

Vybornov V., Klochkov D., Gornostaev M., Postnov K., Sokolova-Lapa E.,
Staubert R., Pottschmidt K., Santangelo A.

Luminosity-dependent changes of the cyclotron line energy and spectral hardness in Cepheus X-4

(<http://adsabs.harvard.edu/abs/2017A%26A...601A.126V>)

Общая формулировка проблемы и ее актуальность.

Рентгеновские пульсары или аккреционные пульсары – это мощные источники рентгеновского излучения в нашей Галактике и не только, которое возникает в результате аккреции вещества обычной звезды на нейтронную звезду. Рентгеновские пульсары изучаются уже довольно давно, на протяжении нескольких десятилетий, и основные теоретические представления процессов аккреции были разработаны еще в 60-70х гг. Но несмотря на это, возможности современных космических обсерваторий, прежде всего таких как NuStar, XMM-Newton и RXTE, позволяют производить наблюдения с высокими спектральным и временным разрешением, что выявляет новые наблюдательные факты, которые требуют объяснения. Одним из таких наблюдательных фактов является эволюция циклотронной линии в спектре со временем и светимостью в нескольких источниках. Изучение циклотронной линии является важнейшим аспектом исследования аккреционных пульсаров, т.к. измерение энергии этой линии является единственным прямым методом определения магнитного поля нейтронной звезды, проявляющей себя как аккреционный пульсар. Однако, до сих пор нет общепринятой теоретической теории, как и где эта линия образуется. Какую-либо теоретические представления возможно сформировать лишь обобщив наблюдательные факты, которых, однако, немного. Известно всего не более полдюжины объектов, где обнаружена зависимость энергии циклотронной линии от светимости. Поэтому важно также искать новые источники, где проявляется такая зависимость.

Конкретная решаемая задача и ее значение.

Работа была направлена на всестороннее изучение спектра рентгеновского пульсара Сер X-4 с целью изучения зависимостей параметров спектра от светимости и как следствие от темпа аккреции. Ранее, другими авторами было показано, что энергия циклотронной линии в этом объекте вероятно имеет зависимость от светимости, но детального исследования не было проведено. Основное внимание в нашей работе было уделено изменению энергии циклотронной линии и жесткости спектра, в то время как другие параметры, такие как ширина и глубина линии не исследовались ввиду недостаточной статистики. Наша работа выявила, что спектр Сер X-4 действительно зависит от светимости, а именно, энергия линии скоррелирована со светимостью положительно, а жесткость спектра — отрицательно, как это наблюдается в субкритических источниках. Эти результаты позволили также предложить в

нашей работе теоретическую интерпретацию этих зависимостей, в основе которой лежит формирование бесстолкновительной ударной волны в плазме на небольшой высоте над поверхностью нейтронной звезды.

Используемый подход, его новизна и оригинальность.

Работа была основана на данных полученных космической обсерваторией NuStar. NuStar имел всего два наблюдения рассматриваемого объекта во время всплеска его активности в 2014 году. Поскольку простой интегральный анализ этих наблюдений дал бы лишь две точки в зависимости параметров спектра от светимости, мы решили применить т. н. pulse-to-pulse анализ. Суть этого анализа сводится к построению распределения импульсов по их амплитуде (или что то же самое по общему кол-ву фотонов, пришедших за импульс), делению этого распределения на несколько частей и построения спектра для каждой такой части. Таким образом мы получаем спектры в зависимости от светимости в каждом наблюдении. Проанализировав качество наблюдений, мы разделили распределение каждого наблюдения на четыре части и получили четыре спектра. Таким образом мы имели восемь точек для анализа зависимости параметров спектра от светимости взамен двух. Такой подход также позволяет изучать зависимость параметров спектра от светимости в нетранзиентных источниках, таких как например Her X-1.

Полученные результаты и их значимость.

Основным результатом работы стало выявление положительной зависимости энергии циклотронной линии и отрицательной зависимостью жесткости спектра от рентгеновской светимости пульсара. Таким образом этот объект пополнил число источников с положительной корреляцией энергии линии со светимостью. Для интерпретации этих результатов была предложена теоретическая концепция, предложенная К. Постновым, в основе которой лежит формирование бесстолкновительной ударной волны в свободно падающей плазме вблизи поверхности нейтронной звезды. В соответствии с этими представлениями была определена высота такой ударной волны. Поскольку в этой концепции циклотронная линия формируется в районе ударной волны, то также была оценена высота области формирования линии. Изменение жесткости спектра также превосходно описываются в рамках предложенной модели. Проведены численные расчеты континуума рентгеновских спектров на основе данной модели, который находятся в прекрасном согласии с наблюдательными данными, что подтверждает адекватность модели. В ходе спектрального анализа впервые в данных NuStar была попутно выделена гармоника циклотронной линии, что подтверждает ее существование в рассматриваемом источнике.