

Исследование рентгеновского излучения звезд типа γ Cas в разных состояниях их звездных ДИСКОВ

Е. Б. Рыспаева^{1,2}, А. Ф. Холтыгин²

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН

²Санкт-Петербургский государственный университет

Характеристики звезд аналогов γ Cas

1. К этому подклассу относятся Oe-Be звезды, обладающие декреционными дисками;
2. Рентгеновская светимость звезд составляет $L_x \sim 10^{32} - 10^{33}$ эрг s^{-1} ;
3. Температура плазмы, излучающей в рентгеновской области спектра, достигает 10-20 кэВ и более;
4. Звезды имеют мощные рентгеновские потоки в жесткой части спектра (на энергиях выше 2 кэВ);
5. Рентгеновское излучение звезд переменнo на временных шкалах от нескольких минут до нескольких лет.

Возможные процессы формирования рентгеновского излучения звезд аналогов γ Cas

1. Излучение невидимого вырожденного компонента (Postnov et al., 2017) или маломассивного спутника в виде красной карликовой вспыхивающей звезды;
2. Взаимодействие декреционного диска с магнитным полем (Smith et al. 2016), вклад вспышек на звездах типа солнечных, связанных с локальными магнитными полями;
3. Возможное нетепловое рентгеновское излучение, возникающее в результате обратного комптоновского рассеяния УФ-фотонов на релятивистских электронах в рамках модели Chen & White (1991) (Ryspaeva & Kholtygin, 2020, 2022).

Звезды аналоги у Cas с обнаруженными изменениями в рентгеновских спектрах

	HD 45314	HD 90563	NGC 6649 9	HD 119682
Экваториальные координаты	06:27:15.778 +14:53:21.213	10:25:52.460, -58:47:07.130	18:33:28.300, -10:24:08.757	13:46:32.571, -62:55:24.157
Спектральный класс	O9:npe C	OБ E	B0Ve C	B0Ve C
Расстояние (кпк, GAIA EDR3)	0.886	2.515	2.111	1.652
Видимая величина G	6.55	9.98	10.96	8.52
Видимая величина V	6.64	9.86	11.76	7.90

Эти звезды несколько раз наблюдались в рентгеновском диапазоне на спутниках «XMM-Newton» и «Chandra» с 2000 по 2021 год. Их рентгеновские спектры из наблюдений разных лет значительно отличались формой и характеристиками.

HD 45314



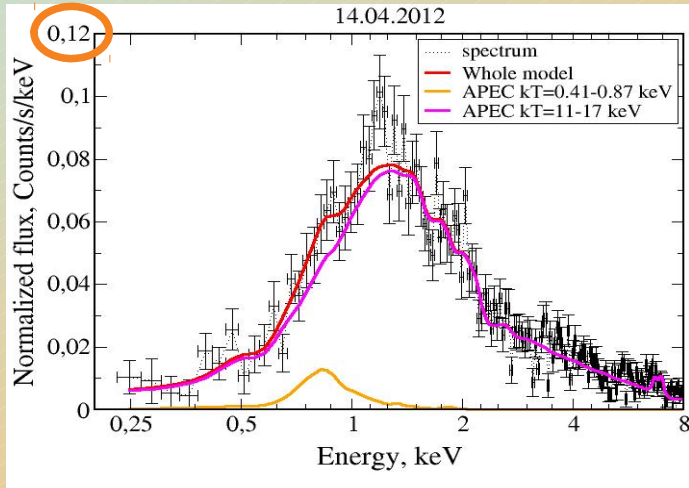
Наблюдения звезды в линии H_{α} (Rauw et al., 2018) показали, что в 2012-2013 годах её околозвездный диск вступил в фазу вариаций.

2012 — фаза оболочки,

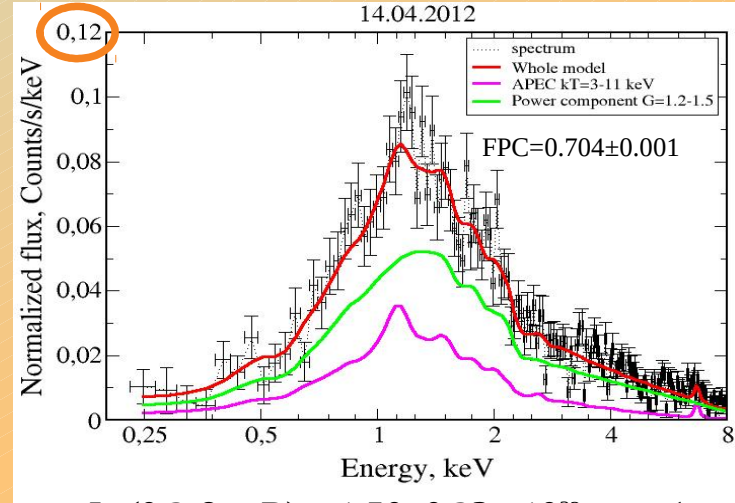
2014 — фаза частичного распада диска,

2016 — фаза наименьшего рентгеновского излучения.

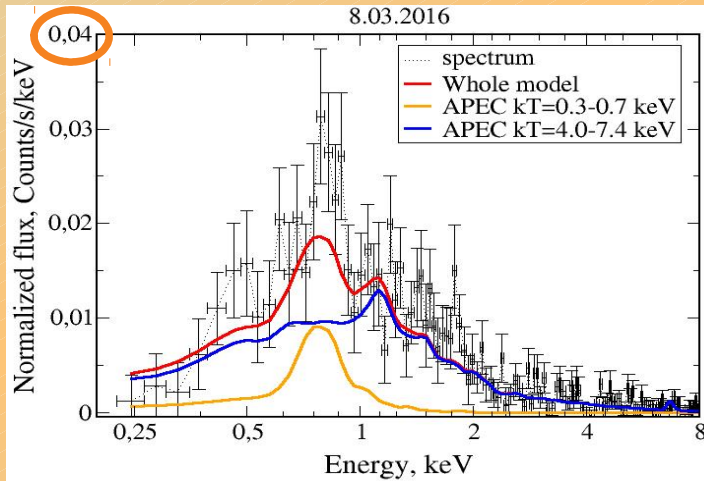
HD 45314



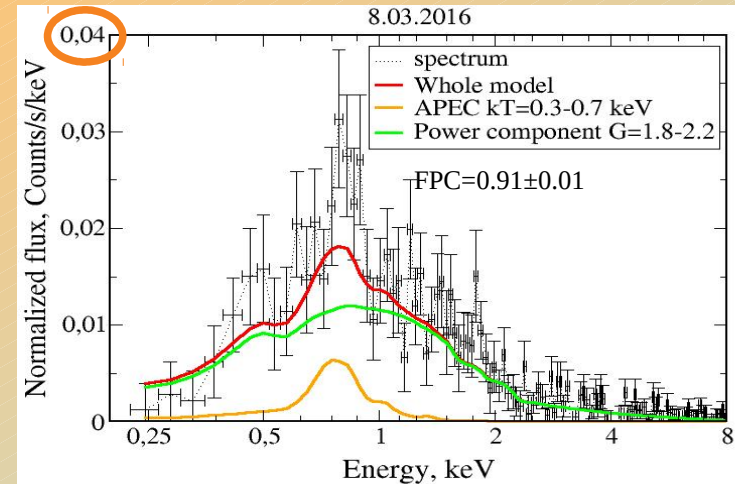
$$L_X(0.2-8 \text{ кэВ}) = 1.66 \pm 0.38 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$



$$L_X(0.2-8 \text{ кэВ}) = 1.50 \pm 0.23 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$



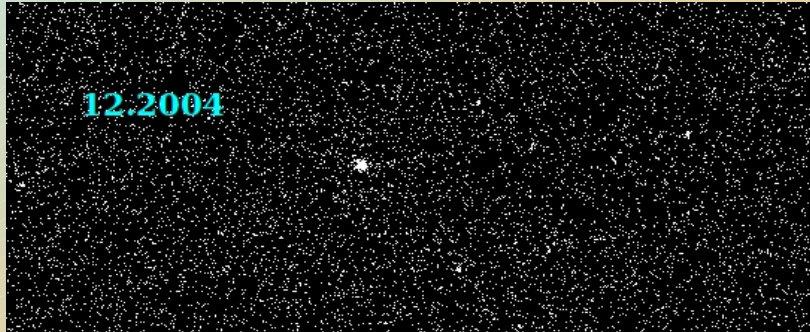
$$L_X(0.2-8 \text{ кэВ}) = 1.86 \pm 0.22 \cdot 10^{31} \text{ эрг с}^{-1}$$



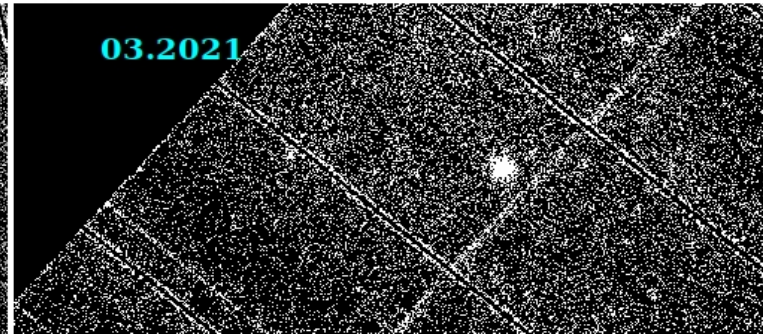
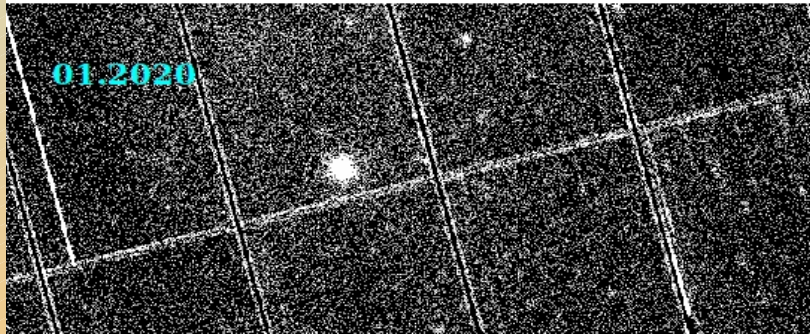
$$L_X(0.2-8 \text{ кэВ}) = 3.82 \pm 2.44 \cdot 10^{31} \text{ эрг с}^{-1}$$

HD 119682

Chandra



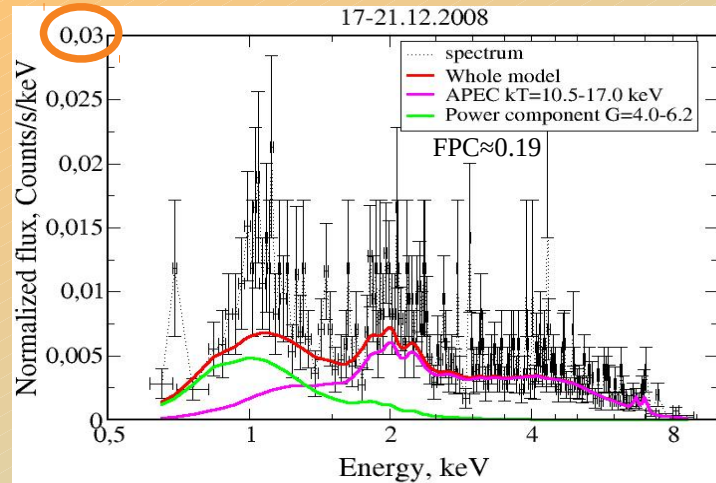
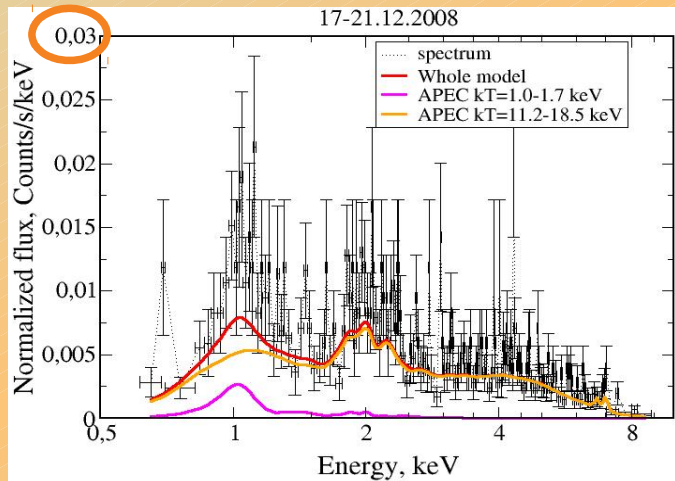
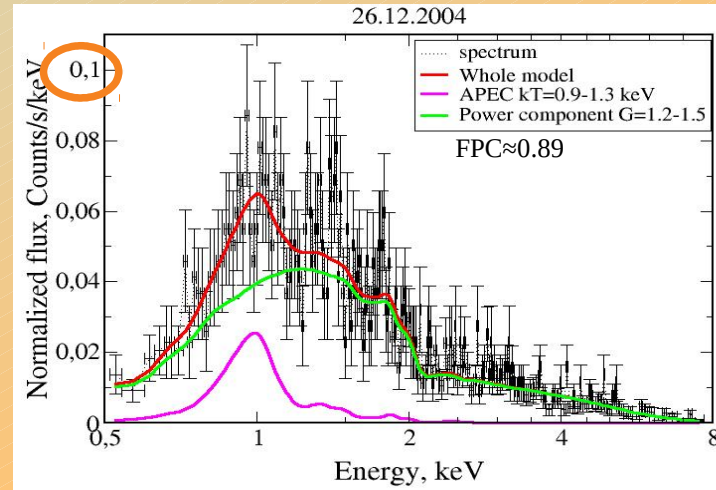
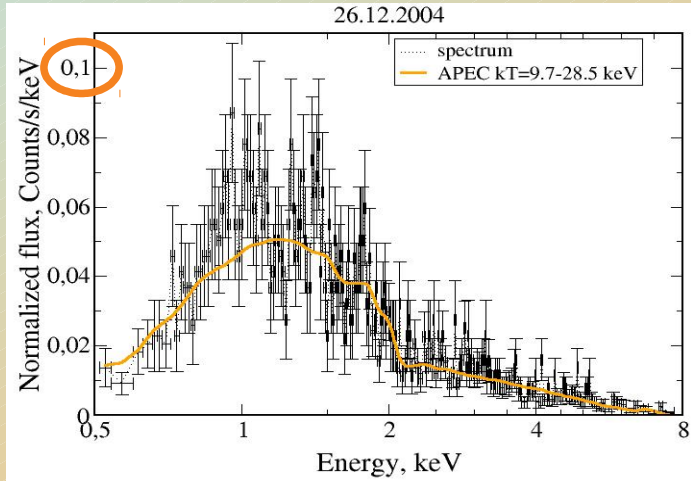
XMM-
Newton



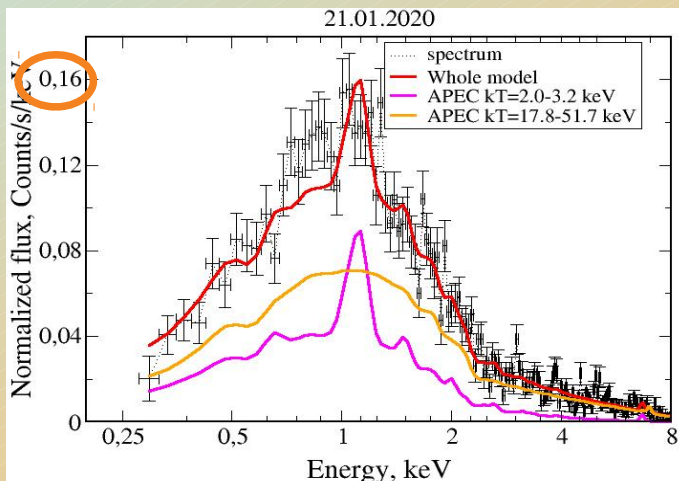
Наблюдения звезды в линии H_{α} с 2019 года показали эпизодическое угасание излучения диска, линия исчезла в июле 2020 (Naze et al. 2022).

В рентгеновском наблюдении от 21.01.2020 были обнаружены вариации с периодами 1.2 и 2.8 часа, возможно, связанные с нерадиальными пульсациями звезды.

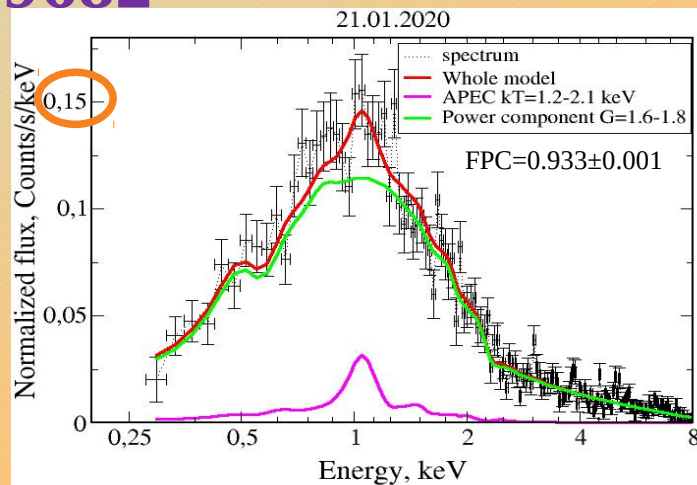
HD 119682



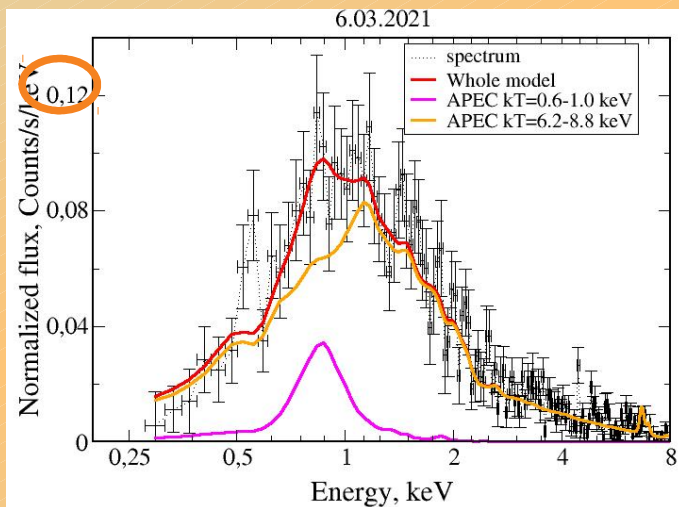
HD 119682



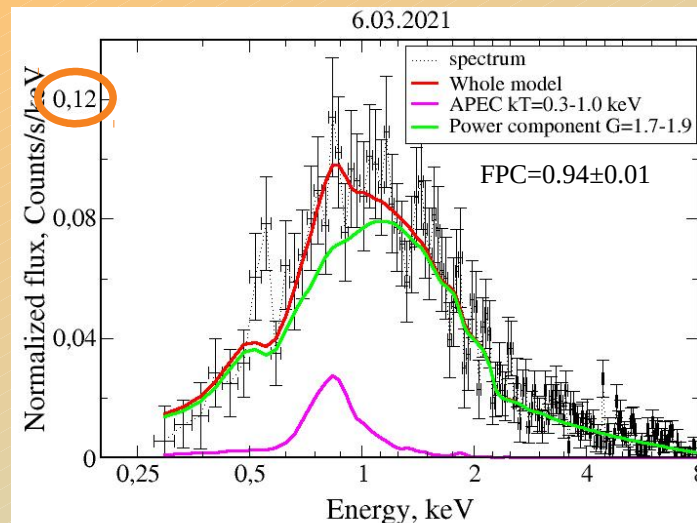
$$L_X(0.2-8 \text{ keV}) = 4.60 \pm 0.37 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$



$$L_X(0.2-8 \text{ keV}) = 5.87 \pm 1.10 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$

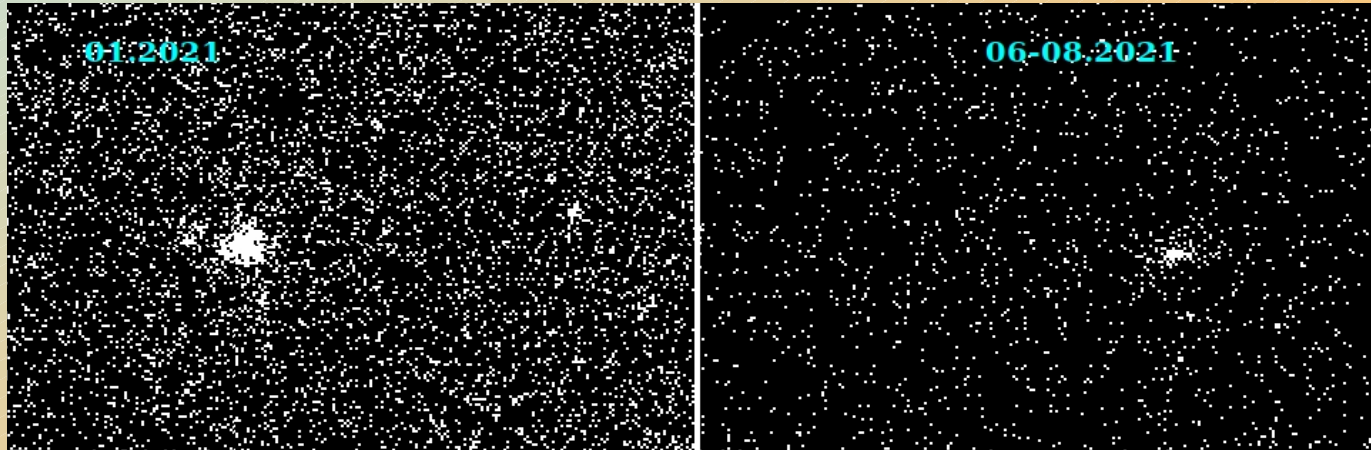


$$L_X(0.2-8 \text{ keV}) = 4.01 \pm 0.67 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$

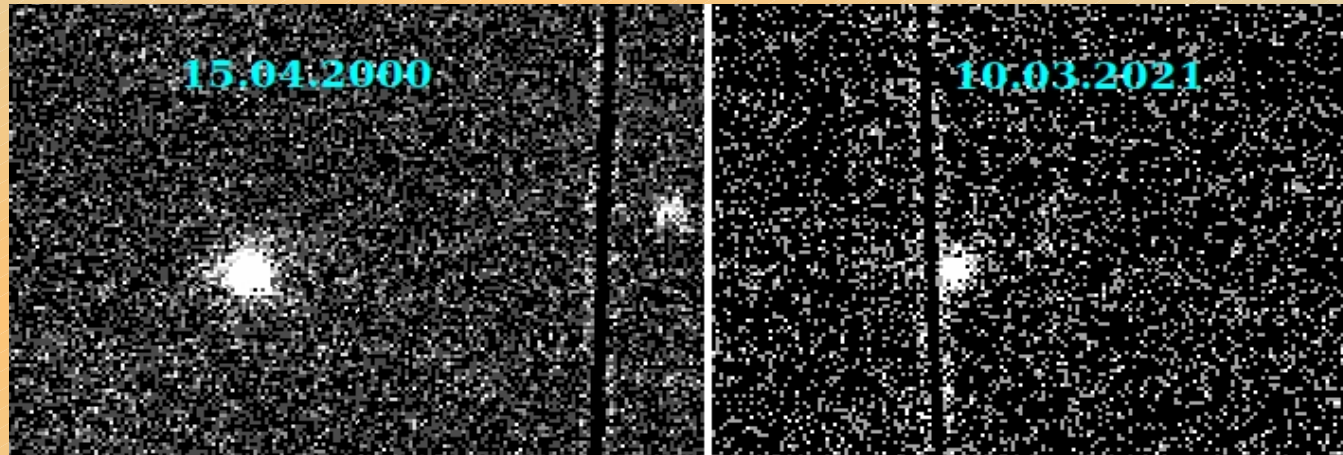


$$L_X(0.2-8 \text{ keV}) = 5.37 \pm 1.32 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$

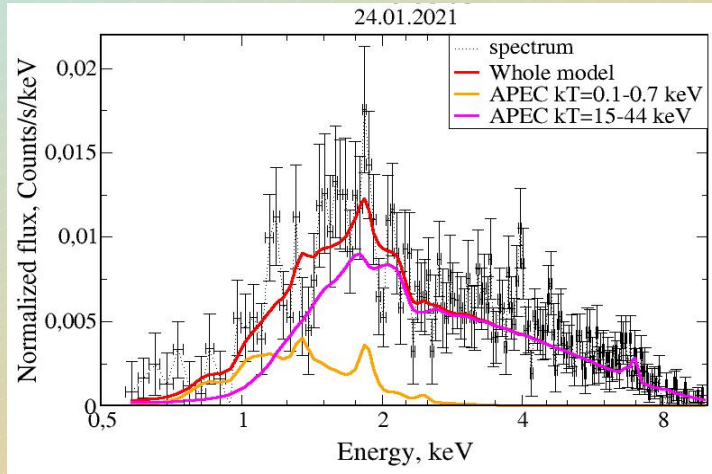
HD 90563



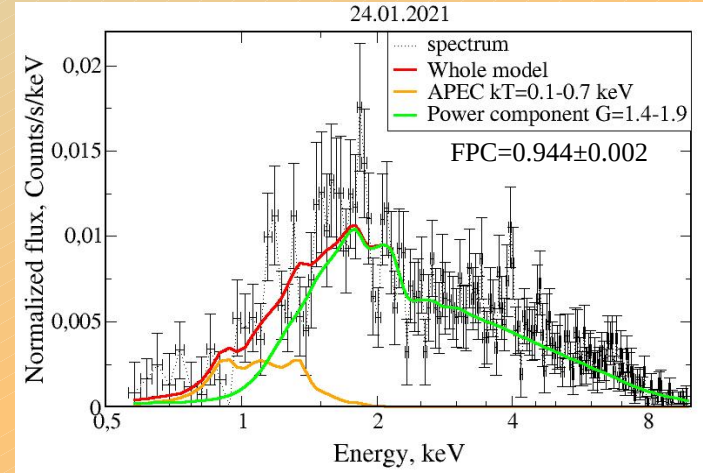
NGC 6649 9



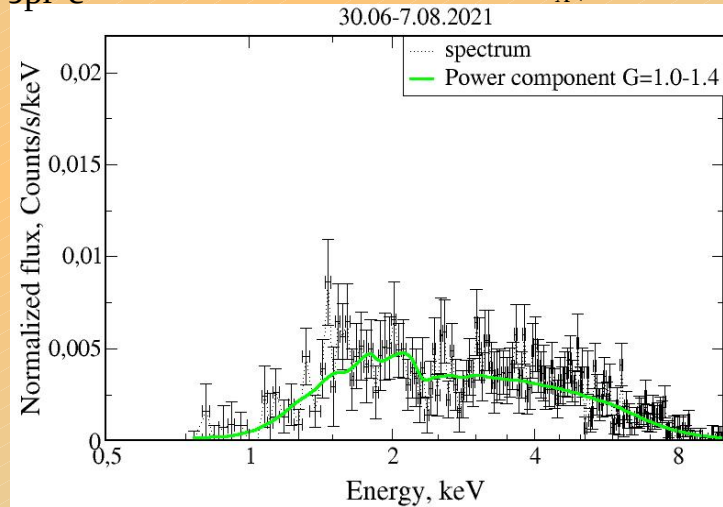
HD 90563



$$L_x(0.2-8 \text{ keV}) = 7.20 \pm 3.53 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$

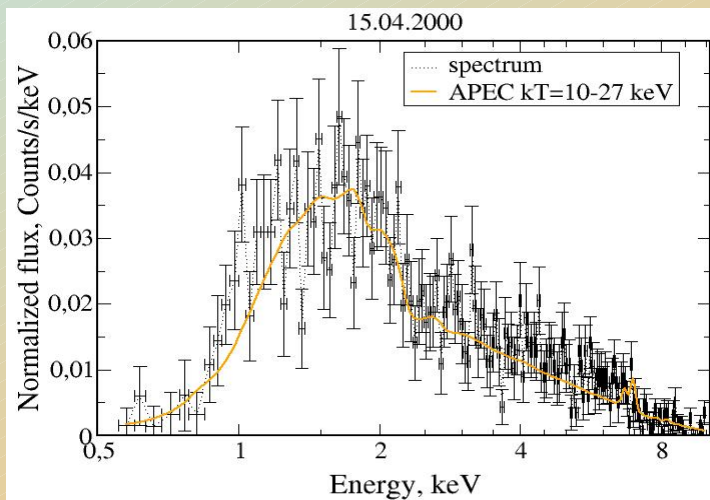


$$L_x(0.2-8 \text{ keV}) = 5.02 \pm 1.99 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$

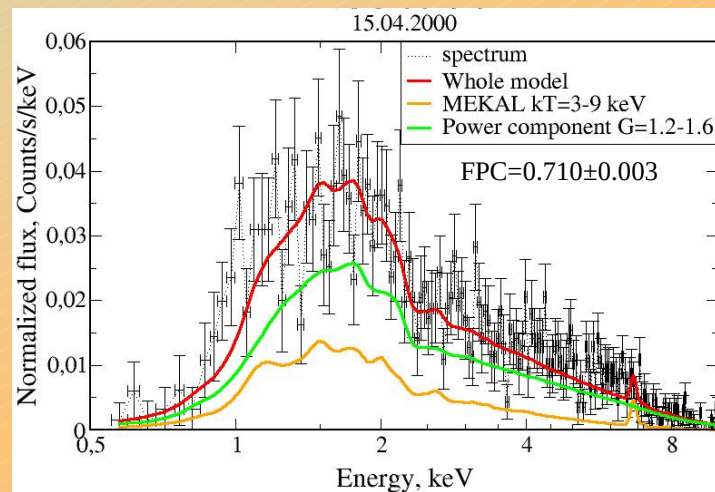


$$L_x(0.2-8 \text{ keV}) = 7.88 \pm 3.43 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$

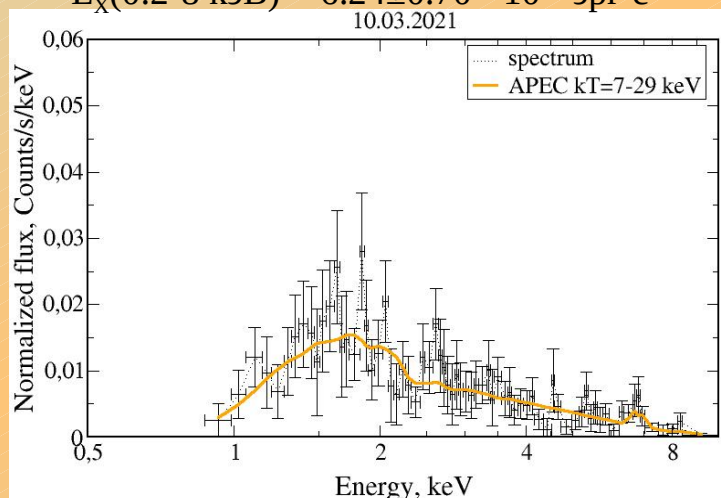
NGC 6649 9



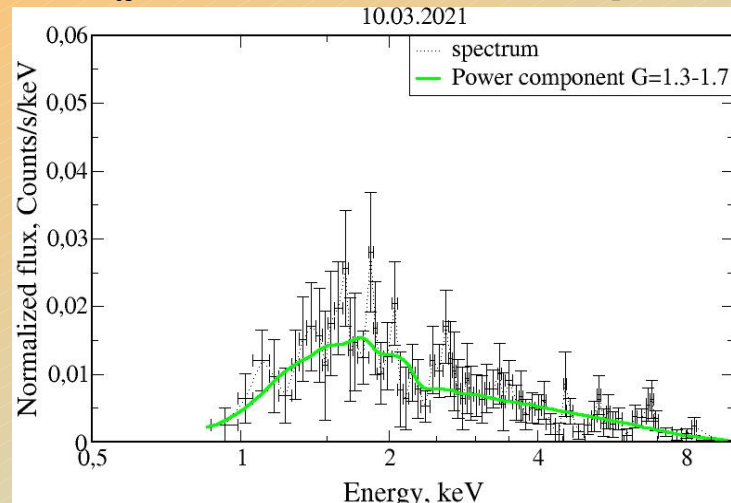
$$L_x(0.2-8 \text{ кэВ}) = 6.24 \pm 0.70 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$



$$L_x(0.2-8 \text{ кэВ}) = 7.02 \pm 1.15 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$



$$L_x(0.2-8 \text{ кэВ}) = 5.99 \pm 1.90 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$



$$L_x(0.2-8 \text{ кэВ}) = 6.57 \pm 2.66 \cdot 10^{32} \text{ эрг с}^{-1}$$

Заключение

1. Для звезд HD 45314, HD 119682 в статьях Rauw et al. (2018) и Naze et al. (2022) соответственно выявлены прямые корреляции между плотностью и массой их околзвездных дисков и интенсивностью рентгеновского излучения. Авторы делают из этого вывод о том, что взаимодействие магнитного поля диска с локальными магнитными полями звезды (Smith et al., 2016) является наиболее вероятным процессом формирования их рентгеновского излучения. В таком случае генерация нетеплового рентгеновского излучения в рамках модели White & Chen (1991) возможна, что свидетельствует о реальности вклада степенного компонента в рентгеновские спектры данных звезд.
2. Похожее уменьшение наблюдаемых потоков в рентгеновских спектрах звезд HD 90563 и NGC 6949 9, не приводит к уменьшению их рентгеновских светимостей. Мы полагаем, что оно вряд ли обусловлено временным уменьшением масс их декреционных дисков, а скорее всего, связано с увеличением околзвездного поглощения излучения диском в результате изменения угла его наклона.
3. Моделирование рентгеновского излучения изучаемых объектов показало, что температуры излучающей в рентгене плазмы сильно меняются в разные эпохи наблюдений. В то же время характеристики возможной нетепловой компоненты излучения остаются стабильными.
4. Обнаружены периодические вариации рентгеновского излучения звезды HD 119682, которые проявляются только в одном наблюдении. В рентгеновских потоках остальных рассмотренных звезд периодичностей не обнаружено. Поскольку двойственность этих звезд не подтверждена, можно предположить, что у них имеются эпохи наличия и отсутствия пульсаций.

Спасибо за внимание!