

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИЗВЕСТНЫХ ВСПЫХИВАЮЩИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ

**Е.Б. Рыспаева, А.Ф. Холтыгин**

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный, Крым, Россия  
 Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
 e.ryspaeva@yandex.ru

## STUDY OF UNEXPLORED FLARING X-RAY SOURCES

**E.B. Ryspaeva, A.F. Kholtygin**

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchnyi, Crimea, Russia  
 Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia  
 e.ryspaeva@yandex.ru

**Аннотация.** Проанализированы рентгеновские спектры двух ярких малоизученных источников, замеченных на полученном XMM-Newton изображении вблизи звезды Хербига HD163296. В обоих источниках обнаружены рентгеновские вспышки. Извлечены спектры объектов во время вспышек и в их спокойном состоянии. Моделирование рентгеновских спектров показало, что объекты могут генерировать тепловое рентгеновское излучение, исходящее из плазмы с температурой около 0.2–0.3 и 0.9–1 кэВ, а также, что во время вспышек меняется температура плазмы и, возможно, появляется нетепловое рентгеновское излучение. Предположено, что два объекта, детектированные как в рентгеновском, так и в оптическом диапазонах, являются двойными или кратными звездами и могут обладать сильными магнитными полями.

**Ключевые слова:** рентгеновское излучение, спектр, вспышка.

**Abstract.** We analyze the X-ray spectra of two bright understudied sources found on an XMM-Newton image near the Herbig star HD163296. X-ray flares are detected in both sources during the observation. We took the X-ray spectra of objects during flares and in their quiet state. Simulation of X-ray spectra showed that objects can generate thermal X-rays emanating from plasma with temperatures of about 0.2–0.3 keV and 0.9–1 keV. During flares the plasma temperature changes and non-thermal X-ray emission possibly occurs. We assume that two objects detected in the X-ray and optical bands are double or multiple stars with strong magnetic fields.

**Keywords:** X-ray emission, X-ray spectrum, flare.

### ВВЕДЕНИЕ

Нередко во время наблюдения какого-либо астрономического объекта в поле зрения попадает другой, не менее заметный объект. При анализе наблюдательных данных такие источники часто остаются без внимания, не все из них каталогизированы. Так, анализируя рентгеновские наблюдения звезды Хербига HD 163296, выполненные орбитальной обсерваторией XMM-Newton, мы обнаружили на изображениях, сделанных камерой EPIC, два достаточно ярких источника (рис. 1), которые хотя и числятся в рентгеновских и в оптических каталогах, но подробно не исследованы. Природа этих объектов окончательно не установлена. Сведения об этих объектах (обозначения в каталогах, экваториальные координаты, звездная величина, предполагаемая природа) из базы данных SIMBAD [<http://simbad.u-strasbg.fr/Simbad>] приведены в таблице. Для нас эти объекты представили

большой интерес не только своими интенсивными рентгеновскими спектрами, визуально напоминающими звездные, но и мощными рентгеновскими вспышками, зафиксированными во время наблюдений. В настоящей работе мы проанализировали рентгеновские спектры двух этих источников как в их спокойном состоянии, так и во вспышечной фазе.

### Наблюдения и обработка данных

Были использованы архивные рентгеновские наблюдения, выполненные 22.09.2007 (№ 0502370201) и 24.09.2007 (№ 0502370301), длительностью 105.9 и 22.3 кс соответственно. Первичная обработка данных была осуществлена с помощью программного пакета SAS 19.0 с учетом рекомендаций группы SAS [[www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton](http://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton)]. Подробное описание методики дано в разделе 2 статьи [Ryspaeva, Kholtygin, 2020a].

Основные сведения о рассмотренных в работе объектах

Обозначение в каталоге рентгеновских источников	Обозначение в каталоге оптических источников	Экваториальные координаты	Звездная величина $V$	Предположительная природа
2XMM J175634.9-215916	2MASS J17563489-2159167	17 56 34.887960– 21 59 17.25216	12.19	composite object
2XMM J175640.0-215953	2MASS J17564004-2159530	17 56 40.036713– 21 59 53.19478	13.03	young stellar object candidate

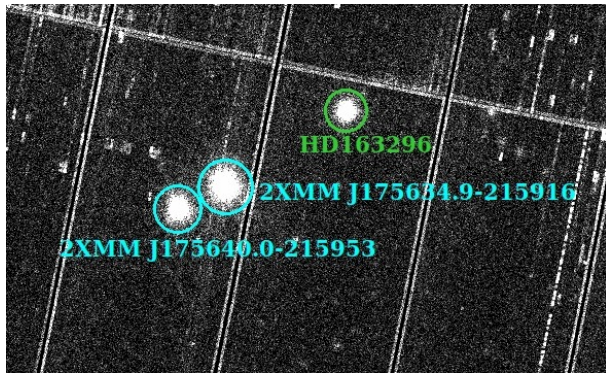


Рис. 1. Рентгеновское изображение рассматриваемых источников (выделены голубыми кружками), полученное XMM-Newton; звезда HD 163296 выделена зеленым кружком

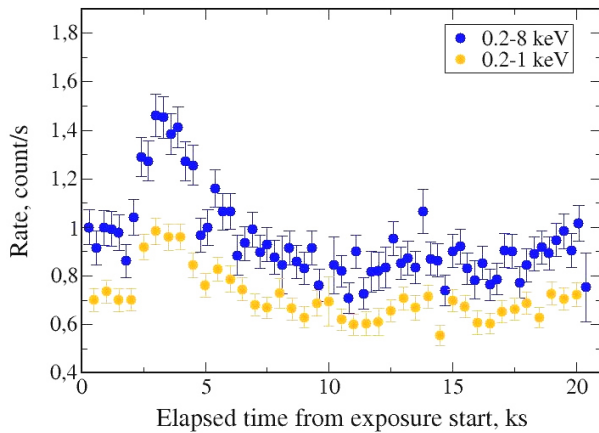
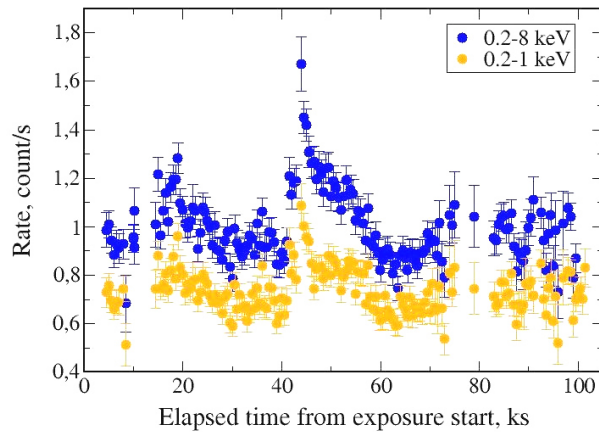


Рис. 2. Кривые блеска источника 2XMM J175634.9-215916 в разных диапазонах энергий 22.09.2007 (вверху) и 24.09.2007 (внизу); разрывы в данных объясняются удалением фрагментов наблюдений в моменты вспышек фонового излучения

Далее из изображений с камеры EPIC мы извлекли кривые блеска двух источников с шагом 500 с и спектры в диапазоне энергий 0.2–8 кэВ. Спектры были аппроксимированы различными моделями с применением программного пакета XSPEC 12.10.0 [<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xanadu/xspec/>].

### Анализ кривых блеска

На рис. 2, 3 показаны кривые блеска исследуемых объектов во всем рассмотренном диапазоне энергий 0.2–8 кэВ, в мягком диапазоне энергий 0.2–

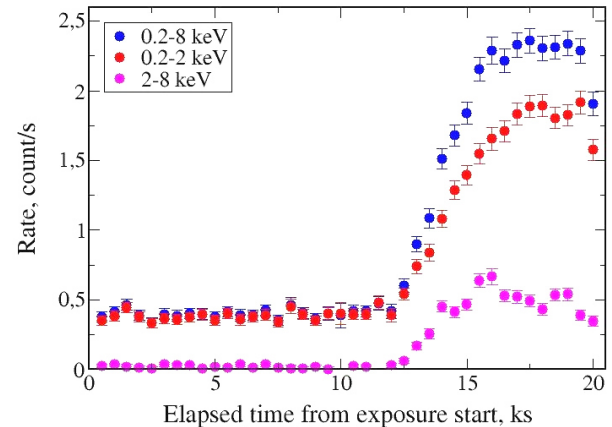
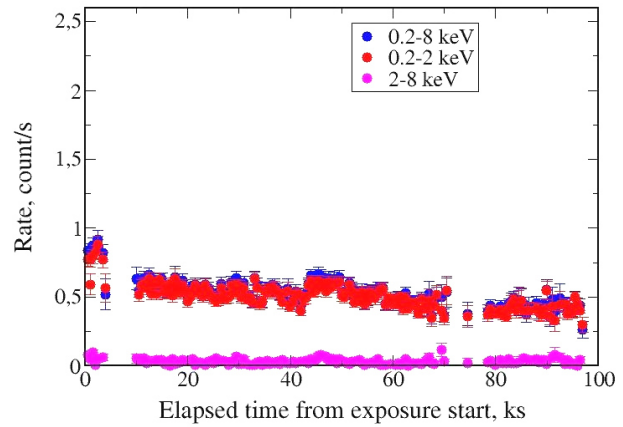


Рис. 3. То же, что на рис. 2, для источника 2XMM J175640.0-215953

1 или 0.2–2 кэВ, в области жестких энергий 2–8 кэВ. Из анализа кривых следует, что на объекте 2XMM J175634.9-215916 были зафиксированы две рентгеновские вспышки длительностью ~10 кс с возрастанием скорости счета приблизительно в два раза относительно уровня спокойного состояния объекта. При этом увеличение блеска наблюдалось на всем диапазоне его рентгеновского излучения. У источника 2XMM J175640.0-215953 во время наблюдения 24.09.2007 скорость счета фотонов во всем диапазоне энергий увеличилась в пять раз, а во время предыдущего наблюдения скорость счета в полном диапазоне энергий и в его мягкой части медленно уменьшалась и к концу экспозиции снизилась вдвое по сравнению с величиной в начале наблюдения. Скорость счета в жесткой части спектра не изменялась в течение наблюдения.

Дополнительно мы извлекли кривые блеска источников на энергиях 0.2–8 кэВ в их спокойной фазе с шагом 5 с для поиска возможной периодичности излучения. С помощью фурье-анализа у источника 2XMM J175640.0-215953 были обнаружены два периода излучения:  $P_1=44.9$  ч и  $P_2=15.0$  ч, у источника 2XMM J175634.9-215916 были обнаружены периоды  $P_1=11.8$  ч и  $P_2=5.0$  ч.

### Моделирование рентгеновских спектров

Мы извлекли спектры источников в их спокойном состоянии и в фазе вспышек. Каждый спектр был аппроксимирован суммами моделей. Исходя из предположения о звездной природе

исследуемых объектов, мы использовали модели APEC [Smith et al., 2001] и MEKAL [Mewe et al., 1985, 1986; Liedahl, 1995], описывающие излучение горячего газа, в котором атомы ионизируются электронным ударом (далее — тепловые модели). Для проверки возможной принадлежности объектов к вырожденным звездам мы аппроксимировали спектры суммами моделей чернотельного излучения BBODYRAD. Для поиска возможного нетеплового рентгеновского излучения от окружающих объекты туманностей или/и от самих звезд мы добавляли к тепловым моделям или к BBODYRAD степенную компоненту (Power Law, PL). Для учета поглощения рентгеновского излучения межзвездной средой мы умножали каждую модель на модель TBABS [Wilms et al., 2000], которая учитывает поглощение как газовой составляющей межзвездной среды, так и пылевыми частицами и характеризуется параметром лучевой концентрации водорода в направлении на объект. Используя этот параметр и аппроксимационные формулы из статьи [Morrison, McCammon, 1983], мы вычислили непоглощенные межзвездной и околозвездной средой потоки в спектрах. Мы оценили жесткости непоглощенных спектров как отношения интегральных потоков в жесткой (2–8 кэВ) и в мягкой (0.2–2 кэВ) частях [Naze et al., 2014]. Используя расстояние  $d=100$  пк (по данным GAIA DR3) до источника 2XMM J175640.0-215953, мы оценили его рентгеновские светимости в интервале энергий 0.2–8 кэВ. Наилучшие модельные спектры с их покомпонентным разложением показаны на рис. 4–7.

Таким образом, спектр источника 2XMM J175634.9-215916 от 22.09.2007 может быть описан тепловыми моделями с температурами плазмы  $kT_1 \sim 0.3$  кэВ,  $kT_2 \sim 1$  кэВ,  $kT_3 \sim 1.6$  кэВ, при вспышке наибольший поток в спектре увеличивается на 20–25 % относительно величины в спокойном состоянии. Это увеличение вызвано возрастанием температуры  $kT_3$  до 2.2 кэВ. Однако спектр от 24.09.2007 описывается двумя тепловыми моделями с  $kT_1 \sim 0.3$  кэВ,  $kT_2 \sim 1$  кэВ, которые не меняются при вспышке, только аналогично возрастают потоки в спектре. При обоих вспышках жесткости спектров не меняются существенно, составляя  $HR \sim 0.2–0.3$ .

Напротив, рентгеновские спектры источника 2XMM J175640.0-215953 в спокойном состоянии и во время вспышки значительно различаются. Спектр объекта вне вспышки может быть описан тепловыми моделями с  $kT_1 \sim 0.2$  кэВ,  $kT_2 \sim 1$  кэВ, жесткость  $HR \sim 0.1–0.2$ , светимость  $L_x \sim (2 \div 3) \cdot 10^{30}$  эрг  $s^{-1}$ . В спектре от 24.09.2007 наибольший поток увеличился в 2.5 раза с наступлением вспышки, светимость возросла до  $L_x \sim (0.9 \div 1) \cdot 10^{31}$  эрг  $s^{-1}$ ,  $HR \sim 0.5–0.8$ . Кроме того, в спектре появилось достаточно сильное излучение в жестких энергиях выше 2 кэВ, что свойственно звездам — аналогам  $\gamma$  Cas [Smith et al., 2016]. Но, в отличие от аналогов  $\gamma$  Cas, этот жесткий рентгеновский «хвост» не обязательно обусловлен аномально высокой температурой плазмы. Он может быть описан либо дополнительным тепловым компонентом с  $kT_3 \sim 3.9$  кэВ, либо степенной компонентой со спектральным индексом  $G \sim 2.3$  и вкладом в полный модельный спектр  $\sim 68.5$  %. Как

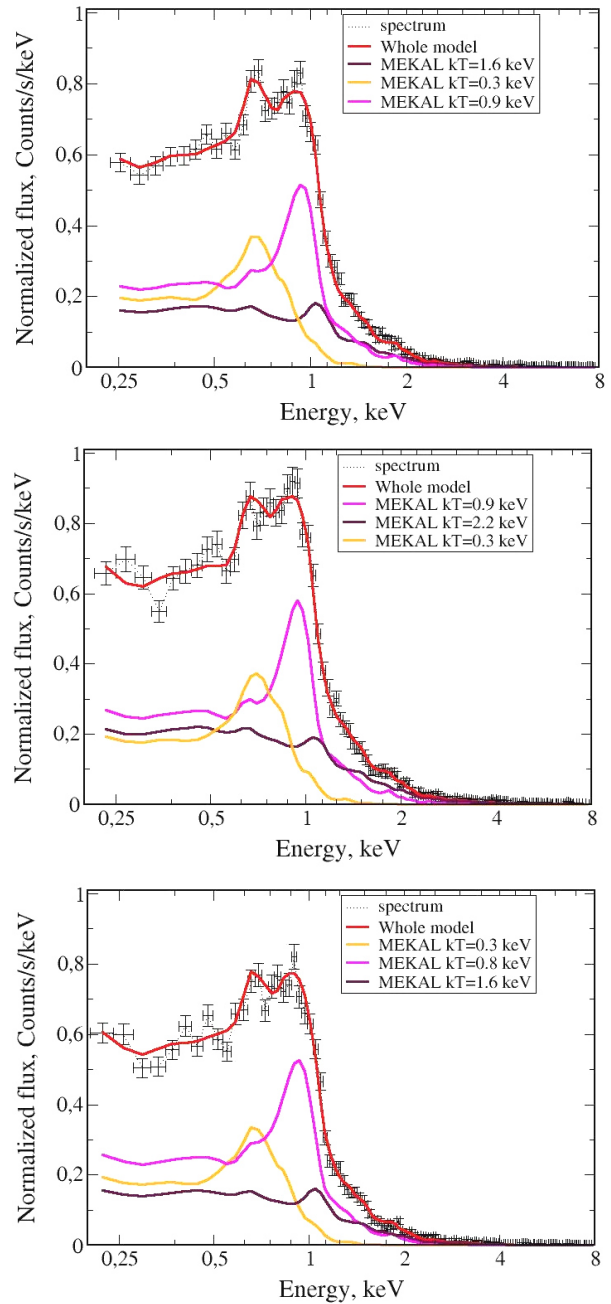


Рис. 4. Модельные рентгеновские спектры источника 2XMM J175634.9-215916 22.09.2007: сверху — спектр до вспышки, в центре — во время вспышки, внизу — после вспышки

показано в работе [Ryspaeva, Kholtygin, 2020b], подобные степенные компоненты, по-видимому, присутствуют в спектрах многих аналогов  $\gamma$  Cas. При этом наибольший поток в спектре 2XMM J175640.0-215953 от 22.09.2007 на 20 % выше, чем в спектре от 24.09.2007 перед вспышкой, но температуры плазмы примерно одинаковы.

В то же время все рассмотренные спектры не удалось аппроксимировать моделями с чернотельной компонентой BBODYRAD.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ рентгеновских спектров и кривых блеска двух объектов и факт наличия у этих объектов значи-

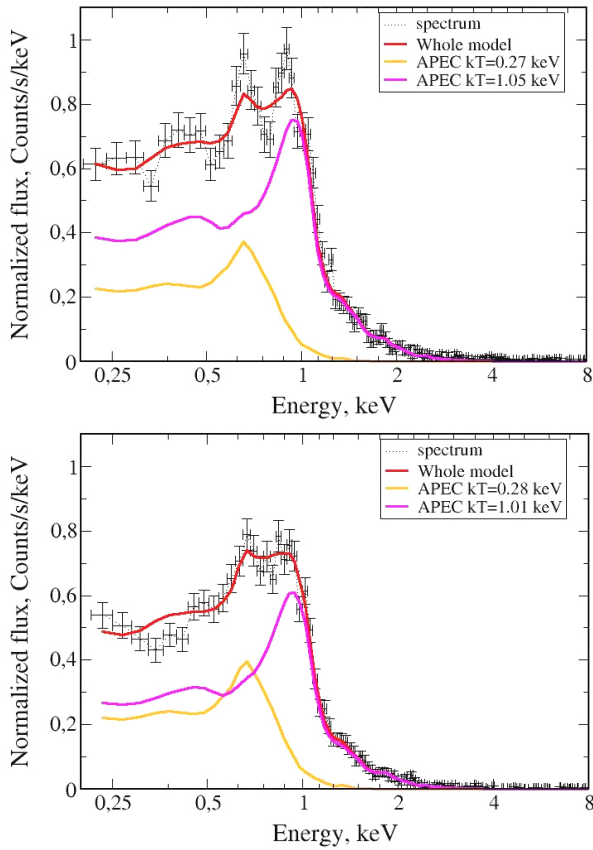


Рис. 5. То же, что на рис. 4, для 24.09.2007: сверху — спектр во время вспышки, внизу — после вспышки

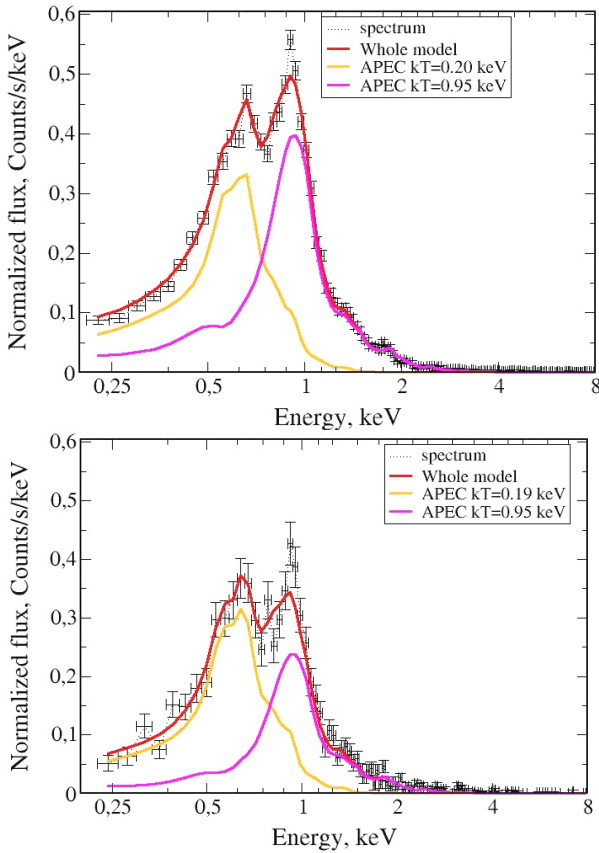


Рис. 6. Модельные рентгеновские спектры источника 2XMM J175640.0-215953 в спокойном состоянии: слева — спектр из наблюдения 22.09.2007; справа — спектр из наблюдения 24.09.2007 перед вспышкой

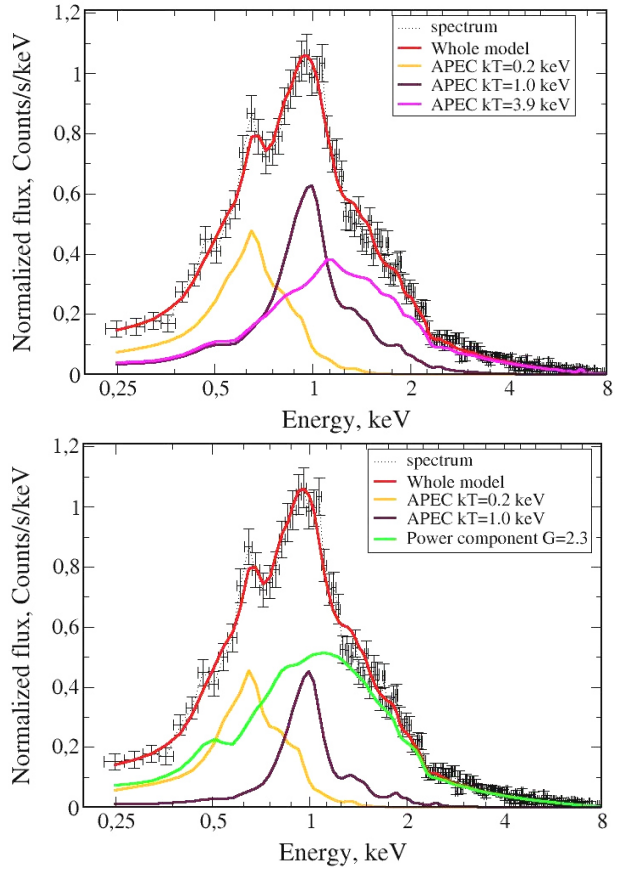


Рис. 7. Модельные рентгеновские спектры источника 2XMM J175640.0-215953 во время вспышки 24.09.2007: слева — спектр, описанный тремя тепловыми моделями; справа — спектр, описанный двумя тепловыми моделями с добавлением степенной компоненты

тельного оптического излучения позволяют сделать следующие важные выводы:

1. Рассмотренные рентгеновские источники, вероятно, являются нормальными звездами и не содержат вырожденные компоненты.

2. Обнаружение у рассмотренных источников вспышек рентгеновского излучения и двух периодов вариаций их спокойного рентгеновского излучения может быть свидетельством того, что эти источники являются двойными или кратными звездами, а периоды их рентгеновского излучения могут соответствовать орбитальным периодам и/или периодам вращения отдельных компонентов этих звезд. Также нельзя исключать, что эти периоды связаны с нерадиальными пульсациями данных звезд.

3. Источник 2XMM J175634.9-215916, возможно, относится к композиционным объектам, то есть является двойной или кратной звездой, а вспышки рентгеновского излучения могут быть связаны с маломассивной вспыхивающей звездой. Возможно также, что объект имеет сильное магнитное поле и вспышки рентгеновского излучения аналогичны солнечным и связаны с перезамыканием силовых линий локальных магнитных полей.

4. Источник 2XMM J175640.0-215953 предположительно является звездой до главной последовательности. В этом случае присутствие жесткого нетеплового компонента во вспышечной фазе может быть связано либо с магнитосферной аккрецией

вещества возможного околозвездного диска, либо с наличием скрытого компонента в виде звезды типа Т Тельца или звезды позднего спектрального класса.

Таким образом, два рассмотренных объекта представляют большой интерес своими рентгеновскими спектрами и рентгеновскими вспышками. Для определения природы как самих объектов, так и их рентгеновского излучения необходимы их оптические наблюдения и измерения магнитных полей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Liedahl D.A., Osterheld A.L., Goldstein W.H. *Astrophys. J.* 1995. Vol. 438, L115
- Mewe K., Lemen J. R., van der Oord G.H.J. Calculated X-radiation from optically thin plasmas. V. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1985. Vol. 62. P. 197–254.
- Mewe K., Lemen J. R., van der Oord G.H.J. Calculated X-radiation from optically thin plasmas. VI – Improved calculations for continuum emission and approximation formulae for nonrelativistic average Gaunt factors. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1986. Vol. 65, no. 3. P. 511–536.
- Morrison R., McCammon D. *Astrophys. J.* 1983. Vol. 270. P. 119.
- Naze, Y., Petit, V., Rinbrand, M., et al. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2014. Vol. 215, 10.
- Ryspaeva E., Kholtygin A. *Res. Astron. Astrophys.* 2020a. Vol. 20, no. 7, 108.
- Ryspaeva E., Kholtygin A. *Astrophys. Bull.* 2020b. Vol. 75, no. 2, 127.
- Smith R. K., Brickhouse N.S., Liedahl D.A., Raymond J.C. *Astrophys. J.* 2001. Vol. 556, L91
- Smith M. A., Lopes de Oliveira R., Motch C. *Adv. Space Res.* 2016. Vol. 58, 782.
- Wilms J., Allen A., McCray R. *Astrophys. J.* 2000. Vol. 542. P. 914.
- URL <http://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton> (дата обращения 2.05.2022)
- URL <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xanadu/xspec/> (дата обращения 2.05.2022)
- URL <http://simbad.u-strasbg.fr/Simbad> (дата обращения 2.05.2022)