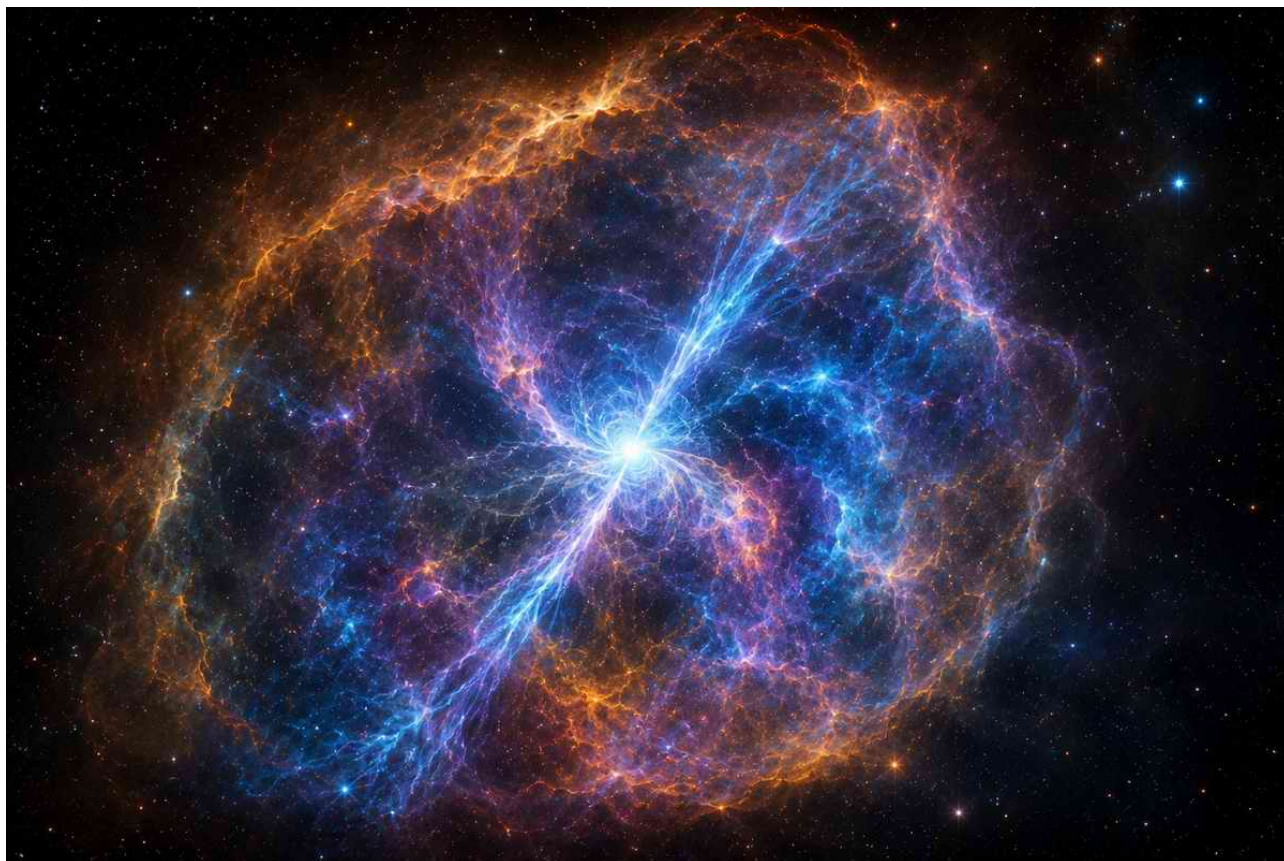


Туманность пульсарного ветра в остатке сверхновой СТА 1 удивила астрономов способностью разгонять частицы почти до предела Галактики



Дата публикации: 31.05.2026

Остатки взорвавшихся звезд остаются одними из самых загадочных и динамичных объектов во Вселенной. Именно здесь рождаются ударные волны колоссальной мощности, формируются экзотические структуры и происходят процессы ускорения частиц до энергий, недостижимых даже для крупнейших земных ускорителей. Новое исследование международной группы астрономов позволило детально изучить одну из таких систем — туманность пульсарного ветра внутри остатка сверхновой СТА 1, расположенного примерно в 4600 световых годах от Земли.

Используя данные рентгеновской космической обсерватории Chandra и гамма-телескопа Fermi, ученые получили наиболее подробную на сегодняшний день картину этой необычной системы. Результаты показали, что внутри остатка сверхновой действует чрезвычайно эффективный природный ускоритель частиц, способный разгонять электроны почти до петаэлектронвольтных энергий.

СТА 1 относится к так называемым составным остаткам сверхновых. Подобные объекты состоят не только из расширяющейся оболочки выброшенного звездного вещества, но и содержат в центре быстро вращающийся нейтронный остаток — пульсар. В данном случае таким объектом является пульсар PSR J0007+7303.

Этот пульсар представляет собой сверхплотное ядро погибшей звезды, масса которого сопоставима с массой Солнца, но сосредоточена в сфере диаметром всего несколько десятков километров. Он совершает полный оборот примерно за 315 миллисекунд и обладает магнитным полем порядка 10 триллионов гаусс, что в сотни миллиардов раз превышает напряженность магнитного поля Земли.

Быстрое вращение и мощное магнитное поле заставляют пульсар выбрасывать поток заряженных частиц почти со скоростью света. Этот поток получил название пульсарного ветра. Когда частицы сталкиваются с окружающим веществом остатка сверхновой, возникает особая структура — туманность пульсарного ветра.

Подобные объекты считаются одними из самых эффективных природных ускорителей во Вселенной. Именно поэтому они представляют огромный интерес для астрофизиков, изучающих происхождение космических лучей и механизмы экстремального ускорения частиц.

В ходе нового исследования ученые провели глубокий анализ как современных наблюдений Chandra, так и архивных данных, накопленных за многие годы. Высокое пространственное разрешение телескопа позволило рассмотреть внутреннее строение туманности с беспрецедентной детализацией.

Оказалось, что система обладает сложной и весьма необычной морфологией. В центре наблюдается компактный тор из высокоэнергетических частиц, окружающий пульсар. От него отходит длинная релятивистская струя длиной около 20 угловых секунд, направленная на юг и постепенно изгибающаяся в юго-западную сторону. На противоположной стороне обнаружена значительно более слабая противоструя.

Подобная структура напоминает знаменитые струи, наблюдаемые у активных галактических ядер и черных дыр, хотя масштабы здесь значительно меньше. По мнению исследователей, изгиб струи может быть вызван взаимодействием с окружающей межзвездной средой или ударной волной остатка сверхновой.

Одним из важных результатов работы стало уточнение скорости движения самого пульсара. Ранее предполагалось, что PSR J0007+7303 перемещается значительно быстрее. Однако новые измерения показали, что его поперечная скорость не превышает 200 километров в секунду.

Для сравнения, некоторые нейтронные звезды способны двигаться со скоростью более 1000 километров в секунду. Новые данные заставляют пересмотреть представления о возрасте системы и особенностях ее эволюции. Возможно, остаток сверхновой старше, чем считалось ранее, либо расширяется несимметрично из-за неоднородности окружающей среды.

Спектральный анализ выявил еще более интересные особенности. Компактные области туманности демонстрируют очень жесткий энергетический спектр рентгеновского излучения. Это свидетельствует о наличии большого количества чрезвычайно энергичных частиц.

Дополнительное моделирование широкополосного спектра показало, что магнитное поле внутри туманности сравнительно слабое — всего от 1,4 до 3,2 микрогаусса. Несмотря на это, система эффективно ускоряет электроны до энергий порядка 0,2–0,3 петаэлектронвольта.

Подобные значения находятся совсем рядом с так называемым пэватронным диапазоном — областью энергий, где рождаются самые мощные галактические космические лучи. Именно поэтому СТА 1 становится одним из ключевых объектов для исследований процессов ускорения частиц в нашей Галактике.

Интересно, что при столь высокой энергии частиц туманность демонстрирует относительно низкую эффективность рентгеновского излучения. Это означает, что значительная часть энергии пульсара не преобразуется непосредственно в наблюдаемое рентгеновское излучение, а остается в виде кинетической энергии ускоренных частиц.

Подобное сочетание низкой намагниченности и высокой энергии электронов делает систему особенно ценной для астрофизики. Она позволяет изучать механизмы ускорения в условиях, отличающихся от более ярких и мощных туманностей, таких как знаменитая Крабовидная туманность.

Полученные результаты помогают лучше понять жизненный цикл нейтронных звезд и процессы, происходящие после взрывов сверхновых. Когда массивная звезда завершает свою эволюцию, ее коллапс не только создает нейтронную звезду или черную дыру, но и запускает сложную цепочку взаимодействий между магнитными полями, ударными волнами и потоками заряженных частиц.

Именно эти процессы во многом определяют энергетический баланс межзвездной среды и влияют на распространение космических лучей по всей Галактике.

Особое значение исследование имеет для поиска источников

высокоэнергетических космических лучей. Несмотря на десятилетия наблюдений, происхождение значительной части таких частиц остается предметом научных дискуссий. Туманности пульсарного ветра рассматриваются как одни из наиболее вероятных кандидатов на роль галактических ускорителей.

СТА 1 становится еще одним доказательством того, что даже сравнительно компактные остатки сверхновых способны создавать условия для ускорения частиц до экстремальных энергий. Благодаря сочетанию данных Chandra и Fermi ученые получили возможность проследить весь путь энергии — от вращения пульсара до рождения частиц, движущихся почти со скоростью света.

Исследование подтверждает, что система СТА 1 является одной из наиболее интересных лабораторий для изучения физики высоких энергий, эволюции пульсарных туманностей и происхождения космических лучей в нашей Галактике.

Ссылка: «Рентгеновские наблюдения туманности пульсарного ветра в пределах СТА 1 с помощью телескопа Чандра» DOI: [10.48550/arxiv.2605.21278](https://doi.org/10.48550/arxiv.2605.21278).