

1) И.И. Хабибуллин

2) "Многоволновое исследование остатка вспышки сверхновой Симеиз 147: модель взрыва в полости, сформированной звездным ветром, и открытие филамента радиоизлучения, присоединенного к центральному пульсару"

3) Публикации:

Khabibullin I. I., Churazov E. M., Bykov A. M., Chugai N. N., Zinchenko I. I., "Discovery of a one-sided radio filament of PSR J0538+2817 in S147: escape of relativistic PWN leptons into surrounding supernova remnant?" MNRAS, 527, 5683 (2024), (<https://dx.doi.org/10.1093/mnras/stad3452>)

Khabibullin I. I., Churazov E. M., Chugai N. N., Bykov A. M., Sunyaev R. A., Utrobin V. P., Zinchenko I. I., Michailidis M., Pühlhofer G., Becker W., Freyberg M., Merloni A., Santangelo A., Sasaki M., "Study of X-ray emission from the S147 nebula by SRG/eROSITA: Supernova-in-the-cavity scenario" A&A, 689, A278 (2024), (<https://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/202449419>)

Michailidis M., Pühlhofer G., Becker W., Freyberg M., Merloni A., Santangelo A., Sasaki M., Bykov A., Chugai N., Churazov E., Khabibullin I., Sunyaev R., Utrobin V., Zinchenko I., "Study of X-ray emission from the S147 nebula with SRG/eROSITA: X-ray imaging, spectral characterization, and a multiwavelength picture" A&A, 689, A277 (2024), (<https://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/202449424>)

4) Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Поздние стадии эволюции остатков взрывов сверхновых характеризуются низкой скоростью ударной волны и нарастающей ролью потерь энергии за счет рекомбинационного излучения сжатой и нагретой межзвездной среды. При этом большую роль начинает играть перемешивание обогащенных продуктами нуклеосинтеза остатков взорвавшейся звезды, а также микрофизика и неустойчивости тонкой оболочки замагниченной бесстолкновительной ударной волны. Многоволновые исследования наиболее "старых" остатков сверхновых в нашей Галактике позволяют исследовать данные процессы с наибольшей детализацией. Однако, большие размеры таких объектов на небе и их низкая поверхностная яркость делает затруднительным их исследование обычными методами глубоких точечных наведений. Появление чувствительных обзоров больших небесных площадок в оптическом, рентгеновском, радио и гамма диапазонах открывает новые возможности в данном направлении.

5) Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

Остаток вспышки сверхновой Симеиз 147 имеет размер более 40 парсек (несколько градусов на небе) и является кандидатом в один из наиболее старых (150 000 лет) остатков взрыва сверхновой в нашей Галактике. Также внутри остатка обнаружен радиопульсар PSR J0538+2817 с измеренным движением на небе, которое позволяет оценить возраст взрыва в 35 тысяч лет, предполагая, что пульсар начал движение от центра туманности в момент взрыва и продолжает его на текущий момент. Вопрос о возрасте остатка таким образом остается открытым.

6) Используемый подход, его новизна и оригинальность

Нами были использованы данные наблюдения в рентгеновском, оптическом, гамма и радиодиапазонах для определения физических характеристик излучающего газа, а также для выявления признаков взаимодействия ударной волны с плотными структурами межзвездной среды и пульсара с внутренней областью остатка сверхновой. Нами проведены численные расчеты характеристик рентгеновского излучения в модели большого возраста остатка сверхновой, а также модели с выходом ударной волны на поверхность полости межзвездной среды, сформированной звездным ветром на этапе главной последовательности. В последнем случае возраст остатка оказывается совместима с кинематическим возрастом пульсара.

7) Полученные результаты и их значимость

Показано, что свойства рентгеновского излучения газа, полученные на основе данных обзора всего неба телескопом eROSITA обсерватории SRG, совместимы со сценарием взрыва сверхновой в полости с низкой плотностью, такой как пузырь, надуваемый ветром. Этот сценарий предполагает, что звезда-прародитель массой $\sim 20 M_{\odot}$ имела низкую скорость по отношению к окружающей межзвездной среде и поэтому оставалась близко к центру плотной оболочки, созданной в ходе ее эволюции на главной последовательности, до момента коллапса ядра. Обогащенные продуктами нуклеосинтеза остатки взорвавшейся звезды (т.н. эжекты) сначала распространяются через полость низкой плотности, пока не сталкиваются с плотной оболочкой, и только тогда обратная ударная волна проникает глубже в вещество эжекты, что приводит к нагреву и излучению наблюдаемого рентгеновского сигнала от туманности. Часть остатка внутри плотной оболочки до этого момента остается безызлучательной, вероятно, в состоянии с отсутствием равновесия температур электронов и ионов, а также неравновесной ионизацией атом основных химических элементов. Напротив, внешняя ударная волна становится излучательной сразу после входа в плотную оболочку и, будучи подвержена неустойчивостям, придает туманности характерный «пенистый» вид в оптическом и радиоизлучении.

Нами было обнаружено тусклое радиоволокно вблизи пульсара PSR J0538+2817 по данным обзоров NVSS, CGPS и Rapid ASKAP Continuum Survey. Структура односторонняя и кажется почти совпадающей (в пределах 17 градусов) с направлением собственного движения пульсара, но, в отличие от известных случаев радиохвостов пульсаров, расположена впереди него. В то же время, это направление примерно (в пределах 5 градусов) перпендикулярно оси протяженного нетеплового рентгеновского излучения вокруг пульсара. Никакого рентгеновского или оптического излучения в области нити не обнаружено, хотя конечная точка радионити кажется прилегающей к нити H_{α} эмиссии. Мы предполагаем, что эта структура может представлять собой нить, соединяющую пульсарную туманность с окружающей межзвездной средой, заполненную релятивистскими электронами, вылетающими из пульсарной туманности. Т.о., данный объект может быть радиоаналогом рентгеновских нитей пульсарных туманностей Гитары и Маяка, а также нетепловых нитей радиоизлучение в центре Галактики.