

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
АСТРОФИЗИКА

ТОМ 8

НОЯБРЬ, 1972

ВЫПУСК 4

ПУЛЬСАРЫ В ОСТАТКАХ СВЕРХНОВЫХ ЗВЕЗД

П. Р. АМНУЭЛЬ, О. Х. ГУСЕЙНОВ, Ф. К. КАСУМОВ

Поступила 9 июня 1972

Исследованы радио и рентгеновские спектры шести остатков сверхновых. Данные о характерном изломе в спектрах указывают на возможное наличие пульсара (нейтронной звезды) в остатке SN Tycho (кроме известных остатков, содержащих пульсары: Crab и Vela X). В остатках Cas A, Pup A и Cyg Loop, по-видимому, нет активного источника.

Успехи рентгеновской астрономии за последние годы привели к локализации около пяти десятков галактических рентгеновских источников [1, 2]. Сейчас ясно, что существует по крайней мере несколько классов рентгеновских источников [3, 4], в том числе — рентгеновское излучение от остатков сверхновых (далее SNR). Уверенное отождествление проведено пока для шести SNR [5]: Crab, Cas A, Tycho, Vela X, Pup A и Cyg Loop. Не обнаружено рентгеновское излучение от других остатков с известными возрастaми: Kepler, PKS 1459, 3C 58, а также Lup Loop. Данные об основных наблюдательных параметрах перечисленных SNR даны в табл. 1.

В настоящее время общепринятым является мнение, что нейтронные звезды (пульсары) образуются в результате катастрофических процессов. Тогда можно ожидать наличие пульсаров в молодых и наиболее близких SNR, перечисленных выше. Однако пульсары найдены пока лишь в SNR 1054 (Crab) и Vela X [6]. Так как диаграмма направленности излучения пульсара может быть узкой, то ненаблюдаемость пульсирующего радиоизлучения от SNR еще не означает его реального отсутствия. Если это так, то наблюдаемое рентгеновское излучение от SNR может быть связано с наличием в них пульсаров.

| SNR | Тип | Год вспышки или возраст (лет) | R кпс | D пс |
|----------|--------|-------------------------------------|----------|---------|
| Cas A | II | 1667 | 2.8 | 3. |
| Kepler | I | 1604 | 15.0 | 9. |
| Tycho | I | 1572 | 5.0 | 9. |
| 3C 56 | — | 1181 | 6.9 | 14. |
| Crab | I | 1054 | 2.0 | 2. |
| PKS 1459 | I | 1006 | 3.9 | 29. |
| Vela X | II | $6.6 \cdot 10^3$ | 0.5 | 28. |
| Cyg Loop | II (?) | $1.7 \cdot 10^4$ | 0.8 | 41. |
| Pup A | — | $2 \cdot 10^4$ | 1.8 | 28. |
| Lup Loop | — | $8.15 \cdot 10^4$ | 0.6 | 49. |

Таблица 1

| | а | а | а | а |
|---|---------------------------------|--------------|-----------------------------|---------|
| | Р а д и о | | Р е н т г е н | |
| 2 | 2.118±1.738 | 0.787±0.006 | 3.7 ^{±4.6} -2.0 | 2.3±0.6 |
| 5 | 1.202±1.152 | 0.59±0.10 | — | — |
| 4 | 0.436±0.381 | 0.67±0.07 | 0.44±0.11 | 1.3±0.3 |
| 0 | — | — | — | — |
| 1 | (9.465±1.809) · 10 ³ | 0.263±0.010 | 9.0±1.0 | 1.0±0.1 |
| 6 | 0.359±0.101 | 0.601±0.0015 | — | — |
| 4 | 8.23 · 10 ³ | 0.3 | 1.08 | 2.0±1.2 |
| 5 | 31.69±14.21 | 0.475±0.025 | 1.0 | 2.2±0.3 |
| 0 | 55.45±41.39 | 0.45±0.05 | 6.7 | 6.2±4.6 |
| 0 | 1.57 · 10 ³ | 0.3 | — | — |

Существует косвенный способ проверки, есть ли в остатке пульсар: по характеру наблюдаемых радио и рентгеновских спектров. Если в SNR находится пульсар, то накачка энергичных частиц в туманность должна продолжаться и в настоящее время. Согласно [7], время, в течение которого продолжается накачка, можно оценить, если известно магнитное поле туманности и частота $\nu_{\text{нвл.}}$, на которой спектр синхротронного излучения SNR претерпевает излом. Для определения характерной частоты излома $\nu_{\text{нвл.}}$ восстановим радио и рентгеновские спектры шести SNR, согласно [4, 8—10]. Предполагается спектр вида $a\nu^{-2}$ кэв/см²сек; значения a и α приведены в табл. 1. В предположении, что напряженность магнитного поля и распределение релятивистских электронов по энергиям одинаковы по всем объемам туманности, время накачки есть [11]

$$T_{\text{нак.}} = \frac{1.92 \cdot 10^4}{H_1^{3/2} \nu_{\text{нвл.}}^{1/2}} \text{ лет.} \quad (1)$$

Полученные из спектров $\nu_{\text{нвл.}}$ приведены в табл. 2. Может ли $\nu_{\text{нвл.}}$ быть меньше приведенных в таблице значений? В точке излома спектральный индекс α меняется не меньше, чем на 0.5 [7, 11]. Тогда, при $\nu_{\text{нвл.}}$ меньших, чем в табл. 2, получим в рентгеновской области аномально малые потоки излучения (для Vela X величина $\nu_{\text{нвл.}}$ ограничена снизу тем, что известна оптическая светимость объекта). Для остатков Cas A, Tycho и Pup A в качестве верхнего предела взяты, соответственно, 1 и 0.2 кэв, ввиду того, что известны границы наблюдаемых рентгеновских спектров.

Таблица 2

| SNR | $\nu_{\text{нвл.}}$ гц | $10^5 H_{\text{нвл.}}$ гаусс | $10^5 H_1$ гаусс | $10^3 T_{\text{нак.}}$ лет |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Cas A | $(0.9 \div 5.3) \cdot 10^{17}$ | $4.6 \div 33.0$ | $2.0 \div 3.6$ | $0.004 \div 0.2$ |
| Tycho | $(0.07 \div 2.4) \cdot 10^{17}$ | $1.8 \div 4.3$ | $2.1 \div 6.8$ | $0.02 \div 2.3$ |
| Crab | $(0.2 \div 9.4) \cdot 10^{13}$ | $25 \div 37$ | $16 \div 57$ | $0.3 \div 3.2$ |
| Vela X | $(0.03 \div 1.1) \cdot 10^{16}$ | $2.0 \div 2.3$ | $0.9 \div 3.0$ | $1.6 \div 12.1$ |
| Cyg Loop | $(1.6 \div 6.0) \cdot 10^{16}$ | $1.2 \div 1.3$ | $0.3 \div 0.4$ | $1.6 \div 3.7$ |
| Pup A | $(0.2 \div 2.3) \cdot 10^{17}$ | $1.9 \div 2.4$ | $0.2 \div 0.4$ | $0.3 \div 1.6$ |

Положим теперь, что в каждом остатке находится пульсар, осуществляющий непрерывную накачку. Тогда время накачки равно возрасту $T_{\text{нак.}} = T$, и по (1) можно оценить магнитное поле в туманности H_1 . Соответствующие величины приведены в табл. 2. Незави-

симые оценки магнитного поля $H_{\text{набл.}}$ можно получить из данных о потоке излучения от объектов. Интенсивность синхротронного излучения есть [7]:

$$I_s = 1.35 \cdot 10^{-22} (6.26 \cdot 10^{18})^{\frac{\gamma-1}{2}} u(\gamma) K H^{\frac{\gamma+1}{2}} D v^{\frac{1-\gamma}{2}}, \quad (2)$$

где D — диаметр SNR, $\gamma = 2a + 1$; $u(\gamma)$ — функция от γ , ее значения можно найти в [7], k — коэффициент в энергетическом спектре электронов $N(E) = KE^{-\gamma}$. Полагая [7], что плотность энергии релятивистских частиц в туманности w_p равна плотности магнитной энергии, получим для $H_{\text{набл.}}$:

$$H_{\text{набл.}}^{3.5} = \frac{4.25 \cdot 10^{17} F_\nu R^{2\nu} \left(\nu_2^{1-\frac{\gamma}{2}} - \nu_1^{1-\frac{\gamma}{2}} \right)}{|2-\gamma| u(\gamma) D^3 (1.73)^\gamma}, \quad (3)$$

где $\gamma \neq 2$, F_ν — наблюдаемый поток на частоте ν в $\text{вт}/\text{м}^2 \text{цз}$, R — расстояние до SNR в см, ν_2 и ν_1 — верхняя и нижняя границы частот наблюдаемого потока. Отметим, что при $w_p < H^2/8\pi$, значение $H_{\text{набл.}}$ увеличивается незначительно. Так, при $w_p = n (H^2/8\pi)$ величина $H_{\text{набл.}}$ изменяется в n^{2n} раз.

Величина $H_{\text{набл.}}$, полученная из (3), малочувствительна также к изменению R (неопределенность в R в n раз приводит к неопределенности в $H_{\text{набл.}}$ в n^{-2n} раз), поэтому неопределенность данных о расстоянии до SNR [8—10] не вносит большой ошибки в расчеты.

Сравнение $H_{\text{набл.}}$ с H_1 показывает, что в остатках Crab, Vela X и Tycho величины $H_{\text{набл.}}$ таковы, что можно предположить наличие характерного излома в спектре за счет непрерывной накачки релятивистских частиц в течение всей жизни SNR. В то же время в трех других остатках с известными рентгеновскими спектрами Cas A, Pup A и Cyg Loop магнитные поля $H_{\text{набл.}}$ больше тех, которые необходимы для объяснения характерного излома в спектрах. Как известно [6], в остатках Crab и Vela X пульсары обнаружены. Что касается Tycho, то ненаблюдаемость пульсирующего излучения здесь может быть связана с узостью диаграммы направленности пульсара.

Особо следует отметить радиоизлучение остатков Lup Loop, PKS 1459, 3C 58 и Kepler. В первых двух случаях было сообщено об открытии рентгеновского излучения, однако область локализации рентгеновских источников отстоит от SNR на 5—7°, что делает отождествление очень ненадежным. Для Kepler и PKS 1459 отсут-

ствии рентгена можно объяснить большой крутизной спектра (см. табл. 1). Что касается остатка ЗС 58, то в [5, 9] выражаются сомнения, что это действительно SNR.

Таким образом, хотя в современных данных о SNR имеются значительные неопределенности (особенно в данных о рентгеновских спектрах), предложенная схема позволяет выделить из 10 молодых и близких остатков дополнительно к Crab и Vela X еще один Tycho. Наличие характерного излома в синхротронном спектре этого SNR допускает возможность существования в нем пульсара как источника релятивистских электронов в этом SNR.

Остальные остатки (Cas A, Pup A и Cyg Loop), по-видимому, содержат либо черные дыры, либо нейтронные звезды, не проявляющие себя как пульсары в силу каких-либо причин. Однако решение вопроса будет возможно окончательно только после существенного уточнения спектров SNR.

Отметим также, что генетическая связь пульсара P 0833 с SNR Vela X еще окончательно не доказана, и наш вывод является дополнительным аргументом в пользу такой связи.

Шемахинская астрофизическая
обсерватория

PULSARS IN SUPERNOVA REMNANTS

P. R. AMNUEL, O. H. GUSEINOV, F. K. KASUMOV

The radio and X-ray spectra of the six supernova Remnants have been studied. The data about the characteristic break in spectra indicate the possible presence of a pulsar (neutron star) in SNR Tycho (except the known Remnants with pulsars: Crab and Vela X). Apparently, there are no active sources in the Supernova Remnants Cas A, Pup A and Cyg Loop.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. R. Giacconi, H. Gursky, E. Kellogg, C. Leong, S. Murray, E. Schreier, H. Tananbaum, Preprint, 1971.
2. R. Hill, G. Burgington, R. Grader, T. Palmieri, F. Seward, I. Stoering, Ap. J., 171, 519, 1972.
3. E. Kellogg, Preprint, ASE-2833, 1971.
4. П. Р. Амнуэль, О. Х. Гусейнов, Астроф. ж., 48, 280, 1971.
5. S. Illovatsky, Ch. Ryter, Astron. Astrophys., 15, 224, 1971.

6. *О. Х. Гусейнов, Ф. К. Касумов, В. И. Лазарев, А. В. Осипчук*, Астрон. ж., 50, 4, 1973.
7. *И. С. Шкловский*, Сверхновые звезды, Наука, М., 1966.
8. *D. Milne*, Austr. J. Phys., 23, 425, 1970.
9. *D. Dawns*, A. J., 76, 305, 1971.
10. *I. Vaars, A. Hartsuiker*, Astron. Astrophys., 17, 172, 1972.
11. *С. Б. Пикельнер*, Астрон. ж., 33, 785, 1956.