

Переменность радиоизлучения остатков сверхновых и возможные механизмы явления.

В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева
Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия



Введение

Исследовались спектры плерионов и комбинированных остатков сверхновых (ОСН): 3С58 [1], 3С144 [2], G11.2-0.3 [3], G21.5-0.9 [4], 3С396 [5] и их переменность на различных шкалах времени. Текущие спектры определены в шкале потоков "искусственная луна" для разных эпох.

Результаты

Плотности потоков Крабовидной туманности (3С144) уменьшались со скоростью $(1/S) \cdot (dS/dt) = (-0.159 \pm 0.024) \%$ / год, не зависящей от частоты [2].

Средняя скорость изменения потока ОСН G11.2-0.3 на временном интервале 1967 – 2000г. зависела от частоты: рост потока наблюдался на частотах ниже 10 ГГц, на более высоких частотах поток падал [3]. (рис.1).

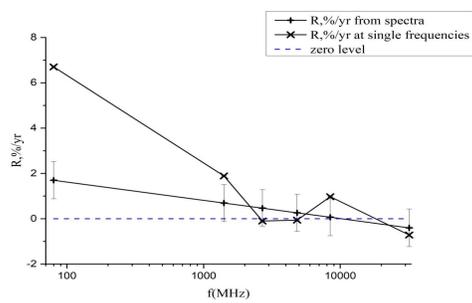


Рис. 1. Скорости изменения потоков ОСН G11.2-0.3, определенные по текущим спектрам и по измерениям на одной частоте [3].

В текущих спектрах всех перечисленных ОСН обнаружены нестационарные "избытки" и "провалы" плотностей потоков, ограниченные по времени (от долей года до нескольких лет) и полосе частот с последующим их восстановлением до исходного уровня. В эпоху 2013.2 аномалия в виде "избытка" в спектре 3С58 была обнаружена при измерениях на радиотелескопе РТ – 32 на частотах $f = (1550 \div 8450) \text{ МГц}$ [1].

Текущие спектры ОСН 3С58 S1, S2 и S3 измерены на волнах $\lambda = (18 \text{ см}, 13 \text{ см}, 6.2 \text{ см}$ и $3.5 \text{ см})$ [1] (рис.2)..

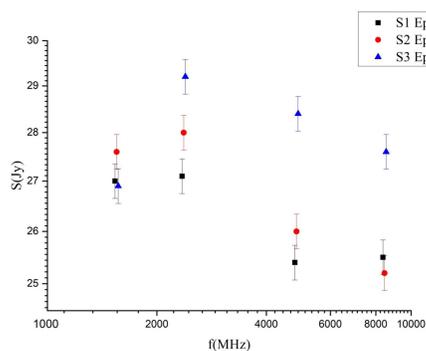


Рис. 2. Спектры 3С58: S1 - спектр 2003.4; S2 - спектр 2004.4; S3 - спектр 2013.2; [1]

Развитие аномалии в спектре ОСН 3С58 после эпохи 2013.2 определено из дальнейших наблюдений на РТ-32 на волнах $\lambda = 13 \text{ см}$; 6.2 см ; и 3.5 см . На рис. 3 приведены распределения во времени отношений S/S_b , а также аппроксимация этих распределений квадратичными полиномами на частотах измерений. Обозначено: S – измеренные плотности потоков, S_b – плотности потоков базового (невозмущенного) спектра 3С58 по данным за 1981 – 2003 г. на частотах наблюдений [1].

Текущие спектры 3С58 в широком диапазоне частот определены по опубликованным данным, приведенным к шкале потоков ИЛ. [1] Текущий спектр, включающий данные измерений в интервале времени между эпохами 1963.4 – 1970.9 (рис.4), содержит три точки со значимыми отклонениями ΔS от среднего спектра. Это плотности потоков на частотах: 178 MHz ($\Delta S = -4.5\sigma$), эпоха 1964.9, 408 MHz ($\Delta S = -3.1\sigma$), эпоха 1967.9 и 5000 MHz ($\Delta S = -2.7\sigma$), эпоха 1967.1. Отклонения не объясняются случайными ошибками измерений, они ограничены по времени и частотным интервалам.

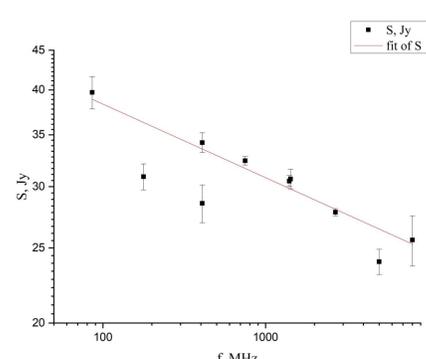


Рис. 4. Текущий спектр ОСН 3С58 по данным измерений между эпохами 1963.4 – 1970.9

Эволюционные изменения происходили на фоне более быстрых вариаций потоков в ограниченных частотных интервалах. Быстрые нестационарные изменения плотностей потоков 3С58, G11.2-0.3, G21.5-0.9, 3С396 обнаружены по данным наблюдений ОСН на радиотелескопе РТ-32 обсерватории «Светлое» ИПА РАН, а также по опубликованным данным, приведенным к шкале потоков ИЛ.

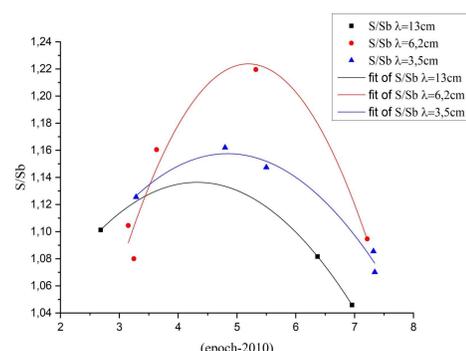


Рис. 3. Распределения во времени отношений S/S_b ОСН 3С58, а также аппроксимация этих распределений квадратичными полиномами на частотах измерений.

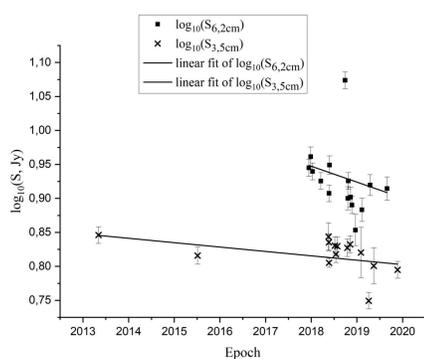


Рис. 5. Плотности потоков ОСН G11.2-0.3 по данным измерений РТ-32 на волнах $\lambda = (6.2$ и $3.5) \text{ см}$ [3]

На рис.5 представлены данные измерений плотностей потоков ОСН G11.2-0.3 на радиотелескопе РТ-32 на волнах $\lambda = (6.2$ и $3.5) \text{ см}$ в 2013 – 2019г. [3]. В указанном временном интервале плотности потоков на обеих частотах уменьшались, при наличии значимых быстрых отклонений текущих значений $\log S$ от средних зависимостей. Наибольшие отклонения $\log S$ от средних значений наблюдались на волне $\lambda = 6.2 \text{ см}$ в эпохи 2018.74 ($+11.7\sigma$) и 2018.97 (-3.1σ) и на волне $\lambda = 3.5 \text{ см}$ в эпоху 2019.26 (-5.2σ)

Измерения плотностей потоков ОСН 3С396 на радиотелескопе РТ-32 выполнены на частотах (4840 и 8450) МГц между декабрем 2017 г. и июнем 2018 г. [5] На обеих частотах измерения повторялись с целью выявления изменений в излучении источника. Плотности потоков 3С396, определённые на частотах 4840 МГц и 8450 МГц между эпохами 2017.95 - 2018.52 в шкале потоков ИЛ, приведены на рис. 6.

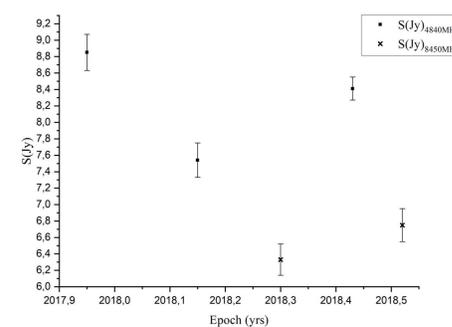


Рис. 6. Распределение во времени плотностей потоков ОСН 3С396, измеренных на радиотелескопе РТ-32 на частотах $f = 4840 \text{ МГц}$ и $f = 8450 \text{ МГц}$

Спектр 3С396 в широком диапазоне частот определен по опубликованным данным, приведенным к шкале потоков ИЛ и по измерениям РТ-32. Спектр, включающий данные измерений в интервале времени между эпохами 1962 – 2018.5 (Рис.6), содержит точки со значимыми отклонениями ΔS от среднего спектра. [5] Велики отклонения плотностей потоков на частотах: 5000 MHz ($\Delta S = -4\sigma$), эпоха 1971.1, 10630 MHz ($\Delta S = -3.1\sigma$), эпоха 1974.3, 8350 MHz ($\Delta S = 10.5\sigma$), эпоха 1998.7, и 14350 MHz ($\Delta S = 11.6\sigma$), эпоха 1998.7.

В течение 0.2 года между эпохами 2017.95 - 2018.15, плотность потока на частоте 4840 МГц упала на 17% (5σ), а к эпохе 2018.43 вновь возросла на 12% от минимального уровня. На частоте 8450 МГц между эпохами 2018.3 и 2018.5 плотность потока возросла на 6.5%. На временном интервале 2018.1 - 2018.5 плотности потоков росли как на частоте 4840 МГц, так и на 8450 МГц, но разными темпами: в последнем случае относительное приращение вдвое меньше. Таким образом, в радиоизлучении 3С396 присутствует переменная составляющая, зависящая от частоты.

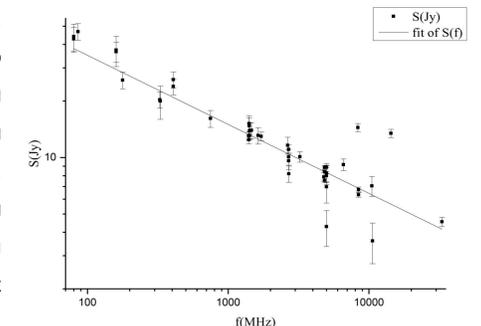


Рис. 7. Спектр ОСН 3С396 по данным измерений между эпохами 1962 – 2018.5 Отклонения $>3\sigma$ не объясняются случайными ошибками измерений, они ограничены по времени и частотным интервалам.

Выводы

Из обзора наблюдений пяти остатков сверхновых, плерионов и содержащих плерионы (классы F и C), следует, что характерной чертой их радиоизлучения являются нестационарные изменения интенсивности в ограниченных частотных и временных интервалах.

Сценарий явления состоит в быстром нарастании интенсивности в ограниченной полосе частот с последующим спадом до уровня ниже исходного и далее возвратом на исходный невозмущенный уровень. Процесс во многом напоминает солнечные вспышки, многократно усиленные по мощности и продолжительности. В качестве возможного механизма нестационарной переменности ОСН мы рассматриваем пересоединение магнитных силовых линий в магнитосферах пульсаров. Этот механизм может объяснить накопление энергии и ее быстрое выделение в результате неустойчивости. В процессе вспышки происходит нагрев плазмы, ускорение заряженных частиц и выделение энергии в виде электромагнитного излучения в широком спектре, от радио до жесткого рентгена. В этих условиях может наблюдаться не только усиление радиоизлучения из области вспышки, но и образование объема ионизированного водорода, т. е. области HII с тепловым спектром радиоизлучения. При этом может наблюдаться появление рекомбинационных линий, а также вспышка в оптике и в рентгене. Информация о наблюдениях в ОСН перечисленных эффектов отсутствует..

Литература

1. В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева, Astrophysical Bulletin, 74, 128 (2019)
2. В. П. Иванов, К. С. Станкевич, С. П. Столяров, Астрон. журн. 71, 737 (1994).
3. V. P. Ivanov, A. V. Ipatov, I. A. Rahimov, T. S. Andreeva, Astronomy Reports, 65, 645 (2021).
4. В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, С. А. Гренков, Т. С. Андреева, Астрон ж, 96, 628 (2019) G21.5-0.9
5. В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева, Астрон. ж., 97, 619 (2020)