

Цикл работ “Рентгеновское и радио излучение астрофизических источников с релятивистскими электронами”, ИКИ РАН, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, ИНАСАН, ИПФ РАН, НИЦ “Курчатовский институт”

Совместные измерения обсерваторий IXPE и *Chandra* показали, что диффузное рентгеновское излучение вокруг пульсарной туманности G0.13-0.11 вблизи Центра Галактики поляризовано. Степень поляризации оказалась очень высокой, а плоскость поляризации — ориентированной вдоль диска Галактики. Эти измерения служат прямым доказательством того, что наблюдаемое рентгеновское излучение имеет синхротронную природу. При этом магнитное поле не может быть слишком хаотичным, иначе степень поляризации будет низкой. Получены ограничения на плотность энергии магнитного поля в этой области.

На основе наблюдений обсерватории SRG предложена новая модель Северного Полярного Шпура - гигантской арки, видимой в радио и рентгеновском диапазонах, открытой более шестидесяти лет назад. До сих пор нет однозначного объяснения происхождения Шпура. В одних моделях Шпур находится на расстоянии ~ 100 пк (остаток вспышки сверхновой или нескольких сверхновых), в других - на расстоянии ~ 10000 пк (ударная волна, связанная с энерговыделением в центре Галактики). Новая модель ассоциирует Шпур с горячим газом, поднимающимся от области активного звездообразования в диске Галактики. В этой модели граница Шпура - это контактный разрыв, отделяющий горячий газ, обогащенный тяжелыми элементами, от более холодного газа высоко над плоскостью диска Галактики.

Предложена модель формирования туманности W50 вокруг микроквазара SS433 анизотропным ветром от компактного источника. Такой ветер ожидается при сверхкритической аккреции на черную дыру, когда большая часть вещества отбрасывается давлением излучения. При определенных параметрах анизотропного ветра в оттекающем веществе возникают сходящиеся ударные волны, обеспечивающие ускорение электронов до высоких энергий и синхротронное излучение структур в туманности W50.

Показано, что свойства рентгеновского излучения газа от остатка вспышки сверхновой “Симеиз 147”, полученные на основе данных обзора всего неба телескопом eROSITA обсерватории SRG, совместимы со сценарием взрыва сверхновой в “полости” с низкой плотностью. 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 сначала распространяются через полость низкой плотности, пока не сталкиваются с плотной оболочкой, и только тогда обратная ударная волна проникает глубже в разлетающееся вещество звезды, что приводит к нагреву и излучению наблюдаемого рентгеновского сигнала от туманности.

По данным обзоров NVSS, CGPS и RACS было обнаружено тусклое радиоволокно вблизи пульсара центрального пульсара PSR J0538+2817. 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 оптического излучения в линии Ha. Эта структура может представлять собой нить, соединяющую

пульсарную туманность с окружающей межзвездной средой, заполненную релятивистскими электронами, вылетающими из пульсарной туманности. Открытый объект может быть радио аналогом рентгеновских нитей пульсарных туманностей Гитары и Маяка, а также нетепловых нитей радиоизлучения в центре нашей Галактики.

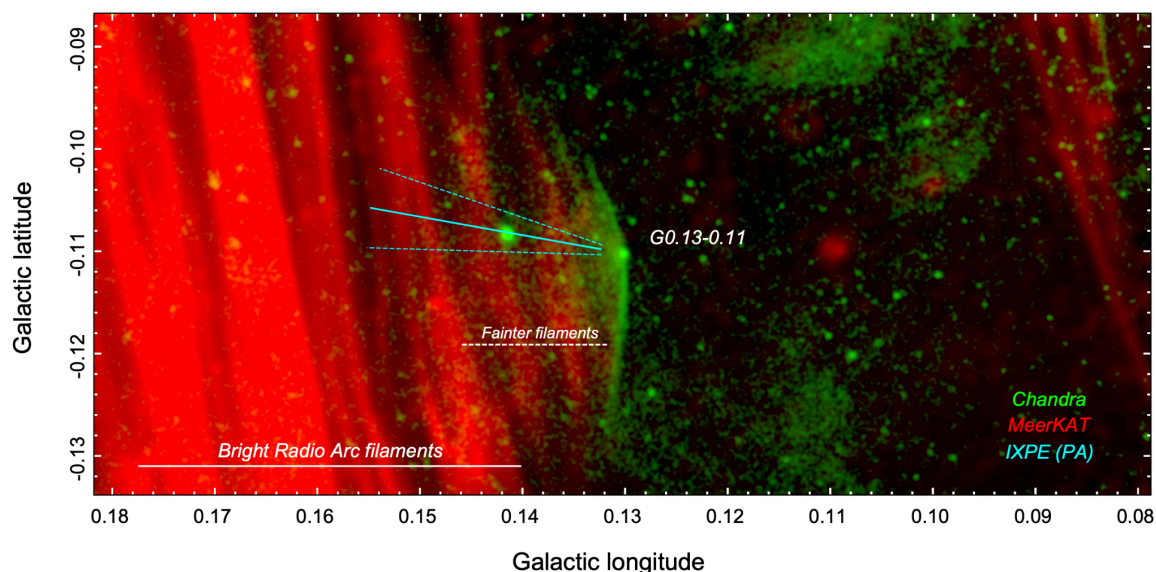


Рисунок 1. Изображения участка центральной зоны Галактики в радио- (красный цвет) и рентгеновском (зеленый цвет) диапазонах длин волн. Радио филаменты — это часть “Радио Арки” - крупномасштабной структуры, открытой в 80-х годах. Группы радио- и рентгеновских филаментов перекрываются вблизи пульсарной туманности, указывая на общее происхождение этих структур. Голубым цветом показано направление поляризации рентгеновского излучения. Оно почти перпендикулярно филаментам, как и должно быть в случае, когда силовые линии магнитного поля направлены преимущественно вдоль филаментов.

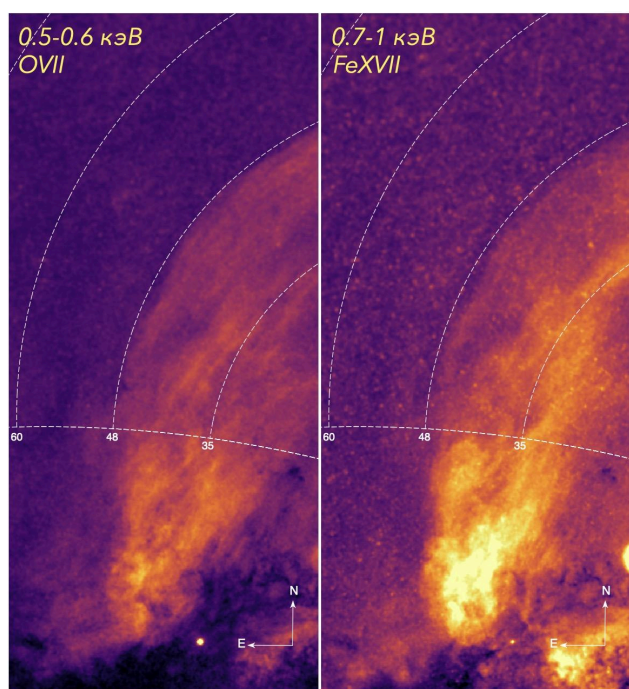


Рисунок 2. Изображения участка Северного Полярного Шпура в излучении линии гелиеподобного иона кислорода и неонородного железа, полученные телескопом *СРГ/еРОЗИТА*.

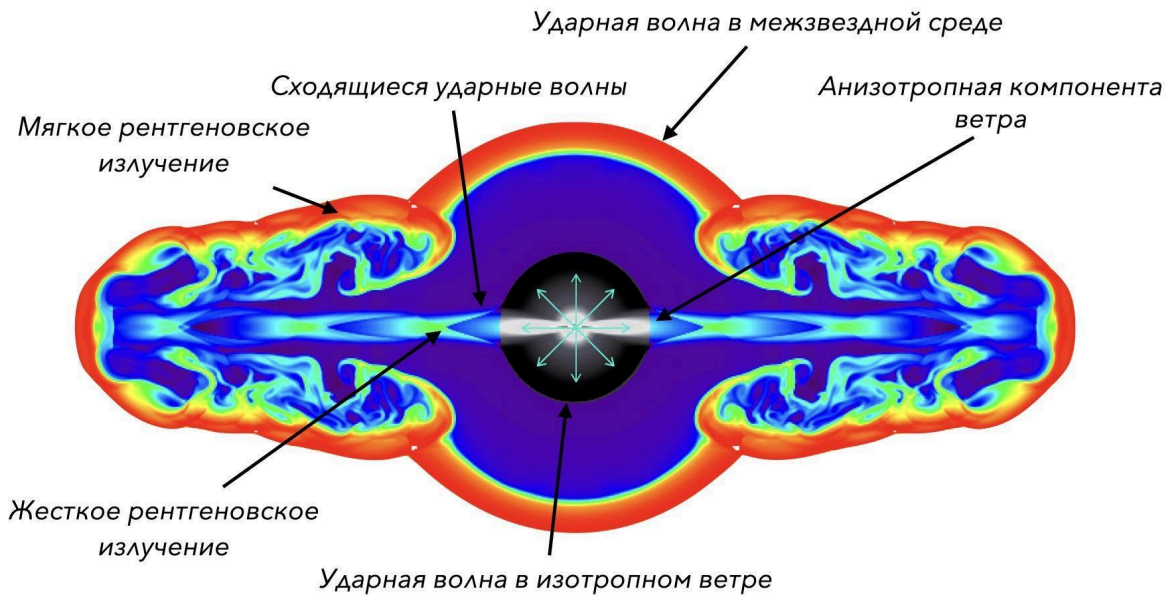


Рисунок 3. Модель формирования туманности W50 под действием анизотропного ветра сверхкритического аккретора SS433. Фокусировка осевого потока происходит за счет давления квазиизотропной компоненты ветра, обладающей очень малой плотностью, но высокой температурой после прохождения ударной волны остановки.

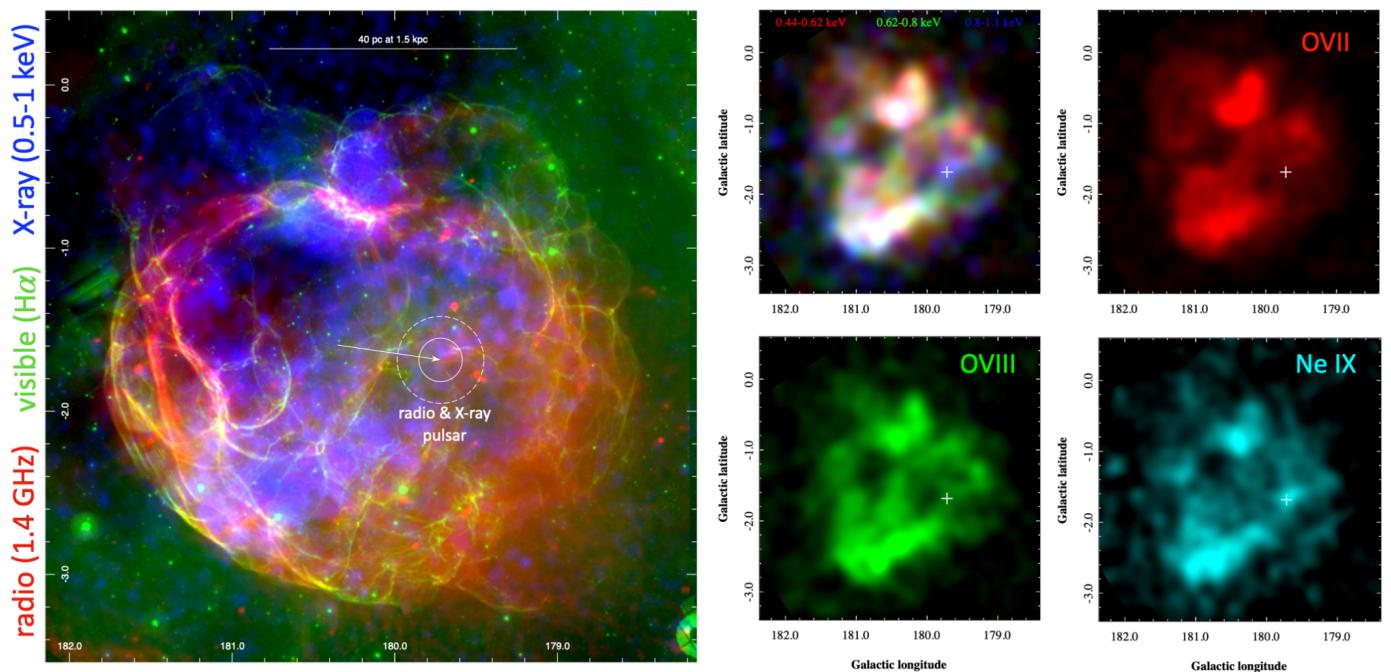


Рисунок 4. Композитные изображения остатка вспышки сверхновой Симеиз 147. Слева показана трехцветная комбинация радио (Канадский обзор Галактической плоскости на 1.4 ГГц), оптического (Обзор Галактической плоскости телескопом им. Исаака Ньютона в фильтре H Alpha) и рентгеновского (обзор всего неба телескопом eROSITA обсерватории СРГ в диапазоне 0.5-1 кэВ) изображений, показывающих распределение релятивистских электронов, холодного (10^4K) ионизованного газа и горячего (10^7K) газа, соответственно. Справа показано разложение

рентгеновского излучения по поддиапазнам, соответствующим наиболее ярким спектральным линиям - водородо- и гелиеподобного кислорода (OVIII и OVII), и гелиеподобного неона (Ne IX).

Churazov E., Khabibullin I., .. Sunyaev, R., Vikhlinin, A., .. Poutanen, J., .. Tsygankov, S., et al., "Pulsar-wind-nebula-powered Galactic center X-ray filament G0.13-0.11. Proof of the synchrotron nature by IXPE" A&A, 686, A14 (2024), (<https://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/202349080>)

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>)

Churazov E. M., Khabibullin I. I., Bykov A. M., "Minimalist model of the W50/SS433 extended X-ray jet: Anisotropic wind with recollimation shocks" A&A, 688, A4 (2024), (<https://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/202449343>)

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>)

Churazov, E., Khabibullin, I. I., Bykov, A. M., Chugai, N. N., Sunyaev, R. A., Utrobin, V. P., & Zinchenko, I. I., "North Polar Spur: Gaseous plume(s) from star-forming regions ~3–5 kpc from the Galactic Center?", Astronomy and Astrophysics, 691, L22., (2024), DOI:10.1051/0004-6361/202451762