

Заявка на конкурс научных работ ИКИ в номинации “Лучшая работа или цикл работ молодого учёного”.

1. *Авторы:* Салганик А
 2. Цикл работ «Изучение спектральных и временных свойств рентгеновских пульсаров по данным космических обсерваторий»
 3. *Ссылки на публикации*
 1. **Salganik A.**, Tsygankov S.S., Djupvik A.A., Karasev D.I., Lutovinov A.A., Buckley D.A.H., Gromadzki M., Poutanen J. “*On the nature of the X-ray pulsar XTE J1859+083 and its broad-band properties*”, MNRAS (2022) 509, 5955–5963 (IF=5.235) <https://doi.org/10.1093/mnras/stab3362>
 2. **Salganik A.**, Tsygankov S.S., Lutovinov A.A., Djupvik A.A., Karasev D.I., Molkov S.V. “*Discovery of a pulse-phase-transient cyclotron line in the X-ray pulsar Swift J1808.4–1754 and identification of an optical companion*”, MNRAS (2022) 514, 2707–2715 (IF=5.235) <https://doi.org/10.1093/mnras/stac1462>
 3. **Salganik A.**, Tsygankov S.S., Lutovinov A.A., Mushtukov A.A., Mereminskiy I.A., Molkov S.V., Semena A.N. “*First characterization of a new high-mass X-ray binary in LMC eRASSU J050810.4–660653 with SRG/ART-XC, NuSTAR, and Swift*”, MNRAS (2022) 514, 4018–4025 (IF=5.235) <https://doi.org/10.1093/mnras/stac1608>
 4. **Salganik A.**, Tsygankov S.S., Doroshenko V., Molkov S.V., Lutovinov A.A., Mushtukov A.A., Poutanen J. “*RX J0440.9+4431: another supercritical X-ray pulsar*”, MNRAS (2023) 524, 5213–5224 (IF=5.235) <https://doi.org/10.1093/mnras/stad2124>
4. *Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность*

Аккрецирующие рентгеновские пульсары в двойных системах открывают уникальную возможность для изучения экстремальных состояний материи посредством временного и спектрального анализа их излучения при различных темпах аккреции вещества. В таких системах ключевую роль играет взаимодействие вещества со сверхсильным магнитным полем (10^{12} – 10^{14} Гс) нейтронной звезды (НЗ), что, в совокупности со сверхсильными гравитационными полями, плотностями материи и давлением излучения, делает эти системы уникальными лабораториями для изучения экстремальных состояний вещества, совершенно недостижимых в земных условиях, прокладывая дорогу к построению теории взаимодействия плазмы со сверхсильными магнитными полями.

Несмотря на продолжительную историю изучения рентгеновских пульсаров, вопрос механизма генерации наблюдаемого рентгеновского излучения остаётся неразрешённым, в том числе до сих пор не разрешён вопрос вклада различных процессов в наблюдаемые спектральные и временные свойства рентгеновских пульсаров. Сложные комбинации свободно-свободного, циклотронного излучения плазмы, излучения электронов в сильном магнитном поле и комптоновского рассеяния формируют наблюдаемые свойства пульсаров. Разделение и определение вкладов является приоритетной задачей исследования.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

Резонансные циклотронные линии являются важнейшими спектральными особенностями рентгеновских пульсаров, являющимися единственным прямым методом для оценки величины их магнитных полей. Циклотронные линии также позволяют изучать взаимодействие излучения с окружающим веществом, а также процессы, приводящие к формированию рентгеновского излучения.

С другой стороны, взаимодействие магнитного поля и излучения с плазмой может быть изучено с помощью диаграммы направленности и других косвенных методов, что не только дополняет общую картину, но и, в отсутствие возможности пронаблюдать циклотронную линию, позволяет оценить магнитное поле НЗ в совокупности с другими непрямими методами.

Увеличение чувствительности детекторов, проявившее себя в широкополосных рентгеновских обсерваториях последнего поколения (NuSTAR, INTEGRAL), позволило расширить возможности по детектированию циклотронных линий и изучению диаграмм направленности, в том числе их зависимости от энергетического диапазона, что, в совокупности с мониторингом пульсара на таких обсерваториях как Swift, NICER, CPГ дало возможность детально изучить взаимодействие магнитного поля с веществом в широком диапазоне светимостей.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность

Основой исследования были широкополосные наблюдения рентгеновских пульсаров в массивных двойных системах на основании данных обсерваторий INTEGRAL и NuSTAR, сопровождающиеся мониторингом обсерваториями Swift, NICER и CPГ. Используя результаты широкополосных наблюдений, нами были изучены редчайшие феномены, связанные с резонансным циклотронным рассеянием. Эти наблюдения, в совокупности с мониторингом, позволили впервые обнаружить ранее не наблюдавшиеся для этих систем режимы аккреции. Дополнительно, для некоторых систем на основании оптических наблюдений была впервые установлена их природа и определены спектральные классы оптических компаньонов, что критически важно для интерпретации наблюдаемых в рентгене свойств.

7. Полученные результаты и их значимость

Используя описанную методологию, нами впервые было оценено магнитное поле пульсара Swift J1808.4-1754, посредством обнаружения фазово-транзиентной циклотронной линии, редчайшего феномена, проявляющего себя лишь на определённых фазах вращения пульсара и обнаруженного в спектрах рентгеновских пульсаров всего несколько раз. Было обнаружено, что циклотронные процессы также влияют на наблюдаемые временные свойства пульсара, приводя к возникновению волнообразных фазовых задержек в профилях импульса. Такое использование циклотронной линии в качестве индикатора взаимодействия излучения с плазмой показало значительное влияние объёмной комптонизации на наблюдаемые свойства пульсара, а также релятивистского движения плазмы в аккреционной колонке.

Мониторинг первой в истории гигантской (второго типа) вспышки пульсара RX J0440.9-4431 впервые показал переход этого пульсара в сверхкритический режим аккреции при достижении светимости $3 \cdot 10^{37}$ эрг/с, что проявилось в резком изменении характера зависимости “светимость - жёсткость излучения” и в одновременном изменении формы профилей импульса пульсара с двухпиковой на однопиковую. Широкополосные наблюдения показали необычную двухгорбую

спектральную форму пульсара на светимостях 10^{36} - 10^{37} эрг/с, что является редчайшим отклонением от классического феноменологического “степенного закона с завалом на высоких энергиях”, характерного для данных светимостей. На основании перехода в сверхкритический режим аккреции, а также других непрямых методов, мы дали оценку на магнитное поле данного пульсара.

Изучение профилей импульса для системы eRASSU J050810.4–660653 показало наличие ярко выраженной карандашной диаграммы направленности, проявляющейся в очень сильной корреляции жёсткости излучения и интенсивности. Наши аналогичные исследования диаграммы направленности для пульсара RX J0440.9-4431 показали ровно обратные результаты: сильную антикорреляцию интенсивности и жёсткости, несмотря на совпадение физических параметров этих систем и светимостей пульсаров при наблюдении, что указывает на куда более сложный характер формирования наблюдаемого излучения рентгеновских пульсаров, чем полагалось ранее. По результатам мониторинга был впервые измерен орбитальный период системы, что важно для классификации её наблюдаемых свойств, в том числе с помощью диаграммы Корбе.

Для систем XTE J1859+083 и Swift J1808.4-1754 на основании их наблюдаемых рентгеновских свойств и оптических наблюдений было показано, что они обладают Ве природой, что необходимо для интерпретации их наблюдаемых свойств, а также даны оценки на расстояние до систем. Для XTE J1859+083 были даны оценки на величину магнитного поля на основании отсутствия наблюдаемых циклотронных линий в диапазоне 3-79 кэВ, а также на основании отсутствия наблюдаемого перехода этого пульсара в режим пропеллера.

Таким образом, нами были впервые изучены и оценены магнитные поля для целого ряда различных пульсаров, взаимодействие магнитных полей и излучения с веществом при различных режимах аккреции, впервые определена их природа, обнаружены сложнейшие тонкие эффекты. Наблюдаемые спектральные и временные свойства дают нам возможность не только оценить магнитное поле для этих пульсаров, но и ставят сильные ограничения на механизмы генерации излучения и взаимодействия излучения с окружающим веществом.