

УДК: 524.354:524.523

НОВЫЙ ЭФФЕКТ СЕЛЕКЦИИ ПРИ СТАТИСТИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ ОСТАТКОВ СВЕРХНОВЫХ ЗВЕЗД

А. О. АЛЛАХВЕРДИЕВ, О. Х. ГУСЕЙНОВ, Ф. К. КАСУМОВ

Поступила 8 апреля 1985

Принята к печати 15 сентября 1985

Исследовано влияние H II-областей на параметры остатков сверхновых звезд (ОС). Показано, что проецирование таких областей на ОС вызывает: а) локальные изменения морфологической структуры молодых оболочечных ОС и б) более заметные искажения интегральных параметров развитых ОС оболочечного типа ( $cD > 10$  пк) и пларионов, вплоть до их полной неразличимости на фоне классических и гигантских H II-областей. Это обстоятельство, в связи с дополнительными ограничениями, накладываемыми реальной структурой межзвездной среды на статистические исследования ОС, практически приводит к появлению нового значительного эффекта селекции. Сделана оценка действия этого эффекта на статистическую полноту объектов.

1. *Введение.* Как известно, для получения правильных представлений о природе объектов и изучения их эволюции крайне важно выявление всевозможных эффектов селекции, оценка степени их влияния на среднестатистические параметры и на полноту статистического ансамбля в целом.

При исследовании остатков сверхновых звезд (ОС), представляющих собой расширяющиеся газовые туманности с синхротронным спектром радиоизлучения, их приходится выявлять среди других протяженных объектов. Таковыми, как известно, являются ионизованные области водорода, возбуждаемые горячими звездами, т. е. H II-области, а также кольцевые и планетарные туманности, возникающие в результате звездного ветра или иными обычно обсуждаемыми механизмами (см., например, [1]). Несмотря на то, что механизм излучения перечисленных объектов тепловой, при отсутствии надежных данных о спектре радиоизлучения выделение значительной части ОС среди таких объектов представляет сложную проблему. В некоторых случаях, когда подозревают наличие вклада синхротронного компонента излучения, прибегают к специальным методам исследований (например, определение отношения наблюдаемых интенсивностей линий  $[S II]/H_\alpha$ ,  $[O II]/H_\alpha$  и др. или оценки температуры ударного фронта по данным о рентгеновском спектре излучения). Но это возможно толь-

7—1385

ко для ограниченного числа относительно близких объектов, что до сих пор предпринималось различными исследователями [2—4].

Если же спектральные данные все же получены и достаточно надежны, то опять остается вероятность потери части ОС, проецируемых на такие объекты, имеющие при сравнительных размерах поверхностные яркости выше, чем поверхностные яркости остатков. В этом случае необходим специальный тонкоструктурный радиоанализ распределения спектрального индекса внутри подозрительных объектов с целью выявления в них синхротронного компонента и определения контуров области, ответственной за последнее. Здесь также могут быть использованы отмеченные выше оптические и рентгеновские наблюдения, выявляющие характерные признаки ОС. То есть опять необходим индивидуальный подход к заранее выявленным подозрительным объектам. Примеры подобных специальных наблюдений отдельных ОС также имеются в литературе [5, 6].

Однако такой подход оставляет открытым вопрос о величине указанного выше эффекта селекции, действующего как на отдельные классы ОС, так и на ОС различного возраста, развивающиеся в разных областях межзвездной среды (МЗС). Таким образом, остается открытым и более общий и важный вопрос о статистической полноте наблюдаемых объектов даже при учете всех других инструментальных или фоновых эффектов селекции.

Ниже будет исследована степень влияния Н II-областей на параметры остатков сверхновых различных типов, диаметров и оценена величина эффекта селекции, вызванного покрытием оболочечных ОС классическими и гигантскими Н II-областями.

2. *Влияние Н II-областей на ОС и селекция, вызванная действием этого эффекта.* Как известно, Н II-области имеют довольно широкий спектр параметров (размеры, меры эмиссии ME и пропорциональная ей поверхностная яркость). Это связано как с параметрами (температура, размеры) и количеством возбуждающих их горячих звезд, так и с плотностью излучающего газа. Планетарные туманности с аналогичной природой излучения, наиболее компактные из ионизованных туманностей (размеры  $\sim 0.1$  пк), обладают довольно большой поверхностной яркостью  $\sim 3 \cdot 10^{-19}$  вт/м<sup>2</sup> Гц ср. Поскольку их эволюция определяется динамикой расширяющегося с малыми скоростями газа, выброшенного из центральных звезд, имеющих довольно близкие параметры, то для них, так же, как и для ОС, существует зависимость поверхностной яркости от диаметра [7]. Очевидно, что для Н II-областей остальных типов в целом такой зависимости не должно быть. Это связано с тем, что размеры и излучательная способность Н II-областей сильно зависят от числа и величин

ны ультрафиолетового излучения возбуждающих звезд и плотности среды, которые изменяются в довольно широких пределах.

По классификации [8] H II-области, в зависимости от параметров, подразделяются на шесть классов. Классические (IV класс) и гигантские (V класс) из них, с мерой эмиссии  $ME > 10^4$  пк см<sup>-6</sup> и размерами от десятков до сотен парсек, могут содержать от одного до десяти возбуждающих их O-звезд. Области H II ниже IV класса, как правило, малых размеров ( $\leq 10$  пк) и с небольшой мерой эмиссии ( $ME \leq 10^3$  пк см<sup>-6</sup>).

Среди таких H II-областей выделение ОС с малыми спектральными индексами ( $\alpha \leq -0.3$ ), принадлежащих к известному типу плерионов, [9] представляет трудную задачу, на что ранее было указано в [10]. В то же время оболочечные ОС, составляющие подавляющее большинство наблюдаемых остатков, сравнительно просто выделить среди H II-областей, если имеются, пусть даже грубые, определения спектрального индекса. Дело в том, что спектральный индекс галактических ОС оболочечного типа в среднем  $\sim -0.5$  и только для 6 из 70 объектов этого типа  $\alpha = -0.3$ . Среди остатков Большого Магелланового Облака (БМО) наименьшее значение  $\alpha = -0.29$  имеет ОС 0543—689. Но, как отмечается в работе [11], надежность определения  $\alpha$  для этого источника в связи с его близостью со сверхгигантским H II-комплексом 30 Dor, весьма незначительна. С учетом этого обстоятельства наименьшее значение спектрального индекса ОС в БМО будет  $\alpha = -0.38$  (при среднем значении  $\bar{\alpha} = -0.5$ ). Отмеченные выше галактические остатки с малыми  $\alpha$  также могли быть подвержены действию этого эффекта. Поэтому понятно, что столь крутой синхротронный спектр ( $\alpha \geq -0.5$ ) довольно легко отличить от теплового-тормозного.

Основные сложности для ОС этого типа, даже при надежных определениях спектрального индекса, возникают при их проецировании на H II-области. В работе [12] в свете последних статистических исследований ОС [11—14] был проанализирован вопрос о существовании зависимости поверхностной яркости ОС от его диаметра ( $\Sigma(D)$ -зависимость). Было показано, что пессимистический взгляд на возможность использования этой зависимости при статистических исследованиях, выдвинутый в [14], был вызван некорректным использованием критериев выбора ОС-калибраторов. Как оказалось, кроме традиционно рассматриваемого критерия (точность определения расстояний) для получения правильных представлений об эволюции ОС в реальной межзвездной среде, необходимо учитывать еще один критерий, а именно, близость условий среды, в которой находятся ОС-калибраторы по расстоянию. С учетом этого фактора, а также того обстоятельства, что большинство ( $\sim 80\%$ ) известных ОС действительно

находятся в примерно одинаковых условиях среды с повышенной плотностью (в рукавных областях Галактики), была восстановлена пошатнувшаяся вера в существование  $\Sigma(D)$ -зависимости и в ее использование в статистических исследованиях. Однако, теперь уже в силу специфики восстановленной  $\Sigma(D)$ -зависимости в облачной МЗС, усилилась роль эффекта проецирования ОС на Н II-области, которые, как известно, также концентрируются в рукавных областях Галактики и связаны с ОВ ассоциациями. С другой стороны, наиболее яркими частями оболочечных остатков оказываются области взаимодействия ударного фронта с плотными образованиями окружающей среды [15, 13]. Поверхностная яркость Н II-областей, в свою очередь, также пропорциональна плотности среды. Поэтому в случае проецирования их друг на друга при сравнимых параметрах (яркость и размеры) это может заметно уменьшить спектральный индекс остатка или вовсе воспрепятствовать обнаружению последних.

Влияние таких Н II-областей в других галактиках, наблюдаемых плашмя, должно быть незначительным, поскольку излучение от ОС быстро покидает плотные области вещества. Действительно, из 24 остатков оболочечного типа в БМО только 3 перекрываются с Н II-областями, приведенными в списке [8]. И, видимо, поэтому спектральные индексы 21 остатка оказались близкими. Наиболее близко друг от друга расположены ОС N 206 А и ассоциация № 69. Вероятно, на этот остаток проецируется Н II-область № 17 по списку [8] и поэтому он имеет малое значение спектрального индекса ( $\alpha = -0.33$ ). Следующей такой парой являются ОС N 63 А и Н II № 21 по [8]. Спектральный индекс этого остатка после вычета излучения Н II-области равен  $\alpha = -0.56$  [11]. Наконец, третий остаток N 157 В находится в пределах комплекса 30 Dog и имеет плоский спектр.

О небольшой доле проекций остатков на Н II-области в этой галактике свидетельствуют также результаты исследований, проведенных в [1]. Здесь было обнаружено, что только 5 остатков БМО надежно совпадают с Н II-областями. Причем полное число ассоциаций по данным [16] равно 96 и 50 из них совпадают с Н II-областями из списка [17]. Много данных об областях звездообразования и их характеристиках можно найти в [18].

Однако для галактических остатков сверхновых, в силу специфики нашего местоположения (на периферии Галактики), влияние указанного эффекта на параметры остатков должно быть значительным. Сравнение спектральных индексов излучения оболочечных ОС, расположенных в направлениях, богатых Н II-областями, с остальными частично выявляет это. Так, по данным [19] 29 ОС с широтой  $|b| \geq 2^\circ$  имеют  $\bar{\alpha} = -0.56$ , в то время как 36 ОС с  $|b| \leq 0^\circ.2$  показывают  $\bar{\alpha} = -0.42$ . С другой сто-

роны, 24 остатка рассматриваемого типа, расположенные в направлении, близком к галактическому центру ( $320^\circ \leq l \leq 340^\circ$ ), имеют  $\bar{z} = -0.49$ , в то время как 22 ОС противоположного направления ( $90^\circ \leq l \leq 270^\circ$ ) в среднем имеют  $\bar{z} = -0.55$ . Конечно, здесь необходимо помнить, что средние значения  $z$  для каждого остатка в целом известны с большими ошибками, что в принципе может привести к замыванию этого эффекта. С другой стороны, ОС, максимально подверженные действию этого эффекта, в большинстве случаев остаются невыявленными.

Чтобы наглядно представить влияние зон ионизации Н II на обнаружимость ОС, мы построили диаграмму  $\Sigma-D$  для классических и гигантских Н II-областей в БМО на частоте, близкой к частоте, на которой исследуются остатки сверхновых в этой галактике ( $\nu = 1.4$  ГГц). Эта диаграмма приведена на рис. 1. Прямая с наклоном  $\beta = -3$  на этой диаграмме соответствует  $\Sigma(D)$  — зависимости для оболочечных ОС [12]. Как видно из рис. 1, классические и гигантские Н II-области обладают большими поверхностными яркостями и препятствуют обнаружению ОС с диаметрами более 10 пк, если они оказываются на одном луче зрения. Конечно, область левее приведенных точек на диаграмме также будет заполнена Н II-областями низкого класса (с малыми ME и размерами). Чтобы продемонстрировать это, на диаграмму нанесены также Н II-области нашей Галактики, радиоданные которых взяты из работы [20]. На эту же диаграмму нанесены некоторые из крупных галактических Н II-областей по данным 3С-каталога и работы [21].

Если диаметр ОС меньше 10 пк, то он, как правило, имеет поверхностную яркость выше всех Н II-областей малых размеров. Как уже отмечалось, только планетарные туманности могут конкурировать по величине поверхностной яркости с такими остатками, но они имеют очень малые размеры. Для обнаружения и исследования таких остатков помеху могут представлять Н II-области с размерами 10 пк и с близкими значениями  $\Sigma$ , только в том случае, если они находятся перед остатком. Но даже в этом случае это препятствие может быть устранено, если получить профиль радиояркости и исследовать область с наибольшей яркостью. Н II-области более крупных размеров для выявления и определения параметров указанных ОС, очевидно, представляют меньшее препятствие. Отметим также, что планетарная туманность, оказавшаяся на луче зрения перед ОС, может также значительно исказить реальную картину отдельных частей остатка.

Как видно из рис. 1, проецирование Н II-областей больших размеров на ОС не только затрудняет исследование, но и препятствует их обнаружению. В таких случаях наблюдения даже на самых малых частотах не могут облегчить ситуацию. Оставляя в стороне безусловный факт искаже-

ния радиопараметров ОС, как в целом, так и в особенности их отдельных структурных особенностей при проецировании на них Н II-областей с

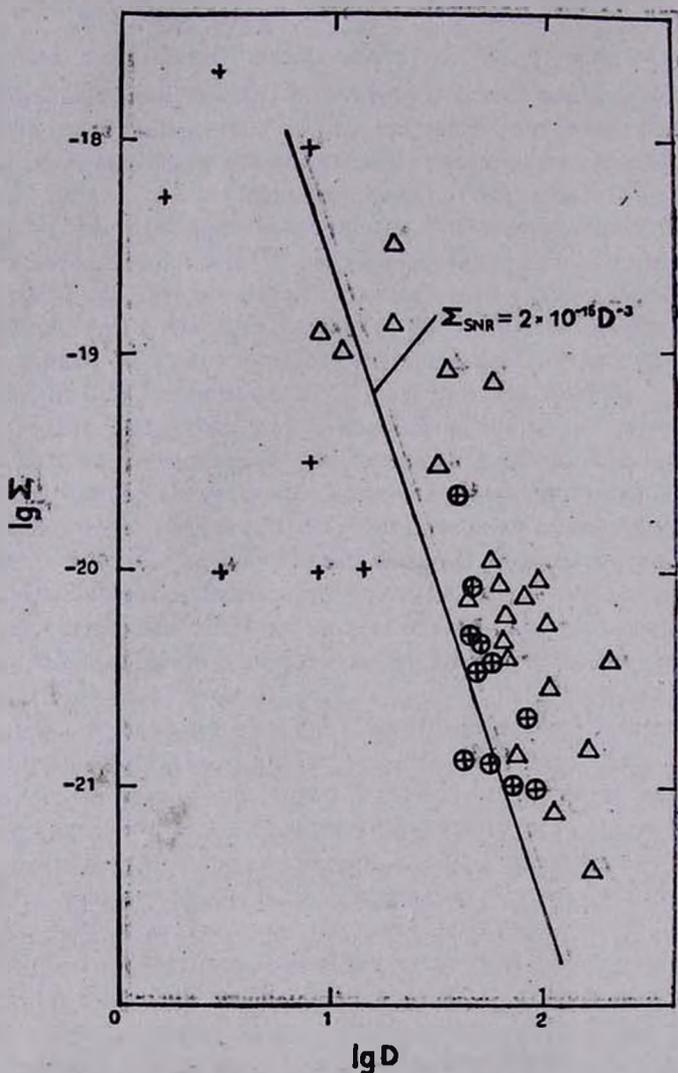


Рис. 1.  $\Sigma$ — $D$ -диаграмма для классических и гигантских областей Н II (по классификации [8]):  $\Delta$ —Н II-области в БМО,  $+$ —некоторые галактические Н II-области [20]. В кружки взяты объекты по данным 3С каталога и работы [21]. Прямая описывает усредненную  $\Sigma(D)$ —зависимость для ОС [12].

большими и сравнимыми радиояркостями, попытаемся ответить на вопрос о возможности установления в этом случае самого наличия ОС. Положительный ответ можно получить, если будем иметь рентгеновские данные о

протяженных галактических радиоисточниках. Наличие высокой температуры ( $\sim 10^6$  K), характерной для ударного фронта и, следовательно, самого ОС, может служить серьезным аргументом в пользу нетепловой природы источника. Этой цели могут служить и отмеченные во введении оптические методы наблюдений отдельных линий.

Однако все эти методы связаны с довольно трудоемкой работой по отбору и последующему исследованию значительного количества протяженных радиоисточников с отличными от нуля спектральными индексами. Наиболее эффективными при этом могут быть рентгеновские исследования с высокой чувствительностью, аналогично проведенным ранее на ИСЗ «Эйнштейн». Но, к сожалению, такой программы на этом спутнике не было. Среди галактических объектов на нем были исследованы, в частности,  $\sim 40$  известных остатков сверхновых [22].

Более эффективной в этом аспекте оказалась программа этого спутника по исследованию внегалактических остатков и, в частности, рентгеновских источников в БМО. С помощью рентгеновских детекторов (IPC и HRI), установленных на этом спутнике, были обнаружены 97 источников, 50 из которых находятся в ближайшей окрестности известного сверхгигантского H II-комплекса 30 Dor.

Сечение этой области составляет  $\sim 20\%$  сечения всей галактики. Из этих 97 источников, 25 не принадлежат БМО, а проецируются на него; 17 являются точечными объектами [4]. Ко времени этих наблюдений (1979—80 гг.) в этой галактике было известно 12 ОС, причем все они располагались вне указанной области. Еще два протяженных радиоисточника, находящихся в центральной части 30 Dor, ранее подозревались в принадлежности к остаткам и были причислены к ним после рентгеновских наблюдений [4]. К настоящему времени в БМО установлено наличие 24 оболочечных ОС и 3 плёрионов, причем 10 из них связаны с комплексом 30 Dor.

Таким образом, из 55 протяженных рентгеновских источников 27 уже причислены к ОС, а остальные 28 подозреваются в принадлежности к остаткам. Как видно, эффективность этого метода довольно велика, количество ОС в БМО, благодаря рентгеновским наблюдениям на ИСЗ «Эйнштейн», увеличилось в два раза (а возможно и в 5 раз, если будут подтверждены остальные подозрительные объекты). Тем не менее, даже при этих наблюдениях остается вероятность пропуска ряда ОС, поскольку рентгеновская светимость ОС изменяется в широком пределе ( $\sim 2-3^1$  порядка величины). С другой стороны, мягкое рентгеновское излучение остатков сильно поглощается средой, что особенно важно для галактических ОС, расположенных за центром Галактики. Так что, даже при наличии аналогичной программы поиска галактических ОС на ИСЗ «Эйнштейн», значительная их часть оставалась бы не выявленной.

В центральной части комплекса 30 Dof, средняя поверхностная радиояркость которой  $\sim 10^{-19}$  Вт/м<sup>2</sup> Гц ср, расположены 3 остатка [11] — это N 157 В, N 158 А и 0538—693, имеющие на частоте 1 ГГц поверхностные яркости соответственно  $4 \cdot 10^{-19}$ ,  $5 \cdot 10^{-19}$  и  $5 \cdot 10^{-21}$  Вт/м<sup>2</sup> Гц ср. Первые два объекта были заподозрены в принадлежности к ОС еще в 1973 г. [23] и подтверждены, как остатки, после рентгеновских наблюдений [4]. Что касается третьего источника, то он был зачислен в разряд ОС в работе [11]. Этот источник не обнаружен при рентгеновском обзоре БМО [4]. Вызывает удивление обнаружение такого слабого радиисточника на фоне яркой H II-области и отсутствие регистрируемого рентгеновского потока от него. Правда нельзя исключить ситуацию, при которой этот ОС заслоняется веществом, заметно поглощающим его рентгеновское излучение. Одновременно хотелось бы отметить недоразумение, вызываемое большой крутизной радиоспектров у ряда H II-областей из списка [8]. Так, например, от H II-областей в БМО за №№ 6, 23, 33 и 41 не наблюдается рентгеновское излучение, что является признаком отсутствия остатков в их направлении. В таком случае остается неясной причина столь высокой ( $z \gtrsim 0.5$ ) крутизны радиоспектров у этих H II-областей.

Итак, проведенное выше обсуждение заставляет нас акцентировать внимание исследователей на эффекте селекции, вызванном проецированием классических и гигантских H II-областей на развитые остатки оболочечного типа (с диаметрами  $> 10$  пк, см. рис. 1). Как уже отмечалось, при выявлении ОС из списка подозрительных радиисточников обычно делаются попытки отличить их от протяженных источников теплового излучения, т. е. H II-областей (например, путем тщательного изучения спектрального индекса или оптическими наблюдениями отношения интенсивностей линий [S II]/H $\alpha$ , [O II]/H $\alpha$  и т. д.). Имеющиеся на этом пути сложности обсуждаются во многих работах и в основном они носят частный характер. Однако, поскольку для статистических исследований мы теперь можем пользоваться только ОС, расположенными в рукавных областях, то указанный эффект становится довольно важным, если не решающим.

Очевидно, что для галактических ОС он будет велик в направлении спиральных рукавов. Поэтому, чтобы сделать предварительную оценку влияния этого эффекта на число ОС, используемых при статистических исследованиях, рассмотрим отдельные галактические ассоциации в этих направлениях. Ясно, что если доля сечения ассоциации, на которую проецируются яркие H II-области, окажется значительной, то вероятность наблюдения остатка внутри последней будет существенно занижена. Среди известных ассоциаций из каталога [24] мы отобрали наиболее крупные по размерам и расположенные в областях наибольшей концентрации ОС: Cas OB 6, Cam OB 1, Ara OB 1, R 103, Ser OB 1 и Cyg OB 8.

Пользуясь каталогом Н II-областей [21], мы оценили степень покрытия указанных ассоциаций областями Н II, лежащими на луче зрения к этим объектам. Оказалось, что доля покрытия изменяется в широком пределе от 10% (Seg OB 1) до  $\sim 70\%$  (Cas OB 6). В случае наибольшей степени покрытия (Cas OB 6) на ассоциацию проецируется 10 оптических Н II-областей, которые являются близкими объектами ( $< 2$  кпк). Из всех рассмотренных нами ассоциаций эта является единственной, для которой установлена принадлежность к самой ассоциации трех Н II-областей, наблюдаемых также на радиочастотах; это W 3, W 4 и W 5 [25]. Эти три области и дают основную долю покрытия  $\sim 70\%$ , приведенную выше. Во всех остальных случаях имеющиеся оценки расстояний до ассоциаций и Н II-области показывают, что определенная доля последних может оказаться как внутри, так и вне ассоциации (причем на луче зрения по обе стороны от нее). Предельное расстояние использованных нами объектов, в силу специфики оптических наблюдений вблизи плоскости Галактики,  $< 4$  кпк. Поэтому полученные оценки степени покрытий являются минимальными. Но даже в этом случае видно, что, как минимум,  $\sim 1/3$  ОС, попавших в ассоциации, могут быть неразличимы на фоне таких Н II-областей. Следовательно, имея в виду, что примерно 80% всех остатков эволюционирует в плотных областях МЗС [12], можно считать, что доля используемого ансамбля остатков в статистических исследованиях в самом благоприятном случае не более  $\sim 70\%$ .

Это обстоятельство, конечно, должно быть учтено в последующих статистических исследованиях ОС как дополнительный к ранее известным новый эффект селекции. Отметим также, что более точная оценка влияния этого эффекта селекции на статистику, с более полным привлечением радиоданных о галактических Н II-областях, нами будет сделана в отдельной статье. Основная же цель данного сообщения в привлечении внимания исследователей к факту наличия этого давно известного эффекта, который в свете последних исследований ОС в облачной МЗС приобретает совершенно новый и очень важный аспект для правильного понимания генезиса этих объектов.

3. *Выводы.* Исследована степень влияния Н II-областей, проецирующихся на остатки сверхновых различных типов, диаметров (или возраста). Показано, что наиболее заметные искажения параметров этот эффект вызывает у остатков оболочечного типа с диаметрами более 10 пк. В то время, как у молодых оболочечных остатков действие его вызывает локальные изменения морфологической структуры, у более развитых ОС оболочечного типа ( $cD > 10$  пк) и плерионов оно настолько значительно, что делает эти объекты неразличимыми на фоне классических и гигантских Н II-областей.

В свою очередь, ограничения, накладываемые реальной структурой межзвездной среды на статистические исследования ОС, усилили роль покрытия последних такими H II-областями. Показано, что это обстоятельство практически приводит к появлению нового эффекта селекции, действие которого вызывает дополнительную неполноту статистических ансамблей объектов на уровне не ниже  $\sim 30\%$ .

Институт физики  
АН Азерб.ССР

## NEW SELECTION EFFECT OF STATISTICAL INVESTIGATIONS OF SUPERNOVA REMNANTS

A. O. ALLAKHVERDIYEV, O. H. GUSEINOV, F. K. KASUMOV

The influence of HII regions on the parameters of Supernova remnants (SNR) is investigated. It has been shown that the projection of such regions on the SNRs leads to: a) local changes of morphological structure of young shell-type SNRs and b) considerable distortions of integral parameters of evolved shell-type SNRs (with  $D > 10$  pc) and plerions, up to their complete undetectability on the background of classical and gigantic HII regions. A new selection effect, in fact, arises from these factors connected with additional limitations made by the real structure of the interstellar medium on the statistical investigations of SNRs. The influence of this effect on the statistical completeness of objects has been estimated.

### ЛИТЕРАТУРА

1. E. Braunsfurth, J. V. Feltzinger, *Astron. and Astrophys.*, 127, 113, 1984.
2. S. D'Odorico, M. A. Dopita, P. Benvenuti, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 40, 67, 1980.
3. M. Dennefeld, D. Kunth, *Astrophys. J.*, 86, 989, 1981.
4. K. S. Long, D. J. Helfand, D. A. Grabelsky, *Astrophys. J.*, 248, 925, 1981.
5. R. Gilmozzi, P. Murdin, D. H. Clark, *Astron. and Astrophys.*, 140, 390, 1984.
6. P. Shall, Jr., *Astrophys. J.*, 275, 592, 1983.
7. P. R. Amnuel, O. H. Guseinov, H. I. Novruzova, Yu. S. Rustamov, *Astrophys. and Space Sci.*, 107, 19, 1984.
8. F. P. Israel, *Astron. and Astrophys.*, 90, 246, 1980.
9. K. W. Weiler, *Observatory*, 103, 85, 1983.
10. K. W. Weiler, N. Panagia, *Astron. and Astrophys.*, 70, 419, 1978.
11. B. Y. Mills, A. J. Turtle, A. G. Little, J. M. Durdin, *Austral. J. Phys.*, 37, 321, 1984.
12. А. О. Аллахвердиев, О. Х. Гусейнов, Ф. К. Касумов, *Астрофизика*, 1986 (в печати).

13. *A. O. Allakhverdtyev, O. H. Guselnov, F. K. Kasumov, I. M. Yusifov*, *Astrophys. and Space Sci.*, 97, 287, 1983.
14. *D. A. Green*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 209, 449, 1984.
15. *R. D. Blandford, L. L. Cowie*, *Astrophys. J.*, 260, 625, 1982.
16. *P. B. Lucke*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 28, 73, 1974.
17. *R. D. Davies, K. H. Elliott, J. Meaburn*, *Mem. Roy. Astron. Soc.*, 81, 89, 1976.
18. *А. В. Мирзоян*, в сб. «Проблемы современной космогонии», ред. В. А. Амбарцумян, 1972, стр. 19.
19. *D. K. Milne*, *Austral. J. Phys.*, 32, 83, 1979.
20. *J. E. Wink, T. L. Wilson, J. H. Bigging*, *Astron. and Astrophys.*, 127, 211, 1983.
21. *L. Blitz, M. Fich, A. Stark*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 49, 183, 1982.
22. *F. D. Seward*, in "Supernova Remnants and their X-Ray Emission", eds. J. Danziger, P. Gorenstein, Dordrecht, Reidel, 1982, p. 519.
23. *D. S. Mathewson, J. N. Clarke*, *Astrophys. J.*, 180, 725, 1973.
24. *R. Humphreys*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 38, 309, 1979.
25. *E. Braunsfurth*, *Astron. and Astrophys.*, 117, 197, 1983.