

Заявка на конкурс научных работ ИКИ (лучшая научная работа молодого ученого)

1. Автор: Веледина А.В.
2. Высокоточная оптическая поляриметрия аккрецирующих черных дыр
3. Ссылка на публикацию

Veledina A., Berdyugin A.V., Kosenkov I.A., Kajava J.J.E., Tsygankov S.S., Piirola V., Berdyugina S.V., Sakanoi T., Kagitani M., Kravtsov V., Poutanen J.,
Evolving optical polarization of the black hole X-ray binary MAXI J1820+070,
2019, A&A, 623, A75 (impact factor 6.209)
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834140>

4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Черные дыры являются одними из самых загадочных объектов Вселенной. Одиночные дыры почти невозможно наблюдать, так как темп аккреции из межзвездной среды очень мал. С другой стороны, черные дыры в двойных системах, аккрецирующие газ от звезды компаньона, являются одними из самых ярких источников в нашей Галактике, а сверхмассивные черные дыры в центрах активных галактик являются ярчайшими объектами во Вселенной. Такая яркость определяется большой эффективностью превращения потенциальной гравитационной энергии в излучение. Так, при аккреции на невращающуюся черную дыру излучается около 6% массы покоя, и эта доля достигает 42% при аккреции на максимально вращающуюся черную дыру.

Понимание физических процессов, происходящих в аккреционных дисках вокруг черных дыр, является одной из самых актуальных проблем астрофизики высоких энергий. В последние три десятилетия стала более понятна природа вязкости, которая определяет ход аккреции. Она связана с магниторотационной неустойчивостью. Но физика многих явлений до сих пор не ясна. К таким можно отнести наличие двух спектральных состояний (мягкое и жесткое), которые демонстрируют черные дыры в рентгеновских двойных, излучение в жестком рентгене и гамма диапазоне, которое явно демонстрирует наличие релятивистских электронов в короне аккреционных дисков, быстрая оптическая переменность и ее сложная связь с рентгеновской переменностью. Понимание этих явлений приведет нас к более полному пониманию процессов в горячей плазме вблизи черных дыр.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

Происхождение оптического излучения от аккрецирующих черных дыр до сих пор является загадкой. Многие годы казалось, что это излучение происходит от наружных краев аккреционного диска, нагретых рентгеном. Однако недавние открытия быстрой оптической переменности, одновременных рентгеновских и оптических квазипериодических осцилляций, нетепловых вспышек в оптике и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах ясно показали, что существуют другие источники излучения. Главным претендентом является синхротронное нетепловое излучение либо от компактного джета, который наблюдается в радиодиапазоне, либо от горячего аккреционного потока. Определение источника оптического и ИК излучения является одной из основных задач исследований аккрецирующих черных дыр, на которую сейчас направлены усилия десятков исследователей, использующих все возможные телескопы, включая 8-метровые телескопы VLT Европейской Южной Обсерватории и космическую обсерваторию Хаббла.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность

Для определения источника оптического и ИК излучения, мы предложили использовать высокоточную оптическую поляриметрию. Дело в том, что поляризационные свойства различных источников излучения должны отличаться. Синхротронное излучение джета, с сильным однородным магнитным полем, должно быть сильно поляризовано, как и показывают, например, наблюдения джетов в блазарах. В тоже время, синхротронное излучение от горячего аккреционного потока вблизи черной дыры не должно быть поляризованным, из-за запутанности магнитного поля и большого фарадеевского вращения внутри аккреционного потока. Поляризованное излучение может также возникать в холодном аккреционном диске и при рассеянии излучения диска в оптически тонком ветре.

До сих пор все измерения оптической поляризации от аккрецирующих черных дыр были крайне неточны, в частности из-за сложности учета доминирующего вклада межзвездной поляризации. Нам впервые удалось исследовать поляризацию в разных состояниях черной дыры и также измерить поляризацию многих близлежащих звезд поля, для точного учета межзвездной поляризации.

7. Полученные результаты и их значимость

Черная дыра в рентгеновской двойной системе MAXI J1820+070 была открыта в марте 2018 г. рентгеновским монитором всего неба MAXI, установленным на международной космической станции. Для оптических наблюдений мы использовали наш высокоточный поляриметр Dipol-2, который достигает точности измерения 10^{-6} (то есть 10^{-4} %). Одновременные наблюдения в трех фильтрах BVR проводились в течение марта-апреля 2018 года на 60 см телескопе Tohoku на острове Халеакала, Гавайи.

Мы обнаружили небольшую, 0,7%, но статистически значимую поляризацию, часть которой имеет межзвездное происхождение. Для определения межзвездной поляризации были получены измерения поляризации десятка близлежащих звезд поля, и отобраны звезды с близкими параллаксами по каталогу GAIA. Тем самым была получена собственная степень поляризации источника около 0,3%. Мы также показали, что после MJD 58222 (14 апреля 2018 г.), т.е. в начале перехода в мягкое состояние, степень поляризации увеличивается на 0,1%, и это изменение является наиболее выраженным в полосе R. Изменение собственной поляризации происходит одновременно с падением наблюдаемого потока в фильтре V и смятения рентгеновского спектра.

Мы показали, что увеличение поляризации связано с уменьшением вклада неполяризованного компонента, доминирующего в красной области. Этот компонент может быть ассоциирован с горячим аккреционным потоком или излучением джета. Низкая поляризация является или результатом запутанной геометрии магнитного поля, или эффектом фарадеевского вращения в плотной, ионизированной и намагниченной среде вблизи черной дыры. Поляризованное оптическое излучение вероятно производится нагретым диском или при рассеянии его излучения в оптически тонком ветре.

Таким образом, если излучение джета сильно поляризовано, то нетепловая ИК компонента не может происходить из джета, и мы показали, что она производится горячим аккреционным потоком вблизи черной дыры. Этот результат подтверждает существование релятивистских электронов в горячем аккреционном диске, что имеет важное значение для понимания микрофизики горячей плазмы вблизи черных дыр.