

Проверка гипотез о рентгеновском излучении неоднородных ветров ОВ звезд

Е. Б. Рыспаева¹, А. Ф. Холтыгин²

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный, Крым
²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Возможные механизмы формирования рентгеновского излучения ОВ звезд:

1. Модель ударной волны в звездном ветре, ограниченной магнитным полем (англ. Magnetic Confined Wind Shock Model, MCWS, Babel & Montmerle 1997, ud-Doula & Owocki 2002), согласно которой потоки вещества звездного ветра движутся вдоль силовых линий магнитного поля к магнитному экватору, где сталкиваются, образуя стоячую ударную волну и плотный околозвездный диск, за ударной волной образуется разреженная область, которая излучает в рентгеновском диапазоне.

2. Гидродинамическую модель формирования рентгеновского излучения О звезд (Hiller et al. 1994; Feldmeier et al., 1997), согласно которой быстро движущиеся сгустки газа в звездном ветре сталкиваются с медленно движущейся газовой оболочкой, образуя рентгеновское излучение.

3. «Гибридная» модель, объясняющую рентгеновское излучение О звезд комбинацией нагрева плазмы в областях локальных магнитных полей при пересоединении силовых линий и нагрева плазмы ударными волнами в звездном ветре (Cassinelli & Swank, 1983; Waldron & Cassinelli, 2009)

Возможное следствие из сформулированных выше гипотез:

С увеличением температуры излучающей плазмы, скорости истечения вещества со звезды должна возрастать жесткость спектра (ud-Doula et al., 2014; Ryspaeva & Kholtygin, 2019, 2020).

Постановка задачи:

Статистическое исследование гипотезы Hiller-Feldmeier и «гибридной модели» Cassinelli et al.. Для этого были проанализированы архивные рентгеновские наблюдения 41 О звезд и 54 В звезд, выполненных на спутнике «XMM-Newton». Были извлечены звездные спектры в диапазоне энергий 0.2-8 кэВ и аппроксимированы различными моделями. Затем были выполнены поиск возможных зависимостей между характеристиками рентгеновского излучения звезд и параметрами звезд.

Методика исследования рентгеновских спектров звезд:

Для исследования наличия сталкивающихся ударных волн в ветрах звезд была использована модель плоско-параллельной ударной волны PSHOCK (Borkowski et al. 2001), описывающая нестационарное тепловое рентгеновское излучение, данная модель характеризуется дополнительным параметром времени ионизации. Для описания рентгеновского излучения, формирующегося в режиме бесстолкновительных ударных волн, применялись модели излучения горячей плазмы, где атомы ионизируются электронным ударом, APEC (Smith et al. 2001) или MEKAL (Mewe et al. 1984, Liedahl, 1986). Спектры были аппроксимированы следующими модельными комбинациями:

APEC+APEC — излучение стационарное тепловое, может формироваться согласно MCWS;
APEC+PSHOCK, APEC+APEC+PSHOCK — звезда генерирует рентгеновское излучение в рамках «гибридной» модели;
PSHOCK+PSHOCK — рентгеновское излучение звезды формируется в процессе столкновения неоднородностей в её ветре, возможно в рамках гипотезы Hiller-Feldmeier.

Обнаруженные зависимости:

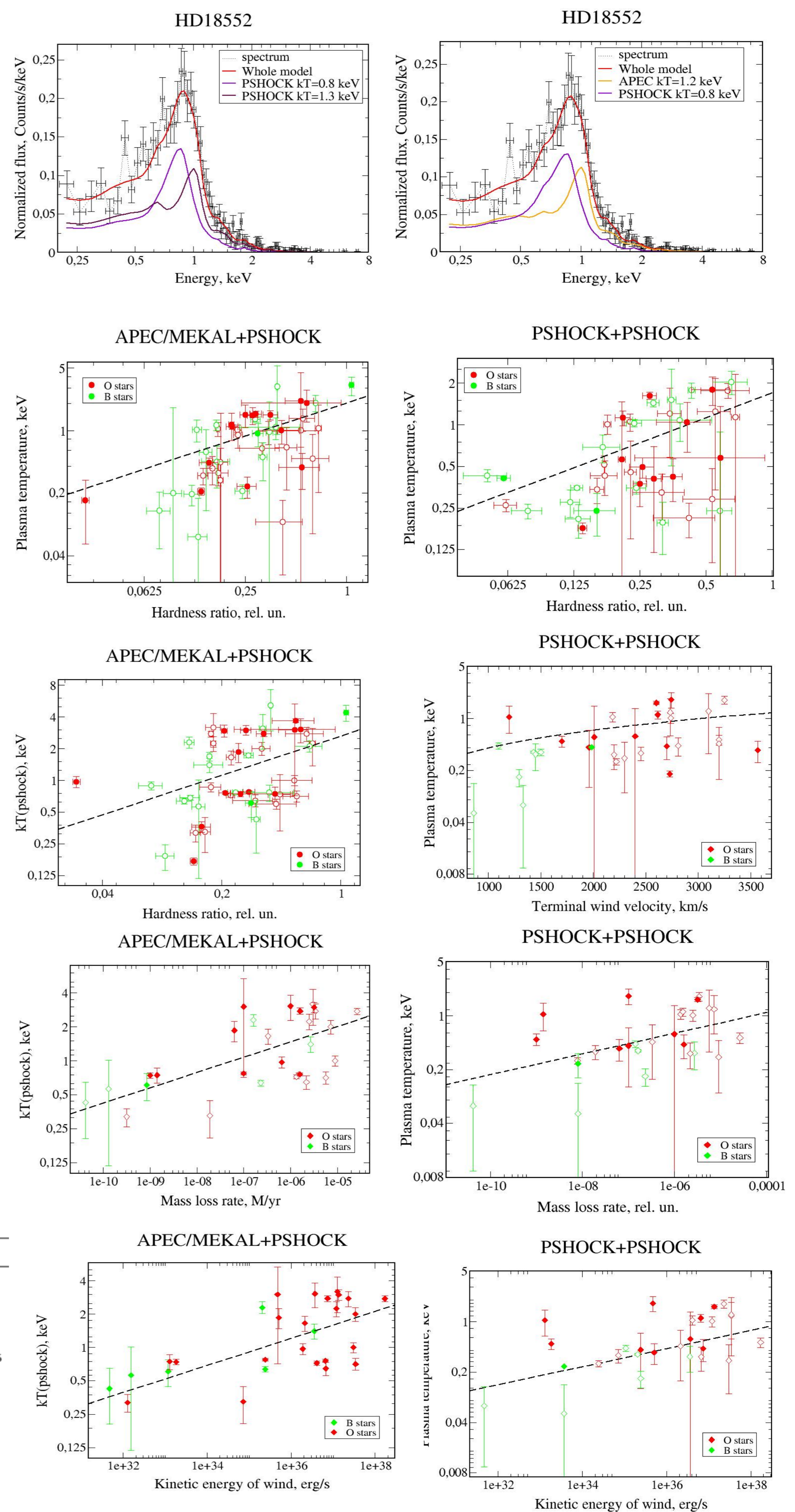
Approximation	Models	R	N	FAP	α	β
$\langle kT \rangle = \alpha \cdot HR^\beta$	APEC/MEKAL	0.55±0.06	84	<0.001	0.95±0.40	0.59±0.07
	APEC/MEKAL+PSHOCK	0.44±0.16	47	<0.049	2.02±1.23	0.61±0.23
	PSHOCK+PSHOCK	0.50±0.14	42	<0.020	1.68±0.94	0.60±0.20
$\langle kT \rangle = \alpha + v_\infty \cdot \beta$	PSHOCK+PSHOCK	0.42±0.05	29	<0.046	-0.011±0.014	(2.91±0.86)·10 ⁻⁵
$\langle kT \rangle = \alpha \cdot \dot{M}^\beta$	PSHOCK+PSHOCK	0.45±0.06	26	<0.045	3.74±1.05	0.134±0.008
$\langle kT \rangle = \alpha \cdot E_{kin}^\beta$	PSHOCK+PSHOCK	0.48±0.09	26	<0.047	(1.66±1.06)·10 ⁻⁵	0.125±0.012
$kT_{pslock} = \alpha \cdot HR^\beta$	APEC/MEKAL+PSHOCK	0.40±0.06	47	<0.020	2.61±1.09	0.53±0.14
$kT_{pslock} = \alpha \cdot \dot{M}^\beta$	APEC/MEKAL+PSHOCK	0.63±0.11	28	<0.005	9.55±2.78	0.14±0.03
$kT_{pslock} = \alpha \cdot E_{kin}^\beta$	APEC/MEKAL+PSHOCK	0.65±0.10	28	<0.025	(2.91±2.87)·10 ⁻⁴	0.12±0.03

Основные выводы:

1. В предположении о наличии в ветрах ОВ звезд нестационарного высвечивания газа за фронтом ударной волны температура излучающей плазмы возрастает по степенному закону с увеличением скорости истечения вещества и кинетической энергии ветра. Кроме того не выявлено корреляций между характеристиками газа за фронтом ударных волн в ветре звезды и напряженностью магнитных полей звезд.

2. При учете нестационарности высвечивания газа за фронтом ударной волны его температура с ростом жесткости спектра растет быстрее чем в случае стационарной плазмы.

3. Напряженность магнитного поля слабо влияет на формирование рентгеновского излучения ОВ звезд, как стационарного, так и нестационарного.



Список литературы

- Babel J., Montmerle, T. 1997 A&A, 323, 121
- Borkowski K., Lyerly W. J., Reynolds S., 2001 ApJ 548, 820
- Cassinelli, J.P., Swank, J.H. 1983, ApJ 271, 681
- Feldmeier, A., Puls, J., Pauldrach, A.W.A., 1997. A&A 322, 878
- Hillier D.J., Kudritzki R.P., Pauldrach A.W., et al., 1993, A&A 276, 117
- Liedahl D. A., Osterheld A. L., Goldstein W. H., 1995, ApJ, 438, L115
- Lucy L. B., White R. L., 1980, ApJ, 241, 300
- Mewe K., Gronenschild E. H. B. M., van der Oord G. H. J, 1985, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 62, 197
- Mewe K., Lemen J. R., van der Oord G. H. J, 1986, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 62, 511
- Ryspaeva E., Kholtygin A., 2019, RAA, Vol. 19, No 8, 120
- Ryspaeva E., Kholtygin A., 2020, RAA, RAA 2020 Vol. 20, 108
- Smith R. K., Brickhouse N. S., Liedahl D. A., Raymond J. C., 2001, ApJ, 556, L91
- Waldron, W.L., Cassinelli, J.P. 2009, ApJ 692, L76
- ud-Doula A., Owocki S., Townsend R., Petit V., Cohen D., 2014, MNRAS, 441, 3600