим значение, хорошо согласующееся с частотой вспышек сверхновых.

Анализируя наблюдательные данные и теоретические представления, можно сказать следующее. Нейтронные звезды способны образовываться как в результате вспышек сверхновых I типа, так и вспышек II типа. Допустимы случаи, когда в процессе взрыва пульсароподобный объект вообще не образуется. Релятивистские звезды, по-видимому, всегда появляются вследствие вспышек сверхновых, и поэтому могут входить в тесные системы очень редко (Гусейнов, 1972; Горбачкий, 1972).

Полное число НИЗЗ, родившихся в окрестностях Солнца объемом $\sim 2 \cdot 10^7$ пс³ (радиус до 0,2 кпс) за время жизни Галактики ($5 \cdot 10^9$ лет), определим, зная, что в этом объеме расположено 12 пульсаров со средним временем жизни $\sim 10^7$ лет. Это число равно $\sim 6 \cdot 10^3$. Если ограничиться объемом с радиусом в 25 пс*, то верхний предел НИЗЗ в этом объеме будет ~ 10 .

Вблизи от Солнца плотность газа $\sim 10^{-24}$ г/см³, межзвездное магнитное поле $\sim 3 \cdot 10^{-6}$ гаусс, поэтому светимость НИЗЗ не более 10^{32} эрг/сек. Однако, вызванная этим излучением ионизация окрестностей звезды ограничивает светимость, и она становится меньше $\sim 10^{29}$ эрг/сек с максимумом при длине волны ~ 500 Å. Поэтому светимость НИЗЗ в оптике не более 10^{28} эрг/сек, т.е. имеем объект с абсолютной звездной величиной не ярче 17^m . Таким образом, ожидаемый объект характеризуется светимостью значительно меньшей, чем карлики, и на расстоянии в $10 \div 25$ пс имеет видимую величину $17^m \div 19^m$. В каталоге Вулли и др. (1970) в этом объеме встречается только одна звезда с такой звездной величиной, а именно, звезда N 288 (B-компонент

с параллаксом $\pi = 0''.063$, $m = 18.3$ ($M = 17^m.3$), являющаяся спутником звезды GO V с $m = 5.36$ (пространственная скорость ~ 170 км/сек, цвета не приводятся). В объеме $V = 4 \cdot 10^3$ пс³ ($R \leq 10$ пс) можно встретить одну НИЗЗ с $m = 16 \div 17$. В этом объеме имеется 8 белых карликов, из них только один (N 492) типа DC имеет $m = 15.9$, все остальные ярче $m = 15$. У этого белого карлика $B-V = +0^m.64$, $U-B = -0^m.09$, что соответствует "черному телу" солнечной температуры. Ожидаемые объекты на диаграмме $U-B$, $B-V$ должны ложиться выше белых карликов. Пространственная и лучевая скорости для этой звезды не известны, но судя по изменению ее координат за год, скорость движения небольшая. Среди белых карликов в указанном объеме только одна (N 9610) показывает резко большую скорость (~ 370 км/сек, радиальная ~ 154 км/сек). Спектр звезды DA_{ss} , $B-V = +0^m.37$, $U-B = -0^m.50$, $m = 14.41$, $M = 13^m.1$. То, что она хорошо соответствует "черному телу" с температурой

* Будем использовать каталог звезд с расстояниями $R \leq 25$ пс (Вулли и др., 1970), т.е. объем $6.3 \cdot 10^4$ пс³.

$\sim 7000^\circ$, имеет резкие линии и большую светимость, делает его непохожим на НИЗЗ. Итак, в радиусе до 25 пс от Солнца мы не встречаем ни одного объекта, напоминающего НИЗЗ в процессе аккреции. Объектов, подобных НИЗЗ в процессе аккреции, т.е. источников со спектрами, отклоняющимися от теплового, не содержится в каталоге Эггена (1968). Анализ скоростей пульсаров показывает, что НИЗЗ в основном должны принадлежать той подсистеме Галактики, которой принадлежали звезды, породившие их. Возможно НИЗЗ, образующиеся из звезд плоской составляющей Галактики, частично становятся объектами промежуточного типа.

Ожидаемая зона ионизации вокруг НИЗЗ в рассматриваемом объекте будет иметь угловой размер до $10''$. Поэтому для обнаружения НИЗЗ следует изучать параллаксы звезд и звездобразных объектов слабее 17^m . Искать НИЗЗ в темных туманностях еще более трудно, т.к. они удалены более, чем на 100 пс. Радиоизлучение от аккреции на НИЗЗ должно иметь еще меньшую мощность ($\sim 10^{27}$ эрг/сек), однако их можно обнаружить на малых расстояниях, но изучение параллакс таких объектов исключительно трудная задача.

По-видимому, имеющийся на сегодня материал позволяет сделать следующие выводы:

1. Одиночная звезда (независимо от массы) в процессе обычной медленной эволюции не теряет и половины своего вещества. Это относится и ко всем звездам, входящим в широкие пары. Поэтому при оценке числа звезд, заканчивающих эволюцию, и числа НИЗЗ можно пренебречь потерей вещества звездами в процессе обычной эволюции.

2. Образование релятивистских звезд с большой вероятностью сопровождается взрывом сверхновых. Именно поэтому не известен радиопульсар, входящий в кратную систему. Поиски НИЗЗ в двойных системах уже показывают, что массивных НИЗЗ нет в кратных системах. По-видимому, таких звезд не может быть и в системах, подобных β Лира и ϵ Возничего (Гусейнов, 1972; Горбачкий, 1972). Возможно, НИЗЗ принадлежат парам с очень большими периодами (системам с неизвестными орбитальными элементами) и системам, лежащим на диаграмме U-B, B-V выше линии "черного тела".

3. Аккреция межзвездного вещества в Галактике не играет существенной роли даже при выявлении НИЗЗ. Обнаружение пульсаров показало, что и для нейтронных звезд характерным процессом является эжекция вещества. Однако, именно катастрофическое сжатие (коллапс), по-видимому, является причиной грандиозных взрывов в Галактике. Свидетельством этого является пульсар в Крабе.

Развитие рентгеновской астрономии увеличило вероятность открытия застывших звезд. Известно, что эволюция звезд в тесных двойных системах способна привести к тому, что коллапсу раньше будет подвергнута менее массивная компонента. В таких тесных системах вероятность распада системы несколько меньше. Именно так может образоваться рентгеновская звезда в двойной системе. Примерами подобных систем, возможно, являются Cyg X-1, Cen X-3 и Her X-1. Таких систем

в Галактике должно быть всего ~ 100 . Но благодаря их большой светимости ($\sim 10^{37}$ эрг/сек), именно в них легче обнаружить застывшую звезду, чем среди многочисленных одиночных НИЗЗ. Конечно, пока рано говорить об обнаружении застывших звезд, тем более ответить на вопрос о реализации метрики Шварцшильда или Керра. Однако надо помнить о том, что если бы перетекание вещества в тесных системах на белый карлик приводило бы к рентгеновскому источнику вышеуказанных типов, то их в Галактике было бы на несколько порядков больше.

В заключение выражаю благодарность Зельдовичу Я.Б. и Новикову И.Д., многолетнее сотрудничество с которыми привело к изложенным результатам. Я также благодарен Амбарцумяну В.А., Гершбергу Р.Е., Горбацкому В.Г., Ефремову Ю.Н., Копылову И.М., Кукаркину Б.В., Мартынову Д.Я. и всем, с которыми неоднократно обсуждал разные вопросы, затронутые в данной статье.

Литература:

- Зельдович Я.Б., Новиков И.Д., 1971, "Теория тяготения и эволюция звезд", "Наука", М.
 Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К., АЖ (в печати).
 Гусейнов О.Х., Новрузова Х.И., 1970, АЦ № 560.
 Ахундова Г.В., Гусейнов О.Х., АЦ (в печати).
 Гусейнов О.Х., 1972, Циркуляр ШАО № 3.
 Горбацкий В.Г., 1972, АЦ № 707.
 Вулли и др., 1970 — Wolley S.R., Epps E.A., Penston M.I., Pock S.B., Royal Observatory Annals, № 5.
 Эгген, 1968 — Eggen O.I., Royal Observatory Bulletins, № 137.

Шемахинская астрофизическая
 обсерватория АН Азерб.ССР

*Поступила в редакцию
 в октябре 1972 г.*