

# НИЖНИЙ ПРЕДЕЛ ДЛЯ МАССЫ ПРАРОДИТЕЛЕЙ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

**А.О. АЛЛАХВЕРДИЕВ, С.О. ТАГИЕВА**

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

**О.Х. ГУСЕЙНОВ**

*Мрамаринский Исследовательский Центр  
TUBITAK, PK 216 41470, Гебзе-Косаели, Турция*

Сделан критический анализ способов оценки нижнего предела массы для прародителей нейтронных звезд. Рассмотрено пространственное распределение остатков Сверхновых с поверхностной радиояркостью на частоте  $1 \text{ ГГц} \geq 10^{21} \text{ Вт/м}^2 \text{ Гц стер.}$ , радио-пульсаров с характеристическими возрастными  $\leq 5 \cdot 10^5$  лет и массивных двойных рентгеновских звезд, расположенных в окрестности Солнца с радиусом до 3 кпк. Из сравнения распределения этих объектов с распределением областей звездообразования, в которых сосредоточены почти все звезды с  $M \geq 9M_0$ , определена нижняя граница массы прародителей нейтронных звезд равная  $7-8 M_0$ .

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на многолетние обсуждения частоты рождения нейтронных звезд (НЗ) и пульсаров, а также вспышек Сверхновых (СН), эта проблема еще долго будет стоять на повестке дня. Главные трудности здесь связаны с разными наблюдательными эффектами селекции и с множеством теоретических предположений. Мы не хорошо знаем, какие типы вспышек СН связаны с образованием НЗ, какова частота вспышек СН в Галактике и в окрестности Солнца, эволюция каких звезд (одиночных, двойных и каких именно масс) заканчивается рождением пульсаров. Зная все это, мы могли бы более уверенно оценить нижний предел массы для звезд на главной последовательности, эволюция которых завершается вспышкой СН и рождением НЗ. Согласно [1], частота образования пульсаров 1 в 150 лет, при нижнем значении массы для прародителей  $\sim 5 M_0$ . Используя данные для исторических СН [2], Стром оценивает частоту вспышек СН как 1 в 6 лет, при том же значении нижнего предела массы прародителей. Эта большая разница между частотами рождения пульсаров [1] и вспышками СН [2], главным образом связана со значительной переоценкой частоты СН.

В принципе, нижний предел массы прародителей НЗ может совпадать с верхним пределом массы прародителей белых карликов. Предельная масса белых карликов, согласно [3],  $\sim 7-8 M_0$ . Согласно же [4] этот предел равен  $6-11 M_0$ . С учетом вышеизложенного, верхняя и нижняя границы нижнего предела массы прародителей НЗ могут отличаться почти в 2 раза. Если использовать эти числа за нижний предел массы прародителей, тогда частота рождения НЗ (вспышек СН) должна изменяться в пределах 3-4 раза, если для оценки использовать функции звездообразования [5, 6]. Если бы была известна точная частота вспышек СН в окрестности Солнца, то нижний предел массы прародителей НЗ был бы найден с малой неопределенностью  $\sim 1M_0$ , характерной для функции звездообразования. Однако для оценки локальной частоты СН мы не можем использовать даже независимые оценки частоты СН для Галактики в целом, около 1-3 в 100 лет [7]. Это связано с необходимостью ввода неуверенных

предположений о симметрии в Галактике и темпе звездообразования в ее разных частях.

Актуальность обсуждаемой проблемы и необходимость поиска надежных решений неоспоримо. Однако, перед нами очевидная ситуация, затрудняющая решение вопроса. Во-первых, используемые данные сопряжены с естественными ошибками, которые возрастают при желании увеличить статистику за счет охвата больших интервалов времен и объема пространства. Во-вторых, как бы мы не старались увеличить число рассматриваемых объектов, их количество всегда будет недостаточно для уверенного использования статистических методов. В такой ситуации единственно правильным путем является подход к решению проблемы с разных позиций. Естественно, каждый подход в отдельности не приведет к убедительному решению. Однако, сравнение ответов этих независимых подходов позволит нам приблизиться к правильному выводу. В этой работе мы уточним нижнее значение массы прародителей НЗ, используя так же результат анализа возможной связи остатков сверхновых (ОС), молодых пульсаров и массивных рентгеновских звезд с областями звездообразования (ОЗ).

## 2. БЕЛЫЕ КАРЛИКИ, ОСТАТКИ СВЕРХНОВЫХ И ПУЛЬСАРЫ.

В начале остановимся на предельной массе, найденной из данных о белых карликах (БК) в молодых рассеянных скоплениях. Масса прародителей БК тем больше, чем меньше их жизни на главной последовательности

$$t = t_{\text{расс. скопл}} - t_{\text{остывание Б.к.}}$$

Отсюда, чем меньше возраст скопления и больше время остывания БК, тем меньше продолжительность жизни и больше масса прародителя. Поэтому, наиболее массивные прародители должны быть у БК в Плеядах и NGC 2516. Никто не возражает, что масса прародителя белого карлика в Плеядах около  $6 M_0$ , поэтому перейдем к рассмотрению БК в NGC 2516. В этом скоплении с возрастом  $1.1 \cdot 10^7$  лет [8] или  $1.6 \cdot 10^7$  лет [9], имеются три БК. Максимальная масса для прародителя  $9.8 M_0$  найдена

для БК NGC 2516-3, у которого время остывания наибольшая  $7.5 \cdot 10^7$  лет [10]. Если использовать новое значение для возраста этого скопления  $1.6 \cdot 10^7$  лет, то масса прародителя БК уменьшится до  $5 M_{\odot}$ . (Время эволюции звезд см. [9]). Но возросли и времена остывания БК [11], поэтому массы прародителей этих 3-х БК оказались в пределах  $6-7 M_{\odot}$ . Других данных на сегодня нет. Более того, если учесть большое расстояние до NGC 2516, около 440 пк [12] и температуру массивного БК,  $33500 \text{ K}$  [10], то естественно, с большим доверием придется относиться только к данным о БК в Плеядах с массой прародителя около  $6 M_{\odot}$ . Таким образом, на сегодняшний день отсутствуют данные, указывающие на возможную массу прародителя одиночного БК  $>6-7 M_{\odot}$ .

Рассмотрим перспективу определения верхней границы масс прародителей БК в молодых рассеянных скоплениях. Время жизни звезды с массой  $7 M_{\odot}$  около  $4 \cdot 10^7$  лет [9]. Но ошибки в оценках времени остывания, даже для очень горячих БК с  $T \sim 30000 \text{ K}$ , превосходят эту величину. Если учесть, что другое молодое скопление, для которого известны БК, NGC 2168 имеет расстояние 870 пк, то станет понятной перспектива такого подхода. Происходит наложение ошибок в определении температуры и массы БК с ошибками в моделях остывания. Поэтому, более надежным, но не более легким, является поиск планетарных туманностей и их очень горячих звездных остатков в скоплениях с точкой поворота с главной последовательности  $\sim 6-8 M_{\odot}$  [13]. В этом случае, не мы не сталкиваемся с указанными неопределенностями. Массу прародителя можно принять равной массе самой ранней звезды скопления.

Теперь остановимся на причинах малой привлекательности оценки нижней границы массы прародителей НЗ по данным частот вспышек СН. Средняя частота вспышек СН в галактиках типа Sb около 1-3 в 100 лет. Среди них есть такие, в которых наблюдались несколько вспышек (идут бурные процессы звездообразования). В нашей Галактике нет указаний на вспышку СН за последние 300 лет. В окрестности Солнца с радиусом в 5 кпк об этом можно говорить смело, если учесть результаты поисков очень молодых ОС и нейтронных звезд в радио и рентгеновском диапазонах. Таким образом, трудности налицо.

В работе [1] частота рождения пульсаров была оценена как 1 в 150 лет. Вспомним, что в работе [14] для этой же частоты были даны значения 1 в 5 лет, а в [15] – 1 в 10 лет. Что же изменилось с тех пор, почему такая большая разница в частотах рождения пульсаров? Дело в том, что большие пространственные скорости пульсаров не позволяют верить в тихий коллапс, с частотой большей частоты СН. Правда возросло число пульсаров, мы стали лучше понимать связь характеристического времени с реальным возрастом, уточнились представления об эволюции коэффициента направленности излучения и, наконец, больше знаем о светимостях пульсаров. Однако, весь этот прогресс не позволяет оценить частоту пульсаров с большей точностью, чем частоту СН. Функция светимости пульсаров имеет экспоненциальный характер и неизбежные ошибки в оценке его показателя уже приводят к неопределенности в частоте рождения в несколько раз. Ведь приходится использовать простран-

ственную плотность очень слабых пульсаров. Существенное уточнение начальной светимости пульсаров и коэффициента ориентации будет достигнута только после тщательного поиска пульсаров во всем объеме и в окрестности ЦС с расстояниями до 5-6 кпк и с чувствительностью до и более чем 1 мЯн. А на это требуются многие годы тщательных наблюдений.

### 3. ОСТАТКИ СВЕРХНОВЫХ, ПУЛЬСАРЫ И ОБЛАСТИ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ.

Согласно [16], примерно 75 % О звезд и только 58 % звезд спектрального класса ранее, чем В2 (звезд с массами  $M \geq 9 M_{\odot}$ ), являются членами ОБ ассоциаций. Другими словами,  $>60$  % звезд с массами  $>9 M_{\odot}$  сосредоточены в менее, чем 1/100 объема, расположенного симметрично по отношению к плоскости Галактики и имеющей толщину  $\sim 200$  пк. С другой стороны, в окрестности Солнца радиусом в 110 пк, похоже, имеются 6 звезд с  $M \geq 9 M_{\odot}$  [17]. Сосредоточение массивных звезд, не являющихся членами ОБ ассоциаций и отдельных молодых рассеянных скоплений в ОЗ известно и естественно. Солнце расположено в ОЗ и окружено молодыми скоплениями Персей, Плеяды, о Паруса и  $\theta$  Карина, которые содержат звезды с массами до  $6-7 M_{\odot}$ . Несколько дальше них, на расстоянии 180 пк расположена SCO OB2, включающая в себя ОБ звезды. Поэтому, не приходится сомневаться в принадлежности  $\geq 50\%$  звезд с массами  $7 M_{\odot} < M < 9 M_{\odot}$  и почти всех звезд с  $M > 9 M_{\odot}$  к областям звездообразования, которые по своим размерам значительно превосходят ОБ ассоциации.

Из 5 остатков исторических СН с возможными возрастными  $\sim 1000$  лет и расстояниями 3 кпк, только Кас А и Тихо, вероятно расположены в ОБ ассоциациях. Но если бы вспышкой СН завершилась эволюция только звезд с массами  $> 9 M_{\odot}$ , тогда большинство ОС и пульсаров должны были бы рождаться в ассоциациях. Однако поиски ОС и пульсаров на разных длинах волн не привели к обнаружению таких объектов с возрастными меньше, чем 1000 лет в ОБ ассоциациях. Более того, из 23 ОС с рассматриваемыми значениями поверхностной яркости только 6, а из 20 пульсаров с  $\tau \leq 10^5$  лет только 5, вероятно расположены в ОБ ассоциациях с расстояниями до 3 кпк от Солнца. Уже это указывает на то, что нижний предел массы прародителей НЗ должен быть  $< 9 M_{\odot}$ . Для подтверждения этого и уточнения граничной массы между одиночными прародителями БК и НЗ рассмотрим пространственные распределения ОС, молодых пульсаров и рентгеновских звезд с массивными компонентами, относительно ОЗ.

Области звездообразования – понятие расплывчатое (см. напр. [18]). Под этим понятием здесь мы имеем в виду области значительных размеров, которые содержат не только отдельные близко расположенные ОБ ассоциации и рассеянные скопления, но и их окрестности. Естественно, протяженности ОЗ вдоль луча зрения, не могут быть взяты меньше, чем неопределенности в расстояниях, включенных в них, ОБ ассоциаций. Поэтому, можно принять, что ОЗ включают в себя почти все звезды с массами  $> 9 M_{\odot}$ . При таком рассмотрении, как видно из рис. 1, остаток СН 1181 года с его новым

значением расстояния 3.2 кпк [19], тоже можно считать расположенным в ОЗ, если учесть неопределенности в расстоянии до ОС. Что касается ОС 1006 года, удаленной от плоскости Галактики на расстояние >300 пк и Краба, то они точно не расположены в ОЗ.

На рис. 1 открытыми кружочками представлены ОВ ассоциации по [20], а заполненные кружочки и знаками "+" – ОС соответственно с поверхностными радиояркостями, на частоте 1 ГГц  $\Sigma \geq 3 \cdot 10^{-21}$  Вт/м<sup>2</sup> Гц стер. и  $1 \cdot 10^{-21} \leq \Sigma < 3 \cdot 10^{-21}$  Вт/м<sup>2</sup> Гц стер. Мы не рассматриваем очень слабые ОС, так как их расстояния и возрасты очень трудно поддаются оценке. Расстояния до ОС взяты из работ [19, 21]. Остатки исторических СН обведены кружками. Для надежности суждений, нужно иметь ввиду неполноту ОВ ассоциаций и рассеянных скоплений в направлении  $270^\circ < l < 30^\circ$  на расстояниях более, чем 2.5 кпк. Поэтому, рассмотрим ОС, пульсары и массивные рентгеновские двойные на расстояниях до 3 кпк в направлении антицентра и 2.5 кпк в направлении центра Галактики.

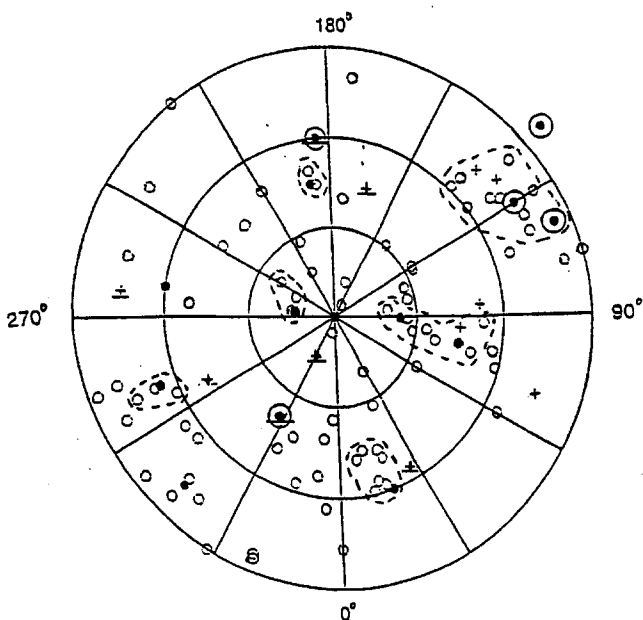


Рис. 1. Распределение ОВ ассоциаций и остатков сверхновых в окрестности Солнца радиусом до 3 кпк. Открытые кружочки – ОВ ассоциации; заполненные кружочки и знаки "+" – ОС (см. текст). ОС, расположенные вне областей звездообразования подчеркнуты, а находящиеся в ОЗ обведены пунктиром.

Как видно из рис. 1, около 70 % ярких (8 из 11) и около 30 % (3 из 9) относительно тусклых ОС с большой вероятностью расположены ОЗ, которые обведены пунктирными линиями. В принципе 11-14 ОС из 20-21 могут быть связаны с ОЗ. Таким образом, вне этих областей могли родиться ~30-40 % ОС. Отсюда следует, что у этих ~30-40 % ОС (подчеркнутых снизу) прародители имели массы < 9 M<sub>0</sub>.

Конечно, необходимо еще учесть практическую невидимость ОС, родившихся в кавернах и баблах [22], трудности их обнаружения при проецировании на области НП. Однако, поиски ОС в ОВ ассоциациях в рентгеновском диапазоне показывают, что число необнару-

женных в радиодиапазоне ОС невелико. Так, в последнем каталоге ОС [19] имеются только 6 новых ОС, обнаруженных сперва по рентгеновским наблюдениям (ROSAT) и потом уже подтвержденных в радиодиапазоне. Один из этих ОС – G156.2+5.7 расположен в рассматриваемой нами области на расстоянии ~1.5 кпк вне ОЗ и имеет очень малую поверхностную радиояркость.

На рис. 2 открытыми кружочками обозначены ОВ ассоциации, а заполненными – пульсары с характеристическими возрастными  $\tau \leq 5 \cdot 10^5$  лет. Такие молодые пульсары не могут удалиться с места рождения на расстояние более ~300 пк, если даже их скорости будут достигать ~500 км/с. и реальный возраст принять равным  $\tau$ . Поэтому, учитывая это и неопределенности в расстояниях, можно принять, что половина пульсаров (вероятно 7-8 из 14-16) находятся в ОЗ. Здесь для пульсаров мы использовали расстояния, приведенные в работе [23]. Но результаты остаются приблизительно теми же, если использовать расстояния из каталога [24] (два пульсара расположенных вне ОЗ, в связи с увеличением их расстояний, выходят за пределы рассматриваемой зоны и мы учли это).

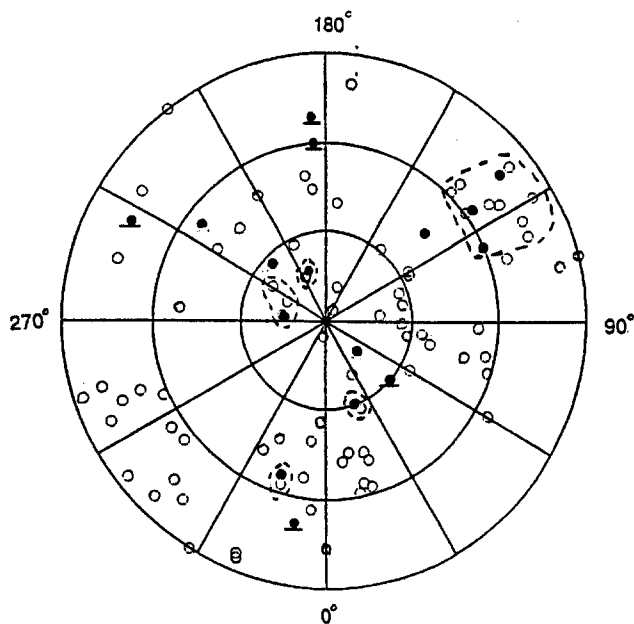


Рис. 2. Распределение ОВ ассоциаций и радиопулсаров с характеристическими возрастными  $\tau \leq 10^5$  лет в окрестности Солнца радиусом до 3 кпк. Открытые кружочки – ОВ ассоциации, а заполненные – пульсары. Пульсары, с большой вероятностью, расположенные вне ОЗ подчеркнуты, а находящиеся в областях звездообразования обведены пунктиром.

Нужно иметь ввиду, что в ОЗ и даже в ОВ ассоциациях обнаружены пульсары с малыми потоками, несколько мJy на частоте 400 МГц. Таким образом, в окрестности Солнца, полнота обнаружения пульсаров в ОЗ практически такая же, как и в их окрестностях.

Подобный анализ был сделан и для массивных рентгеновских двойных звезд, (включенные в каталог [25]), с массами оптических компонент больше 5 M<sub>0</sub> и рентгеновской светимостью более, чем  $\sim 10^{34}$  эрг/с. (При этом мы учли также наблюдательные данные, опубликованные до 1998 г.) Оказалось, что ~70-80 % таких

рентгеновских двойных, 8 из 11, с большой вероятностью находятся в ОЗ. (рис. 3). Такое их распределение естественно, так как релятивистские компоненты в таких системах, почти всегда, являются потомками О звезд.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных об одиночных белых карликах в молодых рассеянных скоплениях убедительно свидетельствует, что массы их прародителей не превосходят 6-7  $M_{\odot}$ . С другой стороны, менее половины вспышек Сверхновых происходят в ОВ ассоциациях, где сосредоточены более половины звезд с массами  $\geq 9 M_{\odot}$ . Если бы данные о вспышках СН в ОВ ассоциациях были бы уверенными, то уже отсюда неизбежно следовало бы, что граничная масса между прародителями одиночных белых карликов и нейтронных звезд около 7-8  $M_{\odot}$ .

ОВ ассоциации [20], которые можно объединить в зоны, содержащие почти все звезды с массами  $\geq 9 M_{\odot}$ , занимают ~30-40 % площади плоскости Галактики в окрестности Солнца радиусом 3 кпк в направлении на антицентр и 2.5 кпк в направлении на центр Галактики. Мы сравнили пространственные распределения остатков Сверхновых с поверхностными радиояркостями, на частоте  $1 \text{ ГГц}, \geq 10^{-21} \text{ Вт/м}^2 \text{ Гц стер.}$ , радиопульсаров, с характеристическими возрастaми  $\leq 5 \cdot 10^5$  лет и массивных двойных рентгеновских источников, с распределением областей звездообразования. Оказывается, что 30-40 % этих объектов расположены вне областей звездообразования. Это возможно понять, если только нижний предел массы прародителей нейтронных звезд меньше 9  $M_{\odot}$ .

Учитывая неопределенности в начальных функциях масс, особенно в их массивной части [26,27,5,6], можно принять, что звезды, рожденные с массами  $7 M_{\odot} < M < 9 M_{\odot}$  составляют ~25-35% от всех звезд, рожденных с массами  $\geq 7 M_{\odot}$ . Но 30-40 % вспышек СН происходят вне ОЗ, т.е. там, где почти нет звезд с  $M \geq 9 M_{\odot}$ . Поэтому, нижний предел для массы прародителей нейтронных звезд должен быть близок 7-8  $M_{\odot}$ .

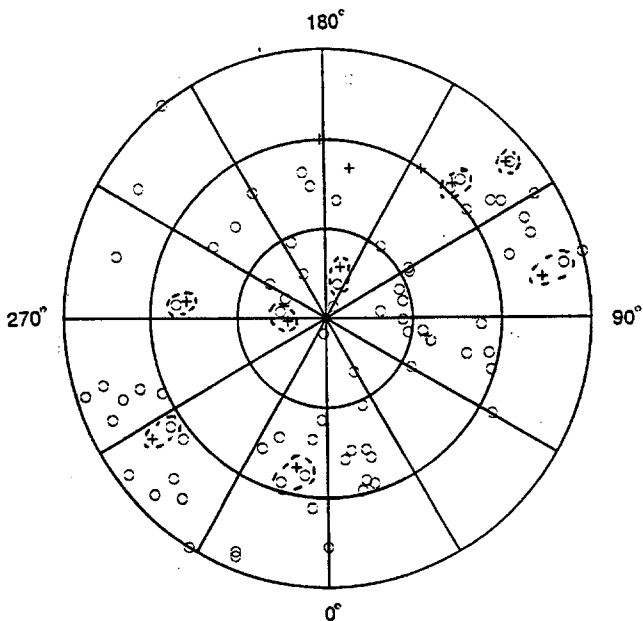


Рис. 3. Распределение ОВ ассоциаций и массивных двойных рентгеновских источников в окрестности Солнца радиусом до 3 кпк. Рентгеновские источники, с большой вероятностью находящиеся вне ОЗ, подчеркнуты, а расположенные в областях звездообразования обведены пунктиром.

[1] D.R. Lorimer, M. Bailes, R.J. Dewey, P.A. Harisson. Month. Not. Roy. Astron. Soc., 1983, v. 263, p. 403.  
 [2] R.G. Strom. Astron. and Astrophys., 1994, v. 288, p. 1.  
 [3] K. Nomoto. Astrophys. J., 1984, v. 227, p. 791.  
 [4] V. Weidemann. Ann. Rev. Astron. and Astrophys., 1990, v. 28, p. 103.  
 [5] J. Scalzo. Fund. Cosmic. Phys., 1986, v. 11, p. 1.  
 [6] C. Blaha, R.M. Humphreys. Astron. J., 1989, v. 98, p. 1598.  
 [7] S. Bergh van den, G. Tammann. Ann. Rev. Astron. and Astrophys., 1991, v. 29, p. 363.  
 [8] J.C. Mermilliod. Astron. and Astrophys., 1982, v. 109, p. 37.  
 [9] D. Schaerer, C. Charbonnel, G. Meynet, A. Maeder, G. Schaller. Astron. and Astrophys. Suppl., 1993, v. 102, p. 399.  
 [10] D. Reimers, D. Koester. Astron. and Astrophys., 1982, v. 116, p. 341.  
 [11] D.E. Winget, C.J. Hansen, J. Leibert. Astrophys. J., 1987, v. 315, p. 77.  
 [12] G. Lynga. Catalogue of open cluster, 1987, 5-th edition Lund observatory.  
 [13] A.O. Allakhverdiev, M.A. Alpar, O.H. Guseinov, E. Tuncer. Astron. and Astrophys. Trans, 1997. (in press).  
 [14] R.N. Manchester. Austral. J. Phys., 1979, v. 32, p. 1.  
 [15] J.N. Taylor. IAN Symp., № 84, Raydel, 1979, p. 119.  
 [16] C.D. Garmany. PASP, 1994, v. 106, p. 25.  
 [17] M.V. Zombek. Handbook of Space Astronomy and Astrophysics, 1990, Cambridge University Press.  
 [18] Ю.Н. Ефремов. Очаги звездообразования в Галактиках, М., 1989.  
 [19] D.A. Green. A catalogue of galactic supernova remnants (1996 July version) MRAO, Cambridge, UK, 1995.  
 [20] А.М. Мелник, Ю.Н. Ефремов. Письма в Астрон. Журн., 1995, т. 21, с. 13.  
 [21] А.О. Allakhverdiev, O.H. Guseinov, F.K. Kasumov, I.M. Yusifov. Astrophys. And Space Sci., 1986, v. 21, p. 21.  
 [22] Т.А. Лозинская. Сверхновые звезды и звездный ветер: взаимодействие с газом Галактики, М., 1986.  
 [23] F. Gok, M.A. Alpar, O.H. Guseinov. Turkish J. of Physics, 1996, v. 20, p. 21.  
 [24] J.N. Taylor, R.N. Manchester, A.G. Lyne, F. Camilo. A catalogue of 706 pulsars, 1996.  
 [25] J. van Paradijs. A catalogue of X-ray binaries. Preprint Astronomical Institute Anton Pannekoek, 1993.  
 [26] E.E. Salpeter. Astrophys. J., 1955, v. 121, p. 161.  
 [27] C.D. Garmani, P.S. Conti, C. Choosi. Astrophys. J., 1982, v. 263, p. 777.

**A.O. Allahverdiyev, O.H. Hüseyinov, S.O. Tağıyeva**

## **NEYTRON ULDUZLARIN ƏCDADLARININ KÜTLƏSİNİN AŞAĞI SƏRHƏDİ**

Neytron ulduzlarının əcdadlarının çəkisinin aşağı sərhədinin qiymətləndirilməsi üsullarının kritik analizi olunub. Günəşin 3 kps radius ətrafında, xarakteristik yaşı  $\leq 5 \cdot 10^5$  olan radiopulsarların, kütləvi əkiz rentgen ulduzların və yüksək radioparlaqlığı  $1 \text{ QHs} \geq 10^{-21} \text{ W/m}^2 \text{ Hz sr}$  tezliklərində ifrat yeni ulduz qalıqlarının məkanda yayılmasına baxılıb. Ulduzyaranma sahəsinin (harda ki, demək olar ki, bütün ulduzlar  $M \geq 9M_0$  cəmləmişlər) yayılmasıyla, yuxarıda göstərilən obyektlərin yayılmasıyla müqayisədə, neytron ulduzlarının əcdadlarının kütləsinin aşağı səthi tapılıb. Neytron ulduzların əcdadlarının kütləsinin 7-8  $M_0$  bərabər, aşağı sərhədi tapılmışdır.

**A.O. Allahverdiyev, O.H. Guseinov, S.O. Tagieva**

## **THE LIMIT INFERIOR FOR MASS OF PROGENITORS OF NEUTRON STARS**

Critical analysis of the methods of estimation of lower mass boundary for the progenitors of neutron stars is given. Space distributions of Supernova star remnants, with ratio surface brightness  $\geq 10^{-21} \text{ W/m}^2 \text{ Hz sr}$  at the frequency 1 Ghz, ratio pulsars with characteristic times  $\leq 5 \cdot 10^5$  yrs, and high mass X-ray binaries which are located in solar neighborhood with distances up to 3 kpc are considered. From the comparison these distributions with the distributions of star formation regions, where probably all stars with  $M \geq 9 M_0$  are located, we obtained 7-8  $M_0$  for the lower boundary mass for progenitors of neutron stars.

*Дата поступления: 02.02.98*

*Редактор: Р.Э. Гусейнов*