

УДК 524.354

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РАДИОПУЛЬСАРОВ

Ф.К.КАСУМОВ, Х.И. НОВРУЗОВА, С.О.ТАГИЕВА

*Институт Физики АН Азербайджана
370143, Баку, пр. Г. Джавида, 33*

Опираясь на наблюдательные оценки времени жизни массивных звезд и частоту их рождения, показана невозможность формирования высокоскоростных радиопульсаров только в результате распада тесных двойных систем при симметричной вспышке сверхновой. Высокоскоростные радиопульсары скорее всего образуются в процессе асимметричных вспышек первичных компонент двойных систем, включающие в себя и широкие пары.

Исследования последнего десятилетия показали, что радиопульсары действительно оказались высокоскоростными объектами Галактики. Оценки пространственных скоростей, основанных на измерениях их собственных движений для значительного количества объектов (более 100), привели к значению их средней скорости ≥ 450 км/сек [1]. Более умеренные оценки, основанные на генетических аспектах их происхождения, дают значение средней скорости ~ 250 – 300 км/сек [2,3]. Эти скорости существенно превышают скорости их возможных прародителей одиночных массивных звезд ($v_r \sim 10$ – 20 км/сек) или компонент широких двойных систем. В связи с этим Ибен и Тутуков [4] выдвинули идею о том, что пульсары не могут быть результатом эволюции одиночных звезд и компонент широких двойных систем. Они могут рождаться только в массивных тесных парах, где есть условия для значительного увеличения угловой скорости вращения звезды и, тем самым, для рождения быстро вращающейся нейтронной звезды (НЗ) после второй вспышки сверхновой (СН) в системе.

Известно, что только быстро вращающаяся НЗ может быть радио пульсаром, так как радиопульсары имеют периоды вращения около секунды и меньше. Нет ни одного радиопульсара, который бы имел период больше чем 5 сек, в тоже время, существуют много миллисекундных пульсаров.

Если сказанное справедливо, то тогда как это следует из функции звездообразования и относительной доли тесных двойных систем среди всех массивных звезд, частота рождения пульсаров не может быть более 30% от частоты вспышек СН. Однако, на сегодняшний день, разница в частотах рождения пульсаров и вспышек СН не более чем 3 раза. Согласно [5,6] отношение масс компонент в массивных системах (когда первичный компонент имеет спектральный класс ранее В2) близко к 0.3–1. В таких системах согласно [4] распад компонент возможен только (или главным образом) после второй вспышки СН в системе. Но так ли это на самом деле? В чем причина возникающего противоречия следующего из гипотезы Ибена и Тутукова [4]?

Чтобы ответить на эти вопросы обратимся к более детальному анализу частоты формирования массивных двойных систем. С этой целью рассмотрим времена жизни массивных звезд.

Для одиночной звезды массой $12M_{\odot}$ продолжительность фазы горения водорода $1 \cdot 10^7$ лет, гелия - $5 \cdot 10^6$ лет [7]

Естественно, теоретически трудно оценить продолжительность жизни на различных фазах эволюции для массивных звезд и в особенности, если они входят в тесные пары. Поэтому обратимся к прямым наблюдательным данным о звездах с массами $\geq 10 M_{\odot}$, принадлежащих к ОВ ассоциациям. Согласно данным каталогов [8,9], число таких звезд на главной последовательности (ГП) не превосходит число звезд, уже сошедших с него. Но число звезд на каждой стадии эволюции пропорционально продолжительности жизни на этой стадии. Следовательно, продолжительность стадии ГП для массивных звезд близка ко времени жизни сверхгигантов. Поэтому, продолжительность жизни звезд с $M=12M_{\odot}$ может быть $1,5 \cdot 10^7 - 2 \cdot 10^7$ лет.

В объеме с радиусом $d \leq 2,5$ кпс вокруг Солнца число известных остатков сверхновых звезд (ОСН) около 40. Но их здесь в действительности может быть в 1.5 - 2 раза больше, если учесть трудности в обнаружении ОСН, в особенности, в областях НП (во-первых, в НП областях плотность вещества меньше; во-вторых, сама область НП является источником радиоизлучения, на фоне которого обнаружение ОСН становится труднее).

Известно, что в секторе с радиусом $\leq 2,5$ кпс и с углом раствора в 50° в интервале галактических долгот $95^\circ \leq l \leq 145^\circ$ много областей звездообразования (ОЗ). Число звезд со спектральным классом ранее чем В2 (то есть звезд с массами $M \geq 12M_{\odot}$) ~ 1600 [10]. Зная это, оценим число звезд с $M \geq 12M_{\odot}$ во всем объеме вокруг Солнца с радиусом в 2,5 кпс. Однако при этом нужно учесть, в секторе $145^\circ \leq l \leq 245^\circ$, почти нет ОЗ, а значит и таких массивных звезд. Поэтому из рассматриваемого объема нужно вычесть этот сектор с углом раствора в 100° . Тогда, принимая во внимание, что число звезд в секторе с углом раствора в 50° около ~ 1600 , найдем число звезд в секторе с углом раствора $360^\circ - 100^\circ = 260^\circ$;

$$N = 1600 \frac{260}{50} \approx 8000$$

Теперь оценим время жизни звезд с массами $\sim 12 - 13M_{\odot}$, используя среднее значение времени жизни ОСН около $(5-10) \times 10^4$ лет и их возможное число в этом же объеме (около 70). Если бы ОСН были только результатом эволюции звезд с массами $M \geq 12M_{\odot}$, то среднее время жизни этих звезд было бы во столько раз больше среднего времени жизни ОСН, во сколько раз число этих звезд больше числа ОСН. Таким образом, среднее значение времени жизни звезд с $M \geq 12M_{\odot}$:

$$t = (5-10) \cdot 10^4 \frac{8000}{70} \approx 9 \cdot 10^6 \text{ лет}$$

Но нужно учесть еще и то, что нижний предел массы прародителей НЗ, а значит и звезд, кончающих эволюцию вспышкой СН, около $7-8M_{\odot}$ [11]. Как было показано в работе [11], около 30% СН являются результатом эволюции звезд $7M_{\odot} \leq M \leq 9M_{\odot}$. Таким образом, только половина ОСН, расположенных в рассматриваемом объеме Галактики, связаны с эволюцией звезд с $M \geq 12M_{\odot}$, т.е. не 70, а ~ 35 ОСН. С учетом этого среднее время жизни звезд с $M \sim 12-13M_{\odot}$ должно быть не $9 \cdot 10^6$ лет, а $1.8 \cdot 10^7$ лет. Итак, найденная продолжительность жизни близка к значению, приведенному в начале статьи.

Оценить время жизни этих звезд можно также используя их пространственное движение, т.е. так называемый кинематический возраст. Большинство ОВ звезд рождаются в ОВ ассоциациях. Но убегающие ОВ звезды, благодаря их большим скоростям $\sim 30-60$ км/сек, (в среднем ОВ звезды имеют пространственные

скорости 10-15 км/сек), уходят с места рождения на расстояние L . Поэтому, разделив расстояние их нынешнего местонахождения от места рождения L , на их скорости, можно оценить их кинематический возраст. Найденные таким образом средние кинематические возраста убегающих ОВ звезд согласно [12,13], соответственно равны 4.6×10^6 лет и 4×10^6 лет. Но эти звезды еще не завершили стадию жизни на ГП. Учитывая это, а так же время их жизни на стадии сверхгиганта, мы должны увеличить эти возрасты хотя бы в 3 раза, т.е. получим 1.2×10^7 - 1.5×10^7 лет. Итак, учитывая все данные о временах жизни, среднее время жизни звезд с $M=12M_{\odot}$ можно принять равным $\sim 1.5 \times 10^7$ лет.

Из приблизительного равенства числа массивных звезд на ГП и сошедших с неё, следует, что верхний предел времени жизни сверхгигантов около $(7-8) \times 10^6$ лет. Именно на стадии после ГП звезды с массами около $12-15M_{\odot}$ начинают интенсивно терять вещество. Такие звезды, будучи в паре с НЗ или с черными дырами (ЧД) порождают массивные рентгеновские системы. Таким образом, время жизни массивных рентгеновских двойных (МРД) должно быть около $(7-8) \times 10^6$ лет, т.е. в ~ 100 раз больше среднего возраста ОСН.

Согласно [4] вспышка СН происходит симметрично. При такой вспышке пульсар, родившийся от одиночной звезды, будет иметь пространственную скорость около 10-15 км/сек, как и одиночные ОВ звезды. Пульсар же, родившийся в двойной системе и оторвавшийся от компоненты, будет иметь скорость равную орбитальной скорости. А т.к. орбитальные скорости могут достигать сотен километров только в очень тесных массивных системах, то пульсары являются продуктом эволюции только тесных массивных систем.

С другой стороны, для того чтобы наблюдалось пульсарное явление, молодая НЗ должна быстро вращаться вокруг своей оси и согласно [4] оно также приобретает только в тесных двойных системах. Следовательно, следуя гипотезе Ибена и Тутукова, следует принять, что пульсары рождаются в массивных тесных двойных системах после второй вспышки СН в системе. Примером тесных двойных систем, где оба компонента первоначально были массивными и где можно ожидать вторую вспышку СН, является рентгеновская двойная система с массивным компонентом (МРД).

Однако нижеследующие рассуждения ставят под сомнение однозначность выводов этой гипотезы. Число ОСН, наблюдаемых в Галактике, порядка 200 (каталог Грина), а с учетом эффекта селекции их должно быть около 1000. Число наблюдаемых массивных рентгеновских источников около 100, а их должно быть около 5000, если учесть их малую рентгеновскую светимость, при спокойном состоянии [14,15]. Но продолжительность жизни ОСН в ~ 100 раз меньше, чем МРД, поэтому, если ОСН в Галактике - 1000, то МРД должно быть 100000. А реальное ожидаемое число МРД - 5000, что в 20 раз меньше. Следовательно, частота рождения таких рентгеновских звезд должна быть меньше частоты вспышек СН в 20 раз. Таким образом, если бы радиопульсары рождались по сценарию Ибена и Тутукова [4], то их частота рождения была бы меньше частоты вспышек СН в 20 раз. Тогда как частота рождения пульсаров с точностью в 3 раза совпадает с частотой вспышек СН [16,17].

Известно, что одиночные массивные звезды с массами $\geq 12M_{\odot}$ и массивные звезды в относительно широких парах заканчивают эволюцию вспышкой СН II-типа. Частота вспышек СН II-типа в Галактике в 1.5-2 раза превосходит частоту вспышек СН I типа. В спектрах СН II типа наблюдаются сильные водородные линии. Это

свидетельствует о том, что перед вспышкой СН ядерные части этих звезд, где отсутствует водород (он выгорел), окружены массивной водородной оболочкой. У СН I-го типа, если и наблюдаются водородные линии, то они слабые. У них главным образом наблюдаются металлические линии, а это значит, что перед вспышкой СН ядра не были окружены водородной оболочкой значительной массы.

Такая ситуация может сложиться в результате эволюции массивной звезды в тесной двойной системе. Благодаря наличию второй компоненты звезда непрерывно теряет расширяющуюся водородную оболочку. Согласно [4] коллапс звезды в тесной двойной системе приводит к вспышке СН типа Ib и Ic (также к рождению МРД). Доля этих типов сверхновых среди всех вспышек СН, а также и массивных членов тесных систем среди всех массивных звезд около 1/3. Поэтому частота рождения МРД при отсутствии разрыва пары во время первой вспышки СН в системе могла быть в 3 раза меньше частоты вспышки СН, если одновременно отношение масс компонент практически равно 1. Но как было сказано выше, частота образования МРД почти в 20 раз меньше частоты вспышек СН. Конечно, такое несогласие частично можно объяснить отклонением отношения масс компонент от 1. К тому же не всегда образование НЗ в тесной паре сразу приводит к появлению рентгеновского источника и примером этому является PSR J1302-635 [18]. Однако, таким образом трудно объяснить малость частоты формирования МРД, и мы считаем, что она в значительной степени может быть связана с разрывом пар после вспышек СН в системе. Учитывая существенность разрыва двойных систем, а также известные оценки частоты вспышек СН и рождения пульсаров, не следует отрицать рождение пульсаров уже после первой вспышки в тесной паре и возможность их рождения в широких парах, а значит и в результате эволюции массивной одиночной звезды.

Идея Ибена и Тутукова относительно рождения радиопульсаров только в тесных двойных системах способствует пониманию происхождения больших пространственных скоростей и активности пульсаров, а также стимулирует новые исследования. Согласно [19] пульсары, которые в действительности ассоциируются с ОСН, имеют несколько большие значения пространственных скоростей и магнитных полей. Они активнее, чем другие пульсары.

Очень молодой пульсар с большой пространственной скоростью, одновременно имея высокую активность, может влиять на ОСН, ведь именно это влияние помогает нам сделать заключение относительно справедливости ассоциации. Поэтому пульсары, ассоциирующиеся с ОСН, с большой вероятностью могут быть продуктами эволюции звезд в тесных парах.

Рождение радиопульсаров (PSR) в тесных парах может пролить свет и на другие проблемы. Как известно, PSR J0502+4654 с величиной тангенциальной (перпендикулярной к лучу зрения) скорости ~ 75 км/сек проецируется на центральную область ОСН НВ 9. Но эта пара не рассматривается как реальная пара, т.к. характеристическое время жизни пульсара равно 1.5×10^6 лет и влияние пульсара на вид и характер излучения ОСН НВ 9 не обнаруживается. Так как доля ОСН, где обнаруживается влияние активности пульсара на излучение и на морфологию ОСН, среди всех ОСН очень мала, то не следует отрицать возможную связь PSR J 0502+4654 с ОСН НВ9. Но эта связь не генетическая. Учитывая вышеизложенное, а также данные о возможности рождения одиночных пульсаров с малыми значениями магнитных полей и большими характеристическими возрастами можно сделать следующие выводы:

1. Оценки времени жизни массивных звезд из наблюдательных данных и статистические исследования МРД систем, указывают на значительную вероятность разрыва тесных двойных систем уже после первой вспышки СН в системе. Симметричная вспышка СН в тесной двойной системе не обеспечивает наблюдаемую частоту рождения радиопульсаров и ОСН. Следовательно, большие пространственные скорости радиопульсаров можно объяснить только асимметричностью вспышек СН массивных звезд, входящих как в тесные, так и в широкие пары. Не исключена также вероятность рождения высокоскоростных радиопульсаров при асимметричной вспышке одиночной массивной звезды.

2. PSR J0502+4654 входит в пару с массивной звездой. Вторая вспышка СН породила наблюдаемый ОСН HB9. Сверхплотная звезда, генетически связанная с ОСН HB 9, не обнаруживается в связи с малой светимостью или же ориентацией излучения не в нашу сторону. Этот вывод легче объясняет нахождение PSR J0502+4654 в центральной части ОСН HB9, чем случайное равенство их расстояний и случайная проекция на центральную часть остатка.

1. A.G. Lyne, D.R. Lorimer, *Nature*, 32 (1994) 1.
2. А.О.Аллахвердиев, О.Х.Гусейнов, С.О.Тагиева, И.М.Юсифов, *Астрон. Журн.* 74 (1997) 297.
3. B.M. Hansen, E.S. Phinney, *MNRAS*, 294 (1998) 557.
4. I. Iben, A.V. Tutukov, *Ap.J.*, 456 (1996) 738.
5. C.D. Garmany, P.S. Conti, P. Massey, *Ap.J.*, 242 (1980) 777.
6. O. Demircan, S. Ozdemir, A.O. Allahverdiev, O.H. Guseinov, *The Observatory*, 115 (1995) 202.
7. D. Schaerer, C. Charbonnel, G. Maynet et al., *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 102 (1993) 33.
8. R.M. Humphreys, *Ap.J., Suppl. Ser.*, 38 (1978) 309.
9. C.D. Garmany, R.E. Stencel, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 94 (1992) 211.
10. C.D. Garmany, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 106 (1994) 25.
11. А. О.Аллахвердиев, О.Х.Гусейнов, С.О.Тагиева, *Fizika, Baku*, 4 (1997) 51.
12. A. Blaauw, *Bull. Astron. Inst. Netherl.*, 15 (1961) 265.
13. R.S. Stone, *Ap.J.*, 232 (1979) 520.
14. P.R. Amnell, O.H. Guseinov, S.Y. Rakhimov, *Astrophys. Space Sci.*, 29 (1974) 331.
15. E.J. Meurs, van den Heuvel, *Astron. and Astrophys.*, 226 (1989) 88.
16. О.Х.Гусейнов, Ф.К.Касумов, *Астрон. Журн.*, 17 (1974) 737.
17. D.R. Lorimer, M. Bailes, R.J. Dewey, P.A. Harrison, *MNRAS*, 263 (1993) 403.
18. S. Johnston, A.G. Lyne, R.N. Manchester, et al., *MNRAS*, 255 (1992) 401.
19. A.O. Allahverdiev, M.A. Alpar, F. Gok, O.H. Guseinov, *Turkish Journal of Physics*, 21 (1997) 688.

YÜKSƏK SÜRƏTLİ RADİOPULSARLARIN YARANMASINA DAİR

F.Q.QASIMOV, H.I. NOVRUZOVA, S.O.TAGIEVA

Yüksək kütləli ulduzların müşahidə ilə təyin edilən yaşama müddətinə və onların yaranma tezliyinə əsaslanaraq, yüksək sürətli radiopulsarların yalnız sıx qoşa sistemlərin ikinci komponentinin simmetrik partlayışı nəticəsində əmələ qəlməsinin qeyri mümkünüyü göstərilmişdir. Bu ob'ektlərin formalaşması qoşa sistemlərin (o cümlədən geniş qoşalar daxil olmaqla) ilkin komponentinin asimetrik partlayışı zamanı parçalanmasını tələb edir.

ON THE FORMATION OF HIGH VELOCITY RADIO PULSARS

F.K KASUMOV, H.I.NOVRUZOVA, S.O.TAGIEVA

On the basis of the observational data of massive stars (lifetime and birthrates) it is shown that the formation of high velocity radio pulsars as the result of brake of close binary systems during symmetric supernova event is impossible. It seems that high velocity radio pulsars are formed in binary systems (close and wide) at the process of nonsymmetrical supernova explosion of their primary component.