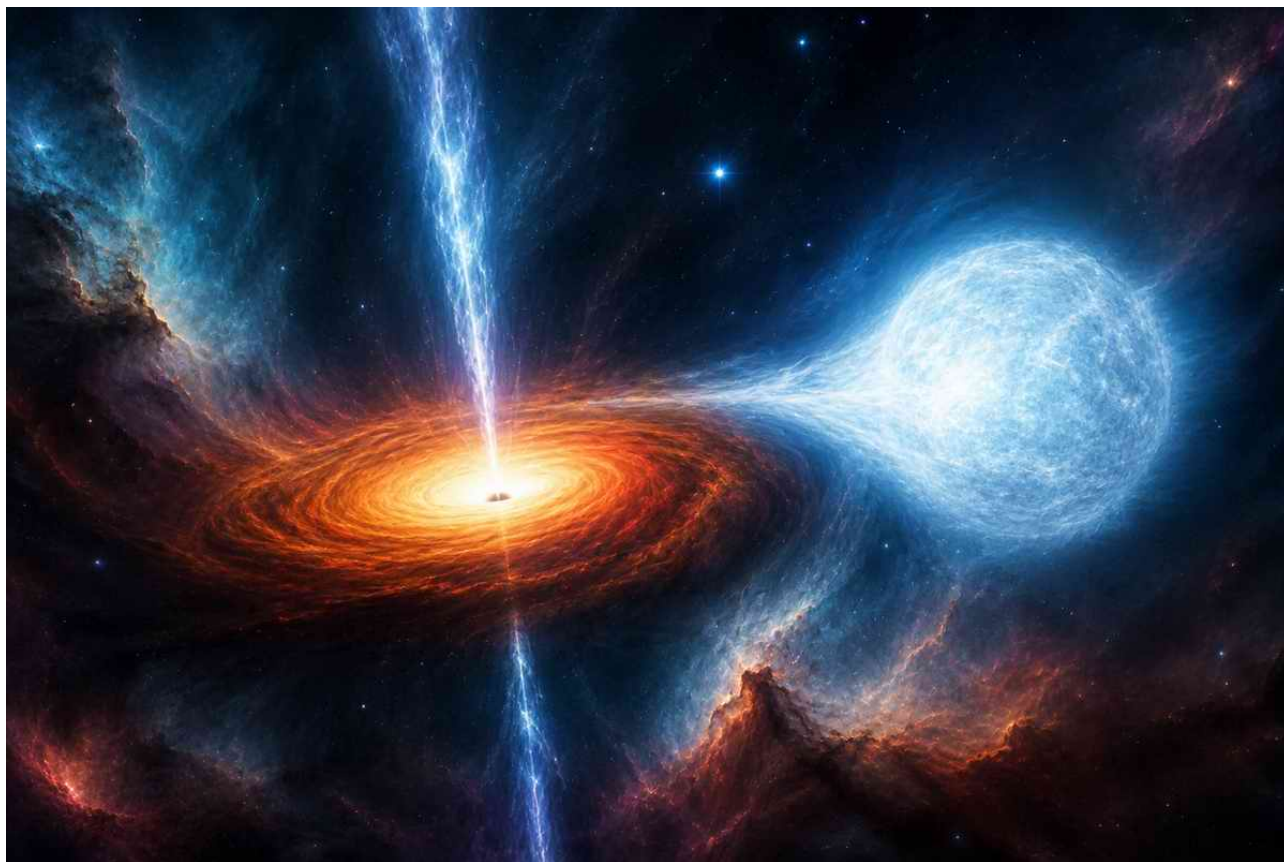


Загадочный пузырь в созвездии Лебеда может быть следом мощного микроквара



Дата публикации: 15.08.2026

Одна из самых загадочных структур в нашей Галактике может оказаться следом работы необычного космического ускорителя. Астрономы предложили новое объяснение происхождения так называемого Пузыря Лебеда — огромной области гамма-излучения сверхвысокой энергии, которая занимает значительную часть неба в направлении созвездия Лебеда.

Раньше главным кандидатом на роль источника этого излучения считали массивное звездное скопление в области Лебедь X, где рождается большое количество горячих молодых звезд. Однако новая модель показывает, что часть наиболее энергичного излучения может гораздо естественнее объясняться деятельностью микроквара Cygnus X-3.

Микроквары представляют собой двойные звездные системы, в которых обычная звезда вращается рядом с компактным объектом — нейтронной звездой или черной дырой. Благодаря мощной гравитации компактный объект перетягивает вещество со своего звездного компаньона. Часть этого вещества

образует горячий аккреционный диск, а часть может выбрасываться наружу в виде релятивистских струй.

По физике эти системы напоминают уменьшенные версии квазаров в центрах галактик. Разница состоит прежде всего в масштабе: вместо сверхмассивной черной дыры массой в миллионы или миллиарды Солнц здесь находится компактный объект звездной массы. Но несмотря на меньшие размеры, такие системы способны создавать чрезвычайно мощные потоки частиц.

Именно способность ускорять частицы до огромных энергий делает Cygnus X-3 особенно интересным для астрономов. В последние годы наблюдения показали, что этот объект может быть настоящим галактическим ПеВатроном — источником частиц с энергиями порядка петаэлектронвольта.

Один петаэлектронвольт равен 10^{15} в 15-й степени электронвольт. Для сравнения, это примерно в тысячу раз выше энергии, характерной для многих процессов, изучаемых на крупнейших земных ускорителях частиц. Космические объекты, способные разгонять протоны и другие частицы до таких значений, представляют особый интерес, поскольку могут объяснять происхождение самых высокоэнергетических космических лучей в Млечном Пути.

Проблема заключается в том, что сами заряженные частицы сложно напрямую связать с источником. Перемещаясь через межзвездное магнитное поле, они постоянно меняют направление. В результате к моменту достижения Земли информация о том, откуда именно они прилетели, оказывается почти полностью потеряна.

Поэтому астрономы ищут косвенные признаки. Когда высокоэнергетические протоны сталкиваются с атомами межзвездного газа, возникают вторичные частицы, которые затем производят гамма-лучи. В отличие от протонов, гамма-фотоны движутся практически по прямой линии, поэтому по их распределению можно попытаться восстановить расположение первоначального ускорителя.

Пузырь Лебеда как раз представляет собой огромную область подобного гамма-излучения. Он настолько велик, что его источник долгое время было трудно определить однозначно. Ускоренные частицы способны покидать место своего рождения и распространяться на сотни или даже тысячи световых лет, прежде чем столкнуться с газом и породить наблюдаемое гамма-излучение.

До сих пор считалось вполне логичным связывать пузырь со звездной областью Лебедь X. Здесь находятся молодые массивные звезды, мощные звездные ветры и скопления, способные создавать ударные волны и ускорять частицы. Такие регионы действительно считаются потенциальными источниками галактических космических лучей.

Однако исследователи обратили внимание на Cygnus X-3. Этот микроквазар находится значительно дальше от Земли — примерно в 30 тысячах световых лет. Система чрезвычайно компактна: ее компоненты совершают полный оборот друг вокруг друга примерно за 4,8 часа.

Недавние наблюдения обсерватории LHAASO показали, что Cygnus X-3 способен ускорять частицы как минимум до десятков петаэлектронвольт. Более того, интенсивность высокоэнергетического излучения менялась в соответствии с коротким орбитальным периодом системы. Это стало важным указанием на то, что ускорение происходит непосредственно внутри двойной звездной системы.

Для проверки новой гипотезы ученые построили модель, в которой Cygnus X-3 в течение сотен тысяч лет непрерывно выбрасывает высокоэнергетические протоны в окружающее пространство. Частицы постепенно распространяются по межзвездной среде, взаимодействуя с магнитными полями и газом.

Если протон сталкивается с ядром атома, могут образоваться нестабильные частицы, в том числе нейтральные пионы. Они быстро распадаются с образованием гамма-фотонов. Именно такое излучение и может формировать протяженное гамма-гало вокруг первоначального ускорителя.

Компьютерная модель показала, что подобный сценарий способен воспроизвести сразу несколько наблюдаемых свойств Пузыря Лебедя. В частности, расчеты дали близкую общую яркость и характерное уменьшение интенсивности гамма-излучения по мере удаления от центра предполагаемого источника.

Особенно важным оказался энергетический баланс. Для создания наблюдаемой структуры Cygnus X-3, согласно расчетам, достаточно направлять на ускорение частиц примерно 1–3 процента доступной энергии. С точки зрения физики микроквазаров такая эффективность выглядит вполне реалистичной и не требует существования неизвестного механизма.

Необычно хорошо совпала и скорость распространения частиц. Протоны в межзвездной среде не движутся строго по прямой, а проходят сложный путь под воздействием магнитных полей. Этот процесс описывают как диффузию. Параметры диффузии, необходимые для получения наблюдаемого размера пузыря, оказались близки к значениям, ожидаемым из независимых теоретических моделей.

Если гипотеза подтвердится, Cygnus X-3 станет особенно ценным природным объектом для астрофизики. Астрономы смогут одновременно изучать источник ускорения частиц и огромное облако, сформированное этими частицами за длительный период времени. Фактически это позволит наблюдать не только

работающий космический ускоритель, но и его накопленный след.

Подобные гамма-гало уже обнаруживались рядом с некоторыми другими компактными объектами. Однако Cygnus X-3 может стать одним из самых экстремальных примеров, поскольку энергия ускоряемых частиц достигает десятков ПэВ. Это переводит систему в категорию так называемых супер-ПеВатронов.

Такие источники особенно важны для решения давней проблемы происхождения галактических космических лучей. Более ста лет ученые знают, что Землю постоянно бомбардируют высокоэнергетические частицы из космоса. Однако установить конкретные источники наиболее энергичных из них оказалось значительно сложнее, чем ожидалось.

Долгое время главными кандидатами считались остатки сверхновых. При взрыве звезды мощная ударная волна распространяется через окружающую среду и способна ускорять частицы до очень высоких энергий. Но становится все очевиднее, что одного класса объектов может быть недостаточно для объяснения всего спектра космических лучей.

Сейчас список потенциальных источников расширился: остатки сверхновых, пульсарные туманности, массивные звездные скопления, микроквазары и другие компактные двойные системы. Возможно, разные объекты отвечают за разные диапазоны энергий.

При этом доказать, что именно Cygnus X-3 создал весь Пузырь Лебедя, пока нельзя. Основная проблема состоит в том, что в одном участке неба накладываются несколько возможных источников. Гамма-телескопы видят их проекции почти в одном направлении, а современные приборы пока не обладают достаточным угловым разрешением для полного разделения сигналов.

Не исключено также, что пузырь имеет смешанное происхождение. Часть частиц могли ускорить массивные звезды и ударные волны в области Лебедь X, а часть — микроквазар. В таком случае огромная гамма-структура будет результатом совместной работы сразу нескольких астрофизических ускорителей.

Ответ могут дать обсерватории следующего поколения. Черенковские телескопы регистрируют короткие вспышки света, возникающие в атмосфере Земли, когда гамма-квант высокой энергии порождает каскад вторичных частиц. Более чувствительные массивы таких телескопов смогут получить значительно более четкую карту гамма-излучения.

В частности, ученые рассчитывают на массив ASTRI и другие будущие установки. Их разрешения может хватить, чтобы определить, существует ли

характерное распределение излучения вокруг Cygnus X-3 и действительно ли его частицы формируют наблюдаемое гало.

Если связь подтвердится, это существенно изменит представления о роли микроквазаров в энергетике Млечного Пути. Эти относительно небольшие двойные системы окажутся способными влиять на межзвездную среду на расстояниях в сотни или тысячи световых лет, фактически создавая гигантские невидимые структуры вокруг себя.

Пузырь Лебеда в таком случае станет наглядным примером того, насколько обманчивыми могут быть космические масштабы. Источник, размеры которого несопоставимо меньше окружающего облака, способен на протяжении сотен тысяч лет заполнять пространство частицами настолько высокой энергии, что их последствия становятся заметны на огромной части неба.

Ссылка: «Микроквазар Лебедь X-3 как певатрон, питающий пузырь Лебеда»
DOI: [10.3847/2041-8213/ae878e](https://doi.org/10.3847/2041-8213/ae878e).