# АСТРОФИЗИКА

### **TOM 25**

ОКТЯБРЬ, 1986

ВЫПУСК 2

УДК: 524.354:524.864

## НЕЙТРАЛЬНЫЙ ВОДОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ОСТАТКА СВЕРХНОВОЙ W 50

#### И. В. ГОСАЧИНСКИЙ, В. К. ХЕРСОНСКИЙ

Поступила 24 февраля 1986 Принята к печати 25 мая 1986

Наблюдения нейтрального водорода на волне 21 см в окрестности остатка сверхновой W 50, содержащего уникальный объект SS 433, выполнены на раднотелескопе РАТАН-600 с разрешением  $2' \times 130' \times 6.3$  км/с. На лучевой скорости около 34 км/с (минематическое расстояние 3 кпк) обнаружена клочковатая оболочка HI с внешним диаметром 65 пк и массой ~  $3 \cdot 10^4 M_{\odot}$ . Кроме того, на лучевой скорости 69 км/с (кинематические расстояния 5.0 или 10.7 кпк) обнаружено облако HI без заметных крупномасштабных движений. Рассмотрены несколько моделей, которые могли бы объяснить взаимосвязь втих объектов с обнаруженными облаками HI.

1. Введение. Остаток сверхновой W 50 привлекает к себе особое внимание в связи с тем, что в центре его находится уникальный объект SS 433. В отличие от SS 433, характеристики W 50 в непрерывном радиосцектре исследовались лишь в небольшом количестве работ (см., например, [1]) и обобщены в нескольких моделях [2, 3], построенных в предположении физической связи W 50 и SS 433. Во всех этих работах расстояние до W 50 предполагалось равным 2.5—3.5 кпк. Сводка результатов измерений расстояния до W 50 различными методами приведена в работе [4]. Однако в работах [5, 6] приведено другое значение расстояния до SS 433—5 кпк. Эта величина получена в результате радиоинтерферометрических измерений собственных движений деталей в выбросах SS 433. При этом предполагалось, что, во-первых, наблюдаемые водородные линии, доплеровское смещение которых свидетельствует о больших скоростях движения вещества (≈ 0.26 с), формируются в области оптических выбросов, и, во-вторых, скорости движения оптических- и радиовыбросов совпадают.

С другой стороны, в работе [7] была заново пересмотрена кинематика газа в окрестности SS 433 на основании всей совокупности наблюдательных данных, с целью устранения ряда трудностей, возникающих при интерпретации наблюдений этого объекта. Не вдаваясь в подробности, заметим, что в этой работе приведены аргументы в пользу того, что расстояние до SS 433 составляет  $3 \pm 0.5$  кпк. Таким образом, проблема расстояний до W 50 и SS 433 представляется весьма неясной, и в дальнейшем мы будем рассматривать несколько вариантов.

Межэвездный газ в окрестности этих объектов исследовался только по излучению линии СО [8]. В диапазоне лучевых скоростей 27—36 км/с (кинсматическое расстояние около 3 кпк) обнаружено облако газа, на краюкоторого, как предполагали авторы, располагается остаток сверхновой W 50, а вместе с ним и SS 433. На волне 21 см исследовалась только линия поглощения HI от SS 433 с помощью системы апертурного синтеза [9].

В настоящей работе мы приведем результаты исследования распределения межзвездного нейтрального водорода в окрестности W 50, проведенного с помощью радиотелескопа РАТАН-600.

2. Аппаратура и методика наблюдений. Наблюдения проводились на северном секторе радиотелескопа РАТАН-600. Результаты исследования параметров антенны и аппаратуры на волне 21 см, методика наблюдений и обработки подробно описаны в работах [10, 11]. Ширина днаграммы направленности антенны составляет  $2' \times 130'$ , эффективная площадь — 850 м<sup>2</sup>, шумовая температура системы — 90 К. Использовался э9-канальный фильтровой спектроанализатор с шириной канала 30 кГц (6.3 км/с). На склонениях + 5 и + 7.°5 в области источника W 50 получены по две серии записей со сдвигом настройки спектрометра на 3.1 км/с. После осреднения трех записей средний квадрат флуктуаций в спектральных каналах составлял 0.25 К, в канале непрерывного спектра — 0.01 К. Для выделения деталей излучения НІ малого углового размера на кривых прохождения проводился фон излучения НІ в плоскости Галактики.

3. Результаты наблюдений. Кривые прохождения области W 50 через диаграмму направленности радиотелескопа приведены на рис. 1 для склонения + 5°. Верхняя кривая — в непрерывном спектре на волне 21 см, указаны различные объекты в этой области, ниже следуют кривые прохождения в спектральных каналах (справа приведены лучевые скорости относительно местного стандарта покоя), слева вверху указаны масштабы шкалы антенных температур. Штриховыми линиями показан фон излучения НІ на каждой лучевой скорости. Детали распределения НІ, расположенные в непосредственной близости от W 50, отмечены штриховкой. Остальные детали вероятнее всего являются частью структуры спиральных рукавов.

В диапазоне лучевых скоростей от +9.0 до +53.3 км/с изменение структуры деталей НІ в области W 50 с изменением лучевой скорости характерно для неоднородной оболочки газа с крупномасштабными раднальными движениями. Северная часть этой оболочки заметна по нашим данным и на склонскии +7.°5. Ввиду недостаточного углового разрешения

288



Рис. 1. Кривые прохождения области W 50 через диаграмму направленности (6 = + 5°). Верхияя кривая — непрерывный спектр, нижние — дамные в спектральных каналах. Штриховыми линиями похазан фон излучения HI на каждой лучевой скорости. Штриховкой отмечены выделенные детали в излучении. антенны по склонению характер деталей в втом направлении необходимопроверить по результатам других работ. На рис. 2 приведены сечения по галактической широте в рассматриваемом диапазоне долгот и лучевых скоростей из работы [12], полученные с угловым разрешением 30'. Штриховкой отмечены детали, которые можно сопоставить с теми, которые обнаружены в наших наблюдениях. Эти данные подтверждают реальность выделенной нами оболочки НІ и ее структуру по координатам и лучевым скоростям.



Рис. 2. Распределение эмпосии НІ в сечениях через область W 50 по галактической широте в интервале лучевых скоростей 30—45 км/с (по данным работы [12]).

Схематическая структура оболочки HI по нашим данным и результатам работы [12] изображена на рис. З. Прямоугольниками показано положение оболочки по результатам наших наблюдений, точками — положения максимумов деталей из работы [12] в диапазоне лучевых скоростей около + 35 км/с. Жирными штриховыми линиями показаны детали спиральных рукавов и выделенная нами оболочка, тонкие линии—изофоты W 50 в непрерывном спектре из работы [1]; точками отмечено облако CO из работы [8], крестик показывает положение объекта SS 433, тонкие штриховые линии — оптические волокна.

На рис. 3, видно, что в целом оболочка вытянута в сторону больших галактических долгот, а W 50 расположен не в центре оболочки, а ближе

к ее юго-западному краю. Это может быть связано с неоднородностью межзвездной среды в этом направлении. Расположение облаков СО к западу от W 50 качественно подтверждает такое предположение, поскольку их наличие свидетельствует о гораздо большей плотности межзвездного га-



Рис. 3. Структура выделенной оболочки НІ. Примоугольники — результаты данкой работы, точки — положения максимумов излучения по данным работы [12], жирные штриховые линии — детали спиральных рукавов НІ и выделенная оболочка, тонкие линии — наофоты W 50 в непрерывном раднослектре по данным [1], пунктиром. отмечено облако СО [8] тонкие штриховые линии — оптические волокна.

ва преимущественно в молекулярной форме. При оценке параметров оболочки в качестве ее размеров принимались средние по двум перпендикулярным направлениям. Наблюдаемые параметры оболочки приведены. ниже.

Координаты центра (1950.0)  $a = 19^{b}11^{m}00^{s}$ ,  $\delta = +6^{\circ}00'$ . Внешний угловой размер—1.°5×2.°3. Толщина оболочки—0.46 радиуса. Средняя лучевая скорость—34±3 км/с. Скорость раднального движения—16 км/с. Кинематическое расстояние—2.5 кпк. Масса НІ в оболочке—3.10<sup>4</sup>  $M_{\odot}$ . Концентрация НІ—1.5 см<sup>-3</sup>. Внешный радиус—65.4 пк.

Заметим, что если расстояние до SS 433 равно 5 кпк, а остаток сверхновой W 50 расположен там же, то согласно модели галактического врацения [13] втому расстоянию соответствует лучевая скорость около-70 км/с. В втом случае связь обнаруженной нами оболочки HI так же, как и облака СО из работы [8], с W 50 представляется сомнительной. В этом диапазоне лучевых скоростсй в направлении W 50 на наших кривых прохождения (см. рис. 1) заметно простое облако HI, без явно выраженных крупномасштабных движений. Наблюдаемые параметры этого облака следующие:

Координаты центра (1950.0)  $\alpha = 19^{h}10^{m}$ ,  $\delta = +5^{\circ}00'$ . Средняя лучевая скорость — +69.5 км/с. Полуширина профиля — 20 км/с. Антенная температура — 2.4 К. Яркостная температура — 6.0 К. Угловой размер по  $\sigma$  — 0.°27. Угловой размер по  $\delta$  согласно результатам работы [12] — <0.°5. Содержание НІ на луче эрения — 2.2 · 10<sup>20</sup> см<sup>-2</sup>. Кинематические расстояния — 5.0 и 10.7 кпк. Линейные размеры — 22 и 47 пк. Macca HI — 3.4 · 10<sup>8</sup> и 1.5 · 10<sup>4</sup>  $M_{\odot}$ .

4. Обсуждение ревультатов. Для интерпретации наблюдательных данных, полученных нами по распределению HI, необходимо энать расстояния до объектов W 50 и SS 433. Как было отмечено выше, ситуация здесь не совсем ясная. Повтому мы рассмотрим три разных варианта расположения втих объектов:

1. Оба объекта находятся на расстоянии 5 кпк, а результаты измерения расстояния до W 50 в работах [14, 15] ошибочны.

2. Расстояние до SS 433 равно 5 кпк согласно [5, 6], а до W 50—3 кпк по данным [14, 15], т. е. эти объекты физически не связаны, хотя это кажется маловероятным.

3. Оба объекта находятся на расстоянии около 3 кпк в согласни с пересмотренной моделью SS 433 [7].

В первом случае обнаруженная нами оболочка HI со средней лучевой скоростью 34 км/с явно не имеет отношения к W 50 и SS 433. Сказать что-либо определенное о физической связи облака HI на лучевой скорости 69.5 км/с с этими объектами не представляется возможным. Можно лишь заметить, что пространственное совпадение обычного сравнительно холодного облака HI без существенных крупномасштабных движений с такими активными объектами, как W 50 и SS 433, выглядит довольно странным. Следовательно, для этого облака более вероятно большее значение расстояния.

Во втором варианте можно предположить связь обнаруженной оболочки HI с остатком сверхноеой W 50. В этом случае радиальным движением газа в оболочке вероятнее всего является расширение. В предположении, что сболочка HI обязана своим происхождением ударной волне от расширяющегося остатка сверхновой, можно согласно [16] по измеренным парамстрам оболочки оценить некоторые важные характеристики остатка сверхновой. В частности, в данном случае возраст остатка получается порядка 8.105 лет. Однако, поскольку возраст туманности W 50 по оценкам различных авторов [2, 17, 18] составляет порядка 104 лет, такое предположение о происхождении оболочки не является правильным. Скорее всего наблюдаемая оболочка HI могла бы образоваться в результате действия звездного ветра от звезды, последующий взрыв которой привел к образованию остатка сверхновой W 50. В рамках стандартной модели взаимодействия звездного ветра от звезд главной последовательности с межзвездной средой [19] легко оценить возраст оболочки ~ 1.6.10<sup>5</sup> лет и требуемую для ее образования мощность звездного ветра  $(\dot{M}_{s}V_{3}^{2})/2 \sim 3.5$ . Такую мощность истечения звездного ветра на стадии главной последовательности имеют звезды спектрального класса Об [20] с массой  $\approx$  29  $M_{\odot}$ . Интересно отметить, что последняя величина совпадает с оценкой массы предсверхновой, основанной на измерениях содержания азота в волокнах W 50 [18].

В третьем варианте оболочка НІ может быть обязана своим происхождением активности обоих объектов W 50 и SS 433 на различных стадиях их эволюции. В этом случае на основе измеренных параметров оболочки НІ можно оценить некоторые характеристики компонентов двойной системы в SS 433 до взрыва сверхновой. В работе [18] обсуждаются две схемы эволюции этой системы. В первой из них предполагается, что взрыв одной из звезд в двойной системе произошел ~ 10<sup>6</sup> лет назад. Наблюдаемая оболочка НІ могла бы образоваться в результате расширения остатка от этого взрыва. Однако, помимо несоответствия возраста W 50, о котором говорилось выше, такая схема приводит сще к одному противоречию. Согласно [16] можно по измеренным параметрам оболочки HI оценить также и начальную энергию взрыва сверхновой, Е. Такая оценка показывает, что E. ~ 1.3.10<sup>51</sup> эрг. Поскольку масса звезды, оцененная на основе наблюдаемого содержания азота в W 50, не менее 30 M<sub>O</sub>, скорость разлета выброшенного при взрыве вещества оказывается не более 1500-2000 км/с. Такая скорость разлета характерна для маломассивных сверхновых I типа, а не для взрывов звезд с массой ~ 30 Мо.

В работе [18] рассмотрена другая схема образования объекта SS 433, которая представляется более приемлемой. В двойной системе эволюционируют два сверхгиганта типа Вольфа—Райе, имеющие приблизительно 5—793 равные массы, причем один из них (более массивный) представляет собой звезду типа WN. Взоыв этого компонента произошел ~ 104 лет назад. Массивный остаток аккоецирует на себя газ из полости Роша, поставляемый вторым компонентом, который также успел подойти к заллючительной фазе эволюции. В этой схеме наблюдаемая оболочка НІ могла образоваться лишь в результате взаимодействия звездного ветра обеих звезд с межэвездной средой. Полученные выше оценки для времени расширения. оболочки (~  $1.6 \cdot 10^6$  лет) и мощности звездного ветра (~  $3.5 \cdot 10^{-6} M_{\odot} \times$ Х(год) остаются справедливыми и в втом случае за исключением того, что рассматриваемая мощность является суммарной мощностью звездного ветра двух сверхгигантов примерно равной массы. Используя снова результаты работы [20], получаем, что для этого требуются два сверхгиганта спектоального класса О9.5 с массами порядка 50 Мо. Взоыв одной из. таких эвезд (если она типа WN) вполне может обеспечить наблюдаемое содержание азота в волокнах W 50. Интересно отметить, что в настоящее время известны уже несколько двойных систем такого типа [21, 22].

Таким образом, параметры обнаруженной нами в окрестности остатка сверхновой W 50 оболочки HI свидетельствуют в пользу второй из рассматриваемых в работе [18] схем эволюции звезд в двойной системе, приводящей к появлению объекта SS 433, если конечно, уточнение расстояний до SS 433 и W 50 покажет, что эти объекты физически связаны и находятся на расстоянии 3 кпк от Солнца.

В заключение авторы считают приятным долгом поблагодарить С. А. Трушкина за полезное обсуждение рассматриваемых в этой статье: вспросов.

Ленинградский филиал САО АН СССР

## NEUTRAL HYDROGEN IN THE VICINITY OF THE SUPERNOVA REMNANT W50

#### I. V. GOSACHINSKIJ, V. K. KHERSONSKIJ

The observations of neutral hydrogen in the vicinity of supernovaremnant W 50 containing the unique object SS 433 were performed on RATAN-600 radio telescope with resolution  $2' \times 130' \times 6.3$  km/s. It is shown that Hl distribution in this region is similar to the envelope with outer diameter about 65 pc, mass of HI 3.10<sup>4</sup>  $M_{\odot}$  and radial velocity about 34 km/s (kinematic distance 3 kpc). Apart from this envelopewe can separate HI clcud with radial velocity 69 km/s (kinematic distances 5.0 or 10.7 kpc) without any traces of radial motions. Some models is discussed that could explain the connection of these objects with separated HI clouds.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. J. B. Down-s. T. Pauls, C. J. Salter, Astron. and Astrophys., 97, 296, 1981.

2. N. Panagia, K. W. Weller, Vistas Astron., 25, 87, 1981.

3. A. Königl, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 205, 471, 1983.

4. P. Crympton, J. B. Hutchings, Vistas Astron., 25, 13, 1981.

5. A. E. Niell, T. G. Lockhard, R. A. Preston, Astrophys. J., 250, 248, 1981.

6. R. M. Hjellming, K. J. Johnston, Nature, 290, 100, 1981.

7. W. Kundt, Astron. and Astropys., 150, 276, 1985.

8. Y. L. Huang, T. M. Dame, P. Thaddeas, Astrophys. J., 272, 609, 1983.

9. J. H. van Gorkom, W. H. Goss, P. A. Shaver, Astron. and Astrophys., 82, L1, 1980.

10. А. П. Венгер, И. В. Госачинский, В. Г. Грачев, Н. Ф. Рыжков, Изв. САО АН СССР, 14, 118, 1981.

 А. П. Венгер, Л. Г. Гасанов, Ю. Д. Гудзь, Г. Н. Ильин, Н. Ф. Рыжков, А. А. Туз, Препринт Л. Ф. САО, № 8Л, 1, 1984.

12. A. S. Shane, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 4, 1, 1971.

13. W. S. Burton, M. A. Gordon, Astron. and Astrophys., 63. 7, 1978.

14. D. Crampton, Bull. Amer. Astron. Soc., 11, 671, 1980.

15. D. Crampton, A. P. Cowley, J. B. Hutchings, Astrophys. J., 235, L131, 1980.

16. J. C. Wheeler, T. J. Mazarek, A. Sivaramakrishnan, Astrophys. J., 237, 781, 1980.

17. W. Kundt, Vistas Astron., 25, 153, 1981.

18. E. P. J. van den Heuvel, Vistas Astron., 25, 95, 1981.

19. R. Weaver, R. McCray, J. Castor, P. Shapiro, Astrophys. J., 218, 377, 1977.

20. M. Felli, N. Panagia, Astron. and Astrophys., 101, 424, 1981.

21. C. De Loore, Space Sci. Rev., 26, 113, 1980.

22i K. A. van der Hucht, P. S. Contt, I. Lanstrom, B. Stenhölm, "Sixth Catalogue of Wolf-Rayet Stars", 1980.