

1) **Коллектив авторов: Н.С.Лыскова, Р.А.Сюняев, И.И. Хабибуллин, Е.М.Чуразов**

2) "Рентгеновское и радио излучение астрофизических источников с релятивистскими электронами"

3) Публикации

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>)

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>)

Koribalski B. S., Khabibullin I., Dolag K., Churazov E., Norris R. P., Carretti E., Hopkins A. M., Vernstrom T., Shabala S. S., Gupta N., "The Physalis system: discovery of ORC-like radio shells around a massive pair of interacting early-type galaxies with offset X-ray emission" *MNRAS*, 532, 3682 (2024), (<https://dx.doi.org/10.1093/mnras/stae1669>)

Roberts I. D., van Weeren R. J., Lal D. V., Sun M., Chen H., Ignesti A., Brüggem M., Lyскова N., Venturi T., Yagi M., "Radio-continuum spectra of ram-pressure-stripped galaxies in the Coma Cluster" *A&A*, 683, A11 (2024), (<https://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/202347977>)

4) Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Источники рентгеновского излучения тесно связаны с ударными волнами, способными ускорять протоны и электроны/позитроны до релятивистских энергий. Информация о синхротронном излучении ускоренных лептонов позволяет кардинально улучшить наше понимание физических процессов в таких объектах, как скопления галактик, остатки вспышек сверхновых и одиночных пульсаров. Быстрый прогресс в возможностях радио и рентгеновских телескопах в последние годы сделал возможным осуществление целого ряда таких исследований.

5) Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

Развитие моделей возникновения сильных ударных волн в источниках рентгеновского излучения (пульсарные туманности, микрокварзы, скопления галактик), порождающих синхротронное излучение.

6) Используемый подход, его новизна и оригинальность

Прогресс в возможностях рентгеновских орбитальных обсерваторий и наземных радиотелескопов (LOFAR, MeerKAT и др.) позволил проводить совместный анализ данных для широкого класса объектов, включая пульсарные туманности, микрокварзы, скопления галактик, и значительно теоретические модели.

7) Полученные результаты и их значимость

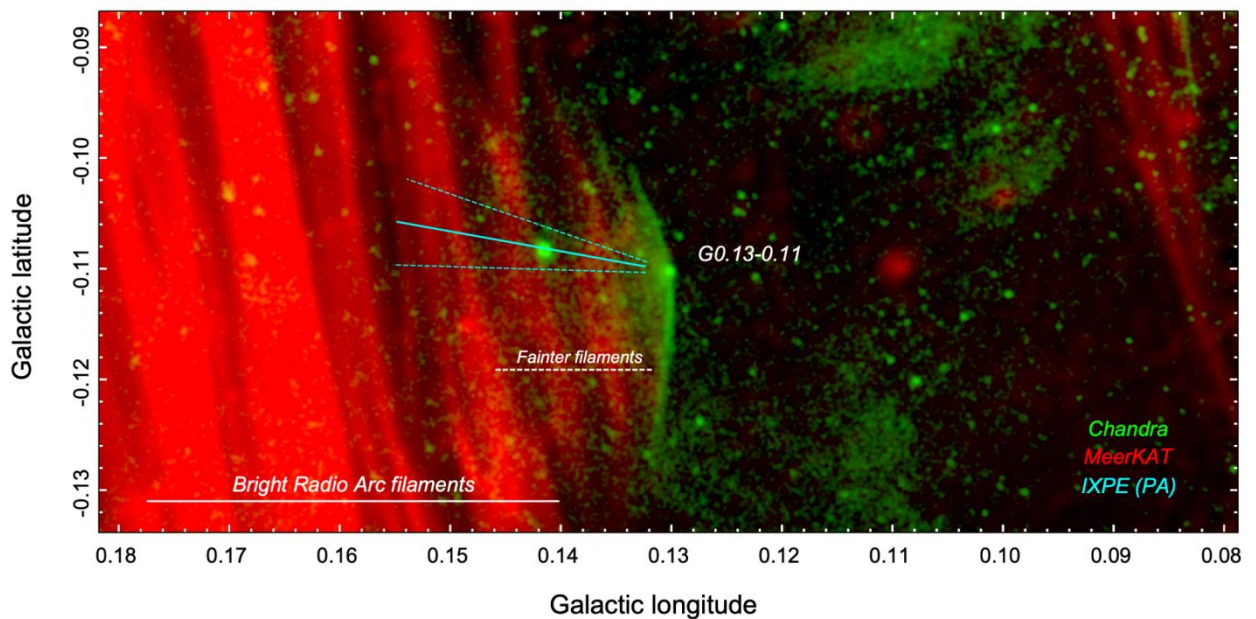
Совместные измерения обсерваторий IXPE и *Chandra* показали, что диффузное рентгеновское излучение вокруг пульсарной туманности G0.13-0.11 вблизи Центра Галактики поляризовано. Степень поляризации оказалась очень высокой, а плоскость поляризации — ориентированной вдоль диска Галактики. Эти измерения 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.

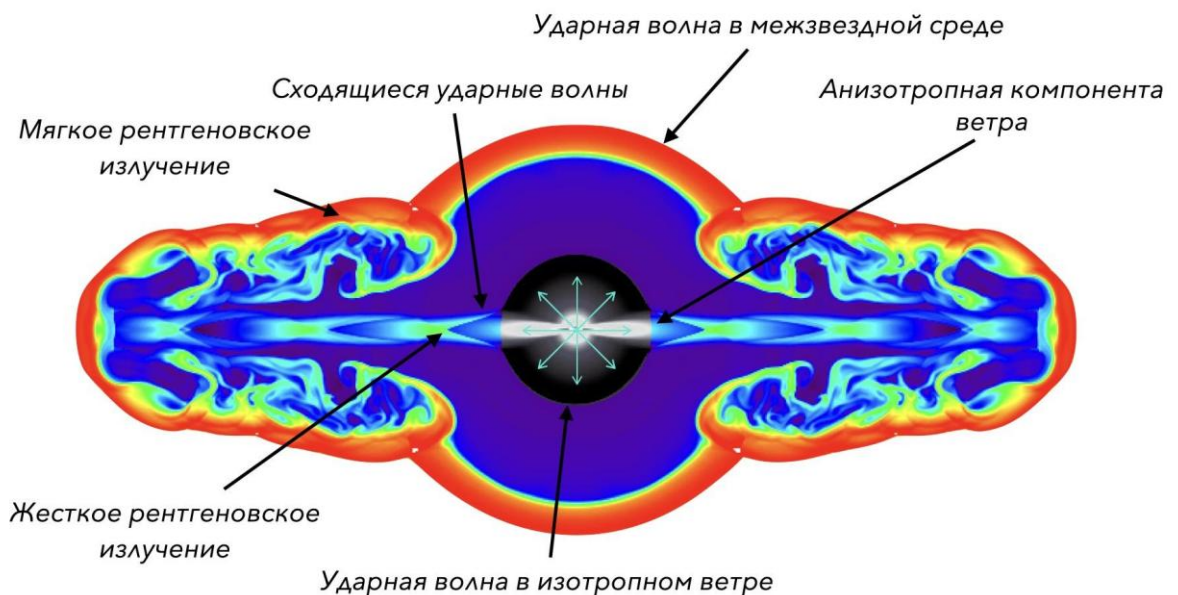
Предложена модель формирования туманности W50 вокруг микроквазара SS433 анизотропным ветром от компактного источника. Такой ветер ожидается при сверхкритической аккреции на черную дыру, когда большая часть вещества отбрасывается давлением излучения. При определенных параметрах анизотропного ветра в оттекающем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

С помощью телескопа Australian Square Kilometre Array Pathfinder (ASKAP) в двух частотных диапазонах с центрами на 944 МГц и 1,4 ГГц открыты гигантские (диаметр ~ 145 кпк) радиооблачки вокруг пары массивных взаимодействующих галактик. Предложено, что наблюдаемые структуры связаны с ударными волнами слияния во время формирования центральной галактики и напоминают новый класс "Odd Radio Circles" (ORC). Используя сравнительно короткое наблюдение этого объекта в рентгеновском диапазоне и данные численного моделирования, сделан вывод, что такие структуры могли быть образованы в результате высвобождения энергии из активного ядра центральной галактики и последующего усиления радиоизлучения ударными волнами, проходящими через газ при слиянии отдельных частей группы.

Показано, что радиоизлучение "хвостов" галактик, возникающих за счет динамического давления горячего газа, имеют крутые спектральные индексы ($-2 \lesssim \alpha \lesssim -1$). При этом в диски галактик имеют интегральные спектральные индексы в ожидаемом диапазоне для ударного ускорения от сверхновых ($-0,8 \lesssim \alpha \lesssim -0,5$). Измерены градиенты спектрального индекса поперек дисков галактик. Эти градиенты совпадают с направлением наблюдаемых радиохвостов, причем самые плоские спектральные индексы находятся на "переднем крае". По измерениям частоты завала в спектре получены оценки скорости плазмы вдоль хвоста – порядка сотен километров в секунду.



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 перпендикулярна филаментам, как и должно быть в случае, когда силовые линии магнитного поля направлены преимущественно вдоль филаментов.



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

